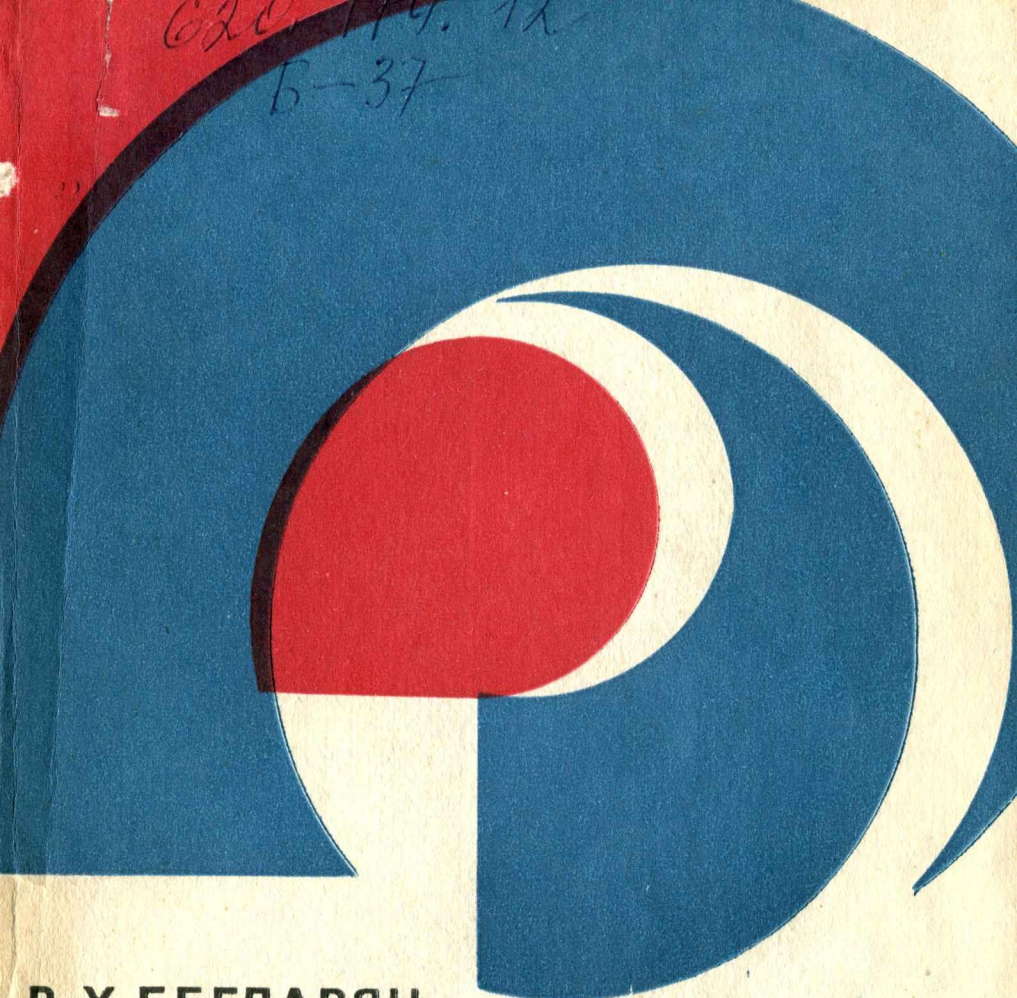


БХ 174. 1к
Б-37

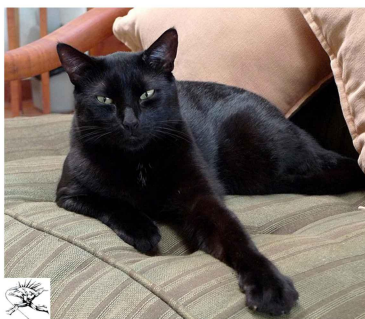


В. Х. БЕГЛАРЯН

**МЕХАНИЧЕСКИЕ
ИСПЫТАНИЯ
ПРИБОРОВ
И АППАРАТОВ**

В. Х. БЕГЛАРЯН

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРОВ И АППАРАТОВ



МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1980

ББК 34.47
Б37
УДК 620.179.12 : 621.3.019.32

Рецензент канд. техн. наук **А. Д. Фролов**

Бегларян В. Х.

Б37 Механические испытания приборов и аппаратов. — М.: Машиностроение, 1980. — 223 с., ил.

75 к.

В книге рассмотрены механические факторы, влияющие на работоспособность приборов и аппаратов; изложены основы организации и методы проведения испытаний; указаны особенности воздействия вибрации и динамических нагрузок на объект исследования и наиболее распространенные методы анализа случайных вибраций и ударов. Значительное внимание уделено испытательному оборудованию, планированию испытаний, процессу измерения и обработке результатов.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, производством и эксплуатацией различных приборов и аппаратов.

Б $\frac{30102-253}{038(01)-80}$ 253—80. 2702000000

ББК 34.47
6П5.8

ВВЕДЕНИЕ

Повышение надежности, долговечности и качества функционирования сложной аппаратуры автоматике и информационно-измерительных аппаратов требует проведения разнообразных испытаний на воздействие окружающей среды как во время эксплуатации, так и при транспортировании и хранении на складах. Современные технические изделия чрезвычайно многообразны по своему назначению и во многих случаях эксплуатируются в самых жестких условиях.

При технологической подготовке производства (ТПП) весьма важным моментом, обеспечивающим надежность работы изделия, является испытание его в искусственно созданных условиях, близких к условиям эксплуатации, транспортирования и хранения.

Комплексные испытания в искусственно создаваемых условиях, по возможности близко имитирующих действительные условия эксплуатации, являются надежной проверкой самой конструкции изделия и технологии его изготовления.

Любое впервые созданное техническое изделие должно пройти испытание, чтобы определить, насколько полно изделие отвечает требованиям, закладываемым при проектировании.

Цель каждого испытания, как известно, состоит в том, чтобы однозначно установить определенные свойства испытуемых объектов. На основании механических испытаний можно сделать вывод о свойствах испытуемых объектов, указанных в ГОСТах и ТУ.

Проблема повышения качества и эффективности средств измерения и аппаратуры не может быть успешно решена без развития техники испытаний. Если испытания рассматривать как экспериментальное определение конструктивных и эксплуатационных свойств изделий для выявления их соответствия техническим требованиям или опытного изучения реальных процессов, происходящих в аппаратуре, то все испытания можно классифицировать следующим образом (ГОСТ 16504—74, 15.001—73):

по назначению — контрольные, исследовательские, граничные, определительные, оценочные, приемо-сдаточные, периодические, типовые, аттестационные;

по способу проведения — эксплуатационные, стендовые, полигонные;

по стадиям разработки — доводочные, предварительные и приемочные испытания опытного образца, заводские испытания опытного образца, ведомственные, межведомственные и государственные приемочные испытания, испытания образцов установочной серии, испытания головной серии.

При механических испытаниях можно, во-первых, проверить испытуемый объект на функционирование при механическом воздействии (механические испытания) и, во-вторых, исследовать его прочностные характеристики (испытания на устойчивость, прочность).

В число воздействий, используемых при испытаниях, могут входить факторы внешней среды, а также силы взаимодействия, возникающие внутри объекта. Испытания имеют целью также определение характера и степени изменений параметров, оценки качества объекта испытаний (определятельные, оценочные испытания).

Различные виды испытаний (ГОСТ 16504—74, 15.001—73) в настоящее время являются неотъемлемой частью технологического процесса, проектирования, внедрения, изготовления и эксплуатации. Испытания позволяют выявить скрытые дефекты аппаратуры и средств измерений, а также способствуют их усовершенствованию, модернизации, повышению качества, надежности и долговечности. Поэтому вопросам методики проведения испытаний и описанию испытательного оборудования для имитации параметров воздействующих механических факторов в данной книге уделено достаточное внимание.

Автор надеется, что предлагаемая книга будет полезной широкому кругу специалистов, занимающихся испытанием и обеспечением качества, надежности аппаратуры и средств измерения.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АППАРАТУРУ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ

Теория испытаний изучает закономерности построения и функционирования системы испытаний. Основные научные проблемы теории испытаний связаны с разработкой и исследованием моделей объектов, средств и процесса испытаний.

Проблематику теории испытаний удобно анализировать с помощью табл. I—1 [50]. В этой таблице представлены все этапы испытаний, сформулированы основные научно-технические задачи и проблемы, характерные для каждого этапа испытаний.

Во время работы технических изделий на них воздействует множество внешних и внутренних факторов. В этом случае изменения параметров изделия представляют собой структурно сложную функцию, включающую ряд составляющих.

Классификация факторов, действующих на аппаратуру, представлена на рис. 1. Такая классификация удобна с точки

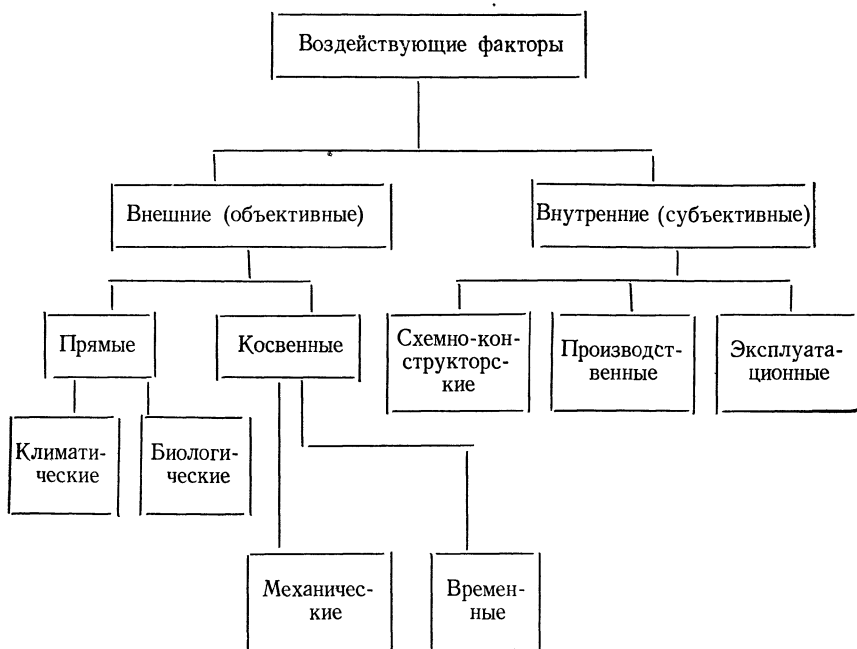


Рис. 1. Факторы, влияющие на аппаратуру и средства измерений

зрения рационального распределения усилий по обеспечению надежности, качества изделий, параметры которых задаются разработчиками и изготовителями, с одной стороны, и потребителями и эксплуатирующими организациями, с другой.

Для удобства дальнейшего изложения вопроса испытания приведем некоторые основные определения, регламентированные ГОСТ 16504—74, ГОСТ 16962—71, ГОСТ 19118—73 и т. д.

Испытания — экспериментальное определение количественных или качественных характеристик свойств объекта:

как результата воздействия на него;

при его функционировании;

при моделировании объекта и (или) воздействий.

Испытания осуществляются по заданным методам и планам испытаний.

Метод испытаний (МИ) — совокупность правил применения определенных принципов для осуществления испытаний.

План испытаний (ПИ) — правила, устанавливающие порядок проведения испытаний, необходимые количественные данные (количество опытов, объем выборки, продолжительность испытаний и т. п.), общая методика, процедура, условия приемки изделий. План испытаний определяет основные черты способа экспериментальной оценки оцениваемого показателя надежности, сохраняющиеся независимо от конкретного вида испытуемого изделия.

Механические испытания — испытания, при которых основным видом воздействий являются механические нагрузки.

Вибрационная установка — установка, предназначенная для воспроизведения механических колебаний с заданными параметрами.

Рабочий стол — платформа, предназначенная для установки испытуемых объектов на вибраторе (возбудителе механических колебаний).

Испытательный стенд — техническое устройство для установки объекта испытаний в заданных положениях, создания воздействий, съема информации и осуществления управления процессом испытаний и (или) объектом испытаний.

Прочность к воздействию механических факторов — способность изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах норм, установленных в стандартах, после воздействия механических факторов.

Устойчивость к воздействию механических факторов — способность изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах норм, предусмотренных стандартами, во время воздействия механических факторов.

Точность испытаний — свойство испытаний, определяющее близость результатов к истинному значению контролируемого параметра.

Алфавитный указатель терминов, установленных государственным стандартом, дан в приложении 1.

Любое испытание включает четыре основных этапа: планирование, контроль, испытание и обработку непосредственных результатов с целью получения искомых данных или заключений. Каждая из этих стадий требует решения определенных задач и соответственно своей методики. Рассмотрим более подробно функции и задачи этапов испытания аппаратуры и средств измерений.

Планирование. Планирование предусматривает выбор плана испытаний; определение состава и последовательности испытаний; нормирование испытаний; выбор средств испытаний, измерения и контроля; задание сроков и методов проверки соответствия продукции установленным техническим требованиям, а также способов определения фактических значений параметров изделия в ходе испытаний и после них; выбор способов регистрации, хранения, передачи и учета информации.

Планирование испытаний по выполняемым задачам может быть подразделено на три группы:

1) планирование определительных испытаний, целью которых является определение уровня показателей качества изделий;

2) планирование контрольных испытаний, в результате которых выявляется степень выполнения заданных требований и возможность предъявления изделий на приемочные испытания;

3) планирование приемо-сдаточных испытаний, проводимых для решения вопроса о целесообразности постановки на производство этой продукции или о ее передаче в эксплуатацию.

При планировании определительных испытаний задаются показатели достоверности результатов (доверительная вероятность) и их точности (обычно предельное значение ошибки).

Для проведения определительных испытаний на надежность конкретного изделия составляется специальная программа испытаний для каждого оцениваемого показателя надежности отдельно, которая учитывает специфические особенности изделия и конкретные условия проведения испытаний.

Программа испытаний представляет собой конкретизацию выбранного плана испытаний для данного изделия и данных условий. Программа составляется в результате планирования испытаний, в основные задачи которого входят выбор плана и определение его параметров.

Программа *определяющих испытаний* включает:

оцениваемый показатель надежности;

показатели точности и достоверности оценки;

план испытаний;

значения параметров плана (в частности, число опытов);

число образцов, участвующих в испытаниях;

условия окружающей среды;

необходимое испытательное оборудование, стенды и приборы;

· режимы работы и технического обслуживания испытуемых образцов;

· процедуру получения непосредственных результатов;

· формулы для вычисления искомых показателей;

· способ оформления результатов испытаний.

При планировании *контрольных испытаний* задаются перечень показателей надежности, подлежащих контролю, а также по каждому контролируемому показателю надежности следующие данные:

· приемочный и браковочный уровни;

· риск изготовителя и риск потребителя;

· метод проведения испытаний;

· план испытаний;

· перечень параметров, по которым определяют состояние (работоспособность, исправность и т. д.) изделия, периодичность их проверки в процессе испытания;

· условия испытаний (значения и последовательность воздействующих факторов, их продолжительность и т. д.);

· способы контроля работоспособности и восстановления изделий.

Комплектование выборки серийно выпускаемых изделий для проведения контрольных испытаний на надежность проводится по ГОСТ 18321—73.

Контрольные испытания на надежность следует подразделять на следующие (ГОСТ 20699—75): испытания на безотказность; испытания на ремонтпригодность; испытания на сохраняемость; испытания на долговечность (ресурсные испытания, испытания на срок службы).

Контрольные испытания изделий на надежность можно проводить ускоренным методом, если определены режим ускоренных испытаний и коэффициент ускорения или зависимость между показателями надежности в нормальном и ускоренном режимах.

Методику контрольных испытаний изделий разрабатывают на основе ГОСТ 13216—74, ГОСТ 20699—75 с учетом ГОСТ 17331—71, ГОСТ 17572—72 и ГОСТ 18049—72.

При планировании *приемо-сдаточных испытаний* задаются контролируемые входные и выходные параметры изделия и план испытаний. Методику приемо-сдаточных испытаний изделий разрабатывают на основе ГОСТ 16504—74, действующей нормативно-технической документации, конструктивных особенностей изделий, специфики их функционирования и условий эксплуатации.

Контроль. Сущность контроля сводится к получению информации о фактическом состоянии объекта, а также сопоставлению первичной информации с заранее установленными требова-

ниями, нормами и критериями, т. е. выявлению соответствия или несоответствия фактических данных требуемым (ожидаемым).

На стадии разработки продукции контроль заключается, например, в проверке соответствия опытного образца техническим условиям и (или) соответствия разработанной технической документации правилам оформления и техническому заданию.

На стадии изготовления контроль охватывает качество (ГОСТ 15467—79), комплектность, упаковку, маркировку и количество предъявляемой продукции, ход (состояние) производственных процессов.

На стадии эксплуатации продукции контроль заключается в проверке соблюдения требований эксплуатационной и ремонтной документации.

Общие требования к обеспечению и контролю качества экспортных изделий в процессе производства должны соответствовать требованиям ГОСТ 23135—78Э и нормативно-технической документации.

В результате контроля выявляются отклонения фактических значений параметров от заданных и устанавливаются их причины; прогнозируется дальнейший ход испытаний (процесса) и изменения параметров и технико-экономических показателей.

Различают два вида статистического контроля качества (надежности) изделий:

контроль по качественным признакам;

контроль по количественным признакам.

В результате контроля партии изделий по качественным признакам все изделия в проверяемой выборке разбиваются на две группы: годные (кондиционные) и негодные (дефектные). В этом случае оценка партии изделий проводится по величине доли дефектных изделий в выборке.

При контроле партии изделий по количественным признакам у каждого проверяемого изделия определяется один или несколько количественных параметров. В этом случае оценка партии изделий проводится по статистическим характеристикам распределения определяемых параметров.

Автоматизированный контроль технического состояния изделий и характеристики контролепригодности регламентированы ГОСТ 19838—74, ГОСТ 19919—74, ГОСТ 20417—75, ГОСТ 20911—75.

Характеристика контролепригодности должна однозначно отображать контролепригодность как свойство изделия приспособляемость к проведению контроля параметров изделия и его составных частей с целью выполнения с установленными показателями следующих задач определения технического состояния:

контроля технического состояния;

поиска места отказа;

прогнозирования технического состояния;
определения технического состояния и установления места отказа изделия по результатам обработки информации, зарегистрированной для этого изделия.

Состав, форму и единые правила выполнения конструкторского документа по обеспечению контролепригодности приведены в ГОСТ 19838—74. Таблицы к описанию изделия как объекта контроля, перечень операций, используемых для записи процесса контроля параметров, примеры заполнения формы 1—3 и построения функциональной схемы алгоритма поиска места отказа даны в приложениях 2, 3, 4 к ГОСТ 19838—74.

Испытание. На этом этапе проводятся следующие операции: подготовка испытательной установки к испытанию; подготовка испытуемого изделия к испытанию; осуществление механических воздействий; контроль и анализ эффекта воздействий; оценка состояния и возможность дальнейшего этапного продолжения испытания изделия.

Для решения различных задач в зависимости от вида испытания и воздействующих факторов необходимы: анализ эксплуатационных нагрузок; выбор метода и средств испытаний; разработка модели испытания; обеспечение документации; установление связей и порогов информации; выбор средств автоматизации испытания и контроля качества.

Задачу испытаний можно разбить на две группы:

1) получение эмпирических данных, содержащих информацию, необходимую для проектирования (разработки), а также информацию о внешних воздействиях, функциях отклика изделия, его рабочих характеристиках и т. д.;

2) определение соответствия изделия проектным требованиям или ТУ.

Цели испытаний не постоянны: они зависят от этапа работы и меняются в процессе испытаний. В табл. 1 условно в хронологическом порядке перечислены этапы работы и уровни разработки создаваемой системы, а также указаны соответствующие этим этапам задачи, признаки классификации и цели испытаний.

Все задачи испытаний являются итерационными. Например, изготовление представляет собой непрерывный процесс, охватывающий все этапы — от постановки задачи до полевых (полигонных) испытаний системы в комплексе. С точки зрения стоимости, надежности и т. п. следовало бы ограничивать время, в течение которого процесс изготовления вторгается в этап полевых испытаний.

В табл. 1 указаны уровни разработки от деталей до системы (деталь, сборочная единица, комплекс, комплект, система). Прослежен только один цикл, однако следует иметь в виду, что процесс как внутри этапа, так и на всех переходах от этапа к этапу является итерационным. На этом уровне детали и аппа-

Этапы и уровни разработки системы, признаки классификации, виды и цели испытаний

Этап работы	Уровень разработки	Признаки классификации	Виды испытаний	Основные цели испытаний
НИР Разработка Изготовление Контроль и испытания	Детали	По этапам процесса	Входной и операционный контроль Исследовательские Определительные	Научные исследования Уточнение технических данных, касающихся показателей качества, надежности разрабатываемой сборочной единицы и внешних условий ее работы
	Сборочные единицы, комплектующие элементы, ячейки, блоки			
	Макет	По этапам процесса	При входном и операционном контроле — приемо-сдаточные	Получение экспериментальных данных для разработки опытных образцов. Определение зависимостей между предельно допустимыми значениями параметров образца (продукции) и значениями параметров режимов эксплуатации
	Опытный образец	По уровням проведения	Ведомственные, межведомственные, государственные	Получение области безотказной работы и разработка требований к деталям, образцам и изделию в целом.
	Опытное производство	По продолжительности проведения	Ускоренные, нормальные, граничные	Обеспечение получения необходимого объема информации в более короткий срок, чем в предусмотренных условиях и режимах эксплуатации
	Комплекс Комплект Изделия Система Производство: серийное массовое	По оцениваемому свойству По оценке целесообразности изменения	Оценочные, испытания на надежность (определятельные, контрольные), ресурсные Типовые	Устранение скрытых производственных дефектов. Приемка отдельных блоков и изделий. Устранение дефектов взаимодействия деталей сборочных единиц. Устранение дефектов взаимодействия комплексов, комплектов, блоков и изделий. Контроль и оценка качества продукции. Определение значений параметров продукции с заданными значениями точности и доверительной вероятности. Оценка эффективности и целесообразности внесенных изменений в конструкцию, рецептуру или технологию изготовления.
	По месту проведения	Лабораторные, полигонные, эксплуатационные	Определение длительности технологической приработки. Проверка и обоснование показателей продукции в полигонных и эксплуатационных условиях	

ратура рассматриваются как «черный ящик», однако все то, что относится к этому уровню, в равной степени применимо и к другим.

Обработка и оформление результатов испытаний. По окончании эксперимента формулируются данные испытаний. На их основе должны быть определены окончательные результаты. Соответственно этому методика обработки результатов по каждому оцениваемому показателю должна содержать формулы, таблицы, графики, номограммы для определения параметров.

Обработка результирующих данных проводится на основе ГОСТ 13216—74, ГОСТ 11478—75, ГОСТ 20699—75, ГОСТ 12997—76 и ГОСТ 22261—76.

Достаточно много внимания в имеющейся литературе уделено вопросам обработки непосредственных результатов испытаний по различным планам.

Качество испытаний может быть оценено только через точность и правильность принятого метода. Адекватность выбранного метода испытания аппаратуры определяется только практическим назначением результатов.

2. ВИДЫ СТАНДАРТОВ

Государственной системой стандартизации (ГСС, ГОСТ I.0—68) установлены следующие стандарты:

технических условий (общих технических условий);

общих технических требований (технических требований) параметров и (или) размеров;

типов, основных параметров и (или) размеров;

конструкции и размеров;

марок;

сортамента;

правил приемки;

методов контроля (испытаний, анализа, измерений);

правил маркировки, упаковки, транспортирования и хранения;

правил эксплуатации и ремонта;

типовых технологических процессов.

Стандарт технических условий является неотъемлемой частью комплекта технической документации на продукцию, на которую они распространяются.

Технические условия (ТУ) должны содержать совокупность всех показателей, норм, правил и положений на продукцию, ее изготовление, контроль, приемку и поставку, которые целесообразно указывать в конструкторской или другой технической документации.

Такая стандартизация обеспечивает единство измерений показателей качества, необходимое для их достоверности и точности. Кроме того, стандартизация методов и средств контроля

позволяет сократить трудоемкость контрольных и сдаточных операций, определить состав необходимого контрольно-испытательного оборудования. Эффективность контроля качества продукции обеспечивается при условии, что количество и численные значения нормативных показателей качества, установленные требованиями (в технических заданиях на разработку продукции, в чертежах или технических условиях на ее изготовление, в стандартах или договорах на поставку продукции и т. п.), заданы правильно, т. е. их соблюдение гарантирует необходимый уровень качества продукции. В противном случае контроль может быть недостаточно эффективным.

Контроль качества продукции может включать решение разнообразных задач в различных звеньях системы управления качеством продукции, например входной контроль, операционный контроль, приемочный контроль, инспекционный контроль и т. п.

Если потребительские (эксплуатационные) характеристики продукции могут быть достигнуты только при соблюдении определенных требований и норм (технических процессов, материалов, правил эксплуатации и т. п.), то эти требования и нормы должны быть также регламентированы стандартом технических условий. Примерами этого вида стандартов могут служить ГОСТ 10863—70 «Приборы и установки измерительные для проверки параметров полупроводниковых приборов. Общие технические требования», ГОСТ 16325—76 «Машины вычислительные электронные цифровые общего назначения. Общие технические требования»; ГОСТ 22261—76 «Средства измерений электрических величин. Общие технические условия» и др.

Технические условия (ТУ) на изделие представляют собой комплекс основных требований к нему и отражают его выходные параметры, условия эксплуатации и хранения. ТУ подразделяются на общие (ОТУ), частные (ЧТУ), временные (ВТУ) и др. Общие технические условия устанавливают заданные требования ко всем типам изделий опытного или массового производства, изготавливаемых отечественной промышленностью. Частные технические условия определяют назначение каждого типа изделия, уточняют нормы на параметры и режимы испытаний, устанавливают специальные и дополнительные требования. В связи с тем, что в процессе разработки, которая обычно сопровождается изготовлением опытной партии изделий, проектировщикам еще неизвестны точные значения отдельных параметров, выпускаются временные технические условия. ОТУ и ЧТУ взаимосвязаны и дополняют друг друга. Они являются обязательными для предприятия-заказчика, предприятия-разработчика и завода-изготовителя.

Правила построения, изложения и оформления технических условий, порядок согласования, утверждения и государственной регистрации установлены ГОСТ 2.114—70 и ГОСТ 2.115—70.

Стандарты технических требований устанавливают требования и нормы, определяющие основные эксплуатационные свойства изделий: конструктивные; к комплектности поставки; к электрическим параметрам и режимам; к устойчивости при механических и климатических воздействиях; к прочности электрической изоляции; к электрическому монтажу; к заземлению; к защите от электрических помех; к надежности и долговечности; к безопасности эксплуатации и стандартизации; к маркировке, укладке, упаковке, хранению и транспортированию.

Стандарты этого типа служат для обеспечения оптимальных показателей качества при разработке и изготовлении технических изделий.

Стандарты методов испытаний устанавливают методы испытаний (контроля, анализа, измерения), определяющих качественные показатели изделий.

В результате испытаний, осуществляемых этими методами, можно определить как все эксплуатационные параметры группы изделий, так и некоторые из них или даже какой-нибудь один.

Стандарты методов испытаний играют существенную роль в повышении качества измерений, так как обеспечивают единство оценки показателей качества, а также унифицируют технологию контроля. Стандарты этого вида должны содержать кроме описания методов испытаний также требования к испытательной и измерительной аппаратуре, условия проведения испытаний и порядок определения результатов испытаний. На эти стандарты, как правило, ссылаются в нормативно-технических документах и технических условиях на поставку конкретных видов и типоразмеров изделий.

Примерами этого вида стандартов могут служить ГОСТ 16962—71 «Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний»; ГОСТ 11478—75 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Технические требования и методы испытаний в части механических и климатических воздействий»; ГОСТ 19118—73 «Установки электродинамические вибрационные. Методы и средства испытаний»; ГОСТ 21136—75 «Тара транспортная. Метод испытания на вибропрочность»; ГОСТ 21322—75Е «Изделия электронной техники для устройств широкого применения. Механические и климатические воздействия. Классификация по условиям применения»; ГОСТ 12.2.006—75 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Требования безопасности. Методы испытаний»; ГОСТ 8.001—71 ГСИ. Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений»; ГОСТ 12997—76 «Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Общие технические требования. Методы испытаний» и др.

Стандарты правил маркировки, упаковки, хранения и транспортирования определяют единые для группы изделий требования к маркировке, упаковке, хранению и транспортированию.

Этот вид стандартов регламентирует требования к маркировке определенных групп продукции, несущей информацию потребителю об эксплуатационных свойствах и параметрах изделий, устанавливает правила хранения, упаковки и транспортирования, необходимые для обеспечения сохранности качественных показателей и товарного вида изделий, а также для рационального использования транспортных средств.

Требования к упаковке должны содержать указания по подготовке изделий для упаковки, требования к упаковочным средствам, порядок комплектования и размещения изделий в упаковочной таре, количество и массу (брутто, нетто) изделий, упаковываемых в одно транспортное место (ящик, коробку) и т. п.

В зависимости от требований к защите изделий от воздействия механических факторов при транспортировании и хранении устанавливают три исполнения упаковки по прочности: легкое (Л), среднее (С) и усиленное (У) с применением транспортной тары и соответствующих по прочности средств крепления.

В разделе «Хранение и транспортирование» стандартов определяются условия хранения готовых изделий на складах, обеспечивающие сохранность их качества и товарного вида, требования к складским помещениям (температурные режимы, влажность и т. п.), требования к транспортным средствам, способы предохранения изделий во время транспортирования, особенности их погрузки, выгрузки и т. п.

Примерами этого вида стандартов могут служить ГОСТ 9181—74 «Приборы электроизмерительные. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение»; ГОСТ 15846—79 «Продукция, отправляемая в районы Крайнего Севера и труднодоступные районы. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение»; ГОСТ 10.74—74 «Тара и упаковка для морской перевозки опасных грузов, поставляемых на экспорт. Общие технические требования» и др.

Следует отметить, что объединение правил, технических требований и требований к испытанию, маркировке, упаковке, хранению и транспортированию в одном стандарте необязательно. В необходимых случаях могут быть разработаны самостоятельные стандарты на испытание, маркировку, упаковку, хранение, транспортирование или стандарты на любое целесообразное сочетание этих требований для данной группы изделий.

Международное сотрудничество в области стандартизации испытаний на воздействие вибрации и ударов осуществляется в рамках технического комитета № 50 и подкомитета № 50А Международной электротехнической комиссии (МЭК). В этих

комитетах представители различных стран разрабатывают проекты, которые после соответствующего обсуждения издаются в качестве рекомендаций МЭК.

В подкомитете № 50А были разработаны и изданы в качестве публикаций МЭК следующие рекомендации: «Основные методы механических испытаний», «Вибрационные испытания Fc», «Изложение основных принципов испытаний на вибрацию с плавно изменяющейся частотой»; «Предпочтительные режимы испытаний, используемые главным образом для конструктивных элементов», «Предпочтительные режимы испытаний для приборов», «Основные методы механических испытаний электронных конструктивных элементов и электронных приборов», «Испытание одиночными ударами Ea», «Расшифровка понятия ударного спектра», «Испытание серий ударов Eb», «Испытания на падение и опрокидывание Ec», «Основные методы механических испытаний», «Испытание в свободном падении Ed», «Испытание с постоянным ускорением Ga», «Руководство для испытаний».

Начиная с 1978 г. отечественные стандарты и технические условия, а также официальные информационные указатели по ним классифицируются в нашей стране по «Классификатору государственных стандартов СССР».

Классификатор содержит 19 разделов, каждый из которых делится на классы и группы. Например, в разделе Е «Энергетическое и электротехническое оборудование» группы E59, E79 «Методы испытаний. Упаковка. Маркировка» классифицируются по классам: 3409, 3420, 3424, 3480. В разделе П «Измерительные приборы, средства автоматизации и вычислительной техники» группы П29, П39, П79, П99 «Методы и средства испытаний» классифицируются по следующим классам: 4109, 4209, 4211, 4220, 4230 и 4240. Раздел Э «Электронная техника, радиоэлектроника и связь» содержит группы Э29, Э69, Э72 «Методы испытаний. Упаковка. Маркировка» и «Контрольно-испытательное оборудование для контроля качества изделий электронной и радиоэлектронной промышленности».

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ

Испытания — неотъемлемая часть технологического процесса изготовления технического изделия. Цель проведения испытаний — проверка качества материалов, деталей, элементов и сборочных единиц изделия; контроль точности, устойчивости и надежности технологического процесса; проверка работоспособности с учетом влияния воздействующих факторов и проверка соответствия изделия стандартам или ТУ (ЧТУ, ВТУ, ОТУ). Виды испытаний, их объем, план испытаний (ПИ) и содержание в первую очередь зависят от типа производства (рис. 2).

Доводочные (конструктивные) испытания — испытания, проводимые в процессе разработки изделия для оценки влияния

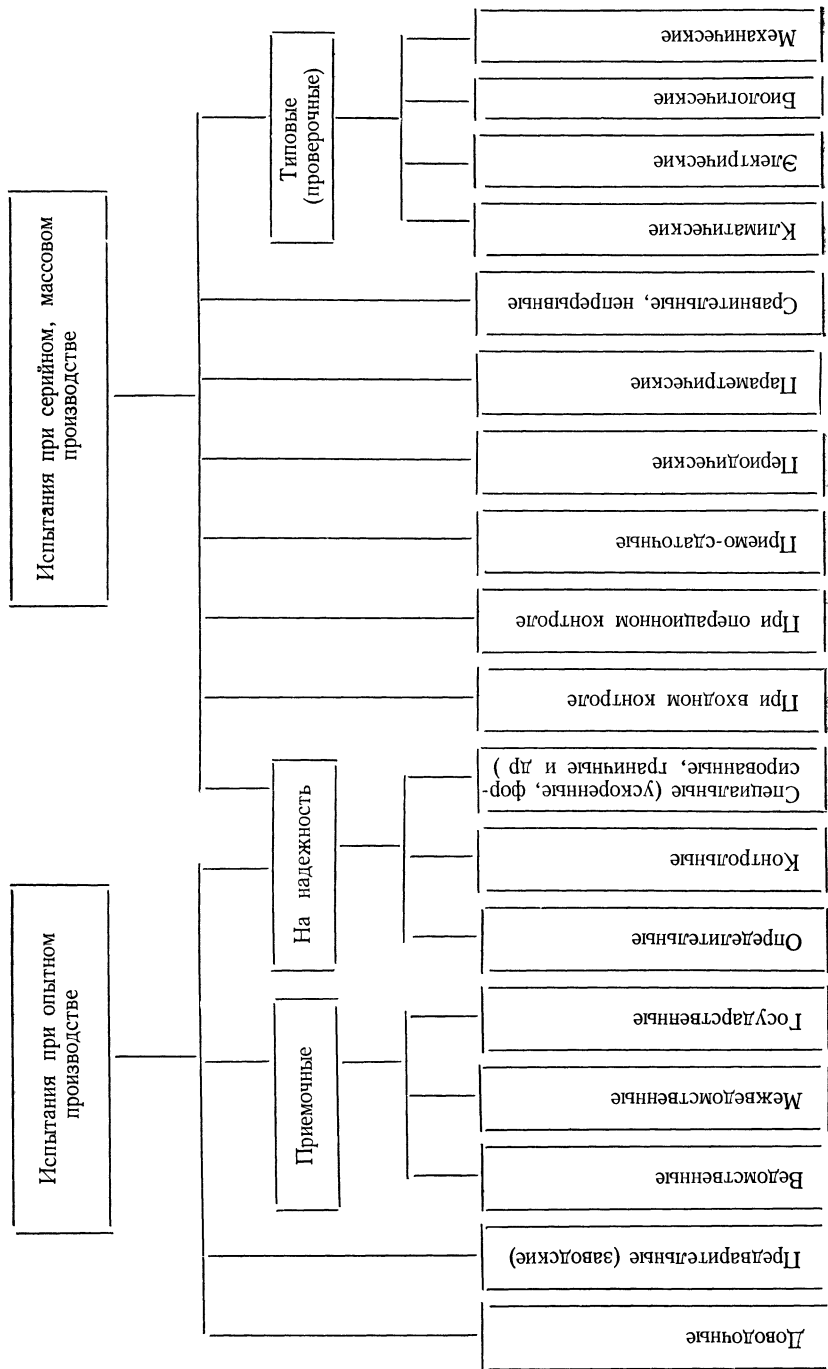


Рис. 2. Виды испытаний

изменений, вносимых с целью достижения требуемых показателей качества (ГОСТ 15467—79, ГОСТ 22851—77).

Предварительные (заводские) испытания — контрольные испытания опытных образцов (партий) продукции, проводимые для определения возможности предъявления ее на приемочные испытания.

Испытания проводит разработчик или изготовитель с целью определения работоспособности изделия и оценки количественных значений его выходных параметров и характеристик. По результатам предварительных испытаний разрабатываются нормативы, задаваемые в технической документации. Предварительные испытания, как правило, проводят на предприятии, изготовившем опытный образец (опытной партии) изделия и в зависимости от места их проведения носят название лабораторных или стендовых, заводских испытаний.

Стендовые испытания проводятся на вибрационных акустических и ударных стендах, которые приблизительно воспроизводят реальные динамические нагрузки, действующие на аппаратуру при транспортировании и эксплуатации. Такие испытания предусматривают проверку качества изготовления, работоспособности и долговечности аппаратуры.

Нормы стендовых испытаний должны соответствовать значениям параметров динамических нагрузок, полученным при натурных испытаниях аппаратуры. Если таких данных нет, то при стендовых испытаниях применяются ориентировочные, несколько завышенные нормы, которые определяют по прототипам, исходя из условий эксплуатации аппаратуры, аналогичной разрабатываемой.

Общая длительность стендовых испытаний должна быть ограниченной, если не ставится задача определения предела долговечности аппаратуры.

Приемочные испытания — контрольные испытания образцов (опытной партии) продукции, а также изделий единичного производства, проводимые соответственно для решения вопроса о целесообразности постановки на производство этой продукции или передачи ее в эксплуатацию.

Порядок проведения и объем приемо-сдаточных испытаний устанавливаются в стандартах или ТУ на изделия ГСП конкретных групп и видов по ГОСТ 12997—76.

В зависимости от характера связей между разработчиками, заказчиками и изготовителями приемочные испытания опытного образца (опытной партии) продукции могут быть (ГОСТ 15.001—73): ведомственные, межведомственные, государственные.

Ведомственные испытания — приемочные испытания, проводимые комиссией из представителей заинтересованного министерства или ведомства.

Межведомственные испытания — приемочные испытания, проводимые комиссией из представителей нескольких заинтересованных министерств и (или) ведомств.

Государственные испытания проводятся государственной комиссией с целью проверки количественных значений выходных характеристик изделия на соответствие требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида изделий. Государственные испытания обычно проводят на месте установки изделия для эксплуатации. В зависимости от места испытания они носят название лабораторных, полигонных, летных, эксплуатационных государственных испытаний.

Организация и порядок проведения государственных испытаний опытных образцов (опытных партий) средств измерений должны соответствовать требованиям ГОСТ 8.001—71 и МУ 8.4—73 (Методические указания по образованию и организации работы государственных комиссий для проведения государственных приемочных испытаний средств измерений. М., Изд-во стандартов, 1976).

На государственные приемочные испытания организация-разработчик представляет:

три образца средств измерений, изготовленные на этапе окончания опытно-конструкторской работы по технической документации с литерой «О» по ГОСТ 2.103—68 (в технически и экономически обоснованных случаях число образцов может быть уменьшено или увеличено по согласованию министерства (ведомства) с Госстандартом СССР);

перечень аппаратуры или (по согласованию с организацией, проводящей испытания) аттестованную аппаратуру, необходимую для проведения испытаний, с удостоверением метрологической организации Госстандарта СССР, подтверждающим результаты аттестации, и руководством по пользованию;

проект нормативно-технического документа на методы и средства проверки испытываемых средств измерений (отдельный документ или соответствующий раздел технического описания);

экземпляр вновь разработанного поверочного средства, аттестованного государственными или ведомственными органами метрологической службы с удостоверением, подтверждающим результаты аттестации;

комплект технической документации с литерой «О» по ГОСТ 2.103—68 (СТ СЭВ 208—75).

Устанавливаются следующие виды государственных испытаний средств измерений:

приемочные — для испытаний опытных образцов средств измерений новых типов, предназначенных для серийного производства;

контрольные — для испытаний образцов установочной серии и серийно выпускаемых средств измерений.

Оформление и рассмотрение результатов государственных

приемочных испытаний проводятся в порядке, установленном методическими указаниями МУ 8.2—71, ГОСТ 3.1506—75.

В нашей стране действует четкий порядок, в соответствии с которым все вновь разрабатываемые измерительные приборы (и образцовые и рабочие) могут быть запущены в серийное производство только после того, как они пройдут государственные испытания в специальных подразделениях исследовательских институтов Госстандарта СССР. Цель этих испытаний — обеспечение все того же единства и достоверности измерений. Система государственных испытаний является одной из основ управления качеством измерительной техники и тем самым управления качеством продукции, в процессе производства которой используется эта измерительная техника.

Для повышения качества аппаратуры и уменьшения числа отказов при массовом и серийном производстве организуются входной контроль (испытание) качества элементов, комплектующих изделий, полуфабрикатов, материалов и операционный контроль (испытание) при технологическом процессе.

Испытание при входном контроле представляет собой контроль (испытание) элементов и комплектующих изделий, поступающих к потребителю (заказчику) и предназначенных для использования при изготовлении продукции и ее ремонте.

Испытание при операционном контроле — это контроль (испытание) элементов или процесса во время выполнения или после завершения определенной операции (ГОСТ 14.318—77).

Приемо-сдаточные испытания (проверки) проводятся при сдаче технического изделия заказчику (потребителю) с целью систематической проверки соответствия изделий требованиям ТУ (ТЗ), стандартам и конструкторско-технологической документации. Приемо-сдаточные испытания проводит отдел технического контроля (ОТК). Приемо-сдаточные испытания считаются нормальными (стоцентными), когда испытывается (контролируется) каждый экземпляр изделия данной серии или партии с одинаковой полнотой, и выборочными, когда испытывается (контролируется) несколько экземпляров или определенный процент от общего количества изделий или потока продукции, составляющих серию или партию.

Приемо-сдаточные испытания в общей системе испытаний занимают важное место. Они играют роль своеобразного фильтра на пути движения изделий от изготовителя к потребителю. Не отвечая непосредственно на вопрос о том, какова надежность испытываемых изделий, они обеспечивают выполнение условия: если надежность изделия ниже некоторого уровня, то оно будет забраковано с определенной вероятностью.

Результаты приемо-сдаточных испытаний (проверок) отражаются в сопроводительной документации к продукции (отметки о приемке, а при необходимости фактические результаты испытаний).

Приемо-сдаточные испытания, как правило, проводит изготовитель продукции. Однако если на предприятии-изготовителе имеются представители заказчика, то в этих случаях испытания проводят представители заказчика в присутствии представителя изготовителя.

Изделия государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) подвергаются приемо-сдаточным, периодическим и типовым испытаниям в соответствии с ГОСТ 12997—76.

Периодические испытания преследуют цель периодического контроля уровня качества выпускаемых изделий. Периодические испытания проводит ОТК. Периодическому испытанию подвергаются головные экземпляры опытной или установочной серии и образцы серийного выпуска, выбираемые по специальной методике из числа изделий, прошедших приемо-сдаточные испытания. Периодичность, продолжительность и условия проведения периодических испытаний и их объем устанавливаются в стандартах и ТУ по методике, основанной на статистических методах контроля качества продукции. Если в процессе периодических испытаний выявляется несоответствие требованиям, установленным в стандартах и ТУ, то проводится корректировка технической документации, вносятся изменения в технологический процесс или модифицируется изделие.

Параметрические испытания проводят с целью проверки соответствия выходных параметров технического изделия требованиям ТУ (ЧТУ, ОТУ) и конструкторско-технологической документации. Эти испытания осуществляются в нормальных условиях: при температуре $t = 25 \pm 10^\circ \text{C}$, влажности $\theta = (65 \pm 15) \%$, давлении $P = 84 \div 106 \text{ кПа}$ (630—800 мм рт. ст.), при отсутствии механических воздействий, радиации и других факторов.

Параметрическим испытаниям подвергается полностью собранная и отрегулированная аппаратура на рабочих местах или на местах контроля, оборудованных необходимыми контрольно-измерительными приборами и специальными испытательными установками.

Параметрические испытания могут входить в состав всех видов испытаний: предварительных, приемочных, приемо-сдаточных и периодических.

Испытания на надежность делятся на определительные, контрольные и специальные (ускоренные, граничные, форсированные и др.) [11] (ГОСТ 16504—74, ГОСТ 20699—75, 16300—70, ГОСТ 16356—70, ГОСТ 21320—75, ГОСТ 23502—79).

Испытание на надежность представляет собой испытания аппаратуры, проводимое для определения значений показателей ее надежности в заданных условиях (ГОСТ 23146—78).

Аналогично проводятся испытания на безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, транспортбель-

ность, прочность и другие параметры продукции, определяющие ее надежность.

Методы определения надежности зависят от степени восстанавливаемости аппаратуры.

В зависимости от степени готовности устройства (этапа разработки) методы расчета надежности можно разделить на следующие виды:

Разработка технического задания	Расчет норм надежности
Предэскизный проект	Прикидочный расчет, расчет норм надежности
Эскизный проект	Прикидочный, ориентировочный расчет
Технический проект или рабочий проект (выпуск рабочих чертежей)	Окончательный расчет} с учетом режимов работы элементов и факторов, воздействующих на изделие
Макет, готовый образец (стендовые испытания). Подконтрольная эксплуатация	Экспериментальная оценка уровня надежности изделия

По полноте учета факторов, влияющих на работу аппаратуры, различают прикидочный, ориентировочный и окончательный расчет надежности. Все эти виды расчетов и испытаний достаточно разработаны в следующих стандартах: ГОСТ 13216—74, 16325—76, 17331—71, 17533—72, 17572—72, 18049—72, 18333—73, 19152—73, 20699—75, 22941—78, 22952—78, 23642—79.

Сбор и обработка результатов испытаний и планирование наблюдений, испытаний на надежность установлены ГОСТ 16504—74, 16468—70, 17526—72, 19490—74, 21317—75, 17510—79.

Определительные испытания аппаратуры на надежность проводятся с целью нахождения фактических количественных показателей надежности для одного из типовых вариантов испытаний, соответствующих заданным условиям применения (ГОСТ 22261—76, ГОСТ 11478—75, ГОСТ 21322—75Е).

Определительные испытания назначаются после освоения вновь разработанной или модернизированной аппаратуры, изготовленной по технологии, соответствующей предполагаемому виду производства. При определительных испытаниях проверяется также закон распределения отказов для данного вида изделий.

Контрольные испытания приборов на надежность проводятся с целью контроля соответствия качественных показателей надежности требованиям стандарта, технического задания и ТУ.

Ускоренные испытания состоят в оценке надежности аппаратуры с заданной точностью в течение времени, значительно меньшего требуемой продолжительности проведения натуральных испытаний. Сокращение времени испытаний достигается путем повышения уровней воздействующих нагрузок, в результате че-

го соответственно возрастает интенсивность потока отказов аппаратуры.

Сложность задачи ускоренных испытаний заключается в том, что число образцов, которые могут быть предъявлены на испытания, часто выражается единицами. По существу, мы имеем здесь дело с двумя неразрывно связанными задачами: задачей сокращения времени испытаний и задачей сокращения объема выборки.

Идея ускоренных испытаний возникла в результате анализа поведения комплектующих элементов и аппаратуры в различных эксплуатационных режимах. Полученные при этом эмпирические зависимости надежности изделий от режима эксплуатации представлялись обнадеживающими в смысле реализации методов форсированных испытаний.

Граничные испытания преследуют цель определения границ нормальной (безотказной) работы аппаратуры при изменении параметров элементов и условий эксплуатации, а также уточнение расчетных данных и допусков на параметры и режимы работы элементов и узлов.

Методика проведения граничных испытаний предусматривает следующий порядок испытаний [9, 10]:

на основании анализа условий эксплуатации и назначения аппаратуры устанавливается наихудший режим эксплуатации; согласно техническому заданию на проектируемое (изготавливаемое) устройство устанавливаются выходные параметры аппаратуры и допустимые пределы их изменений, так называемые контрольные параметры, по которым будет фиксироваться отказ;

устанавливается параметр граничных испытаний, в качестве которого берут параметр, наиболее сильно влияющий на выходные параметры аппаратуры;

анализируется работа аппаратуры и устанавливаются элементы, к изменениям параметров которых аппаратура наиболее критична;

определяются границы нормальной (безотказной) работы аппаратуры при изменении параметров ее элементов.

Испытания следует начинать с элементов, к изменениям которых аппаратура наиболее критична, или с элементов, неточность расчета параметров которых наиболее вероятна. Такой порядок исследования рекомендуется в связи с тем, что на основании полученных результатов граничных испытаний могут быть выбраны новые номинальные параметры элементов и тогда все предыдущие исследования (испытания) необходимо будет повторить.

Результатами граничных испытаний являются графики, иллюстрирующие допустимое изменение параметров элементов.

Форсированные испытания — это ускоренные испытания, основанные на интенсификации процессов, вызывающих отказы.

или повреждения; в результате этих испытаний сокращаются сроки их проведения.

Как пример форсированных испытаний рассмотрим лабораторно-отрабочные испытания (ЛОИ).

Лабораторно-отрабочные испытания — это комплекс форсированных испытаний и исследований, которым подвергаются изделия в ходе рабочего проектирования и изготовления опытных образцов аппаратуры для проверки правильности выбранных технических решений по обеспечению надежности, запасов прочности и работоспособности изделия при различных механических и климатических воздействиях.

С целью выявления наиболее слабых и ненадежных узлов элементов изделий при оценке их прочности и работоспособности испытания проводят в наиболее тяжелых режимах при внешних воздействиях, превосходящих заданные в ТУ (ТЗ) на аппаратуру.

Программа и методика ЛОИ составляется разработчиком изделия, согласовывается с лабораторией типовых испытаний, отделом надежности и представителем заказчика.

При проведении ЛОИ предусматривается два этапа испытаний. На первом этапе изделие испытывается на соответствие требованиям ТЗ (ТУ) в объеме, согласованном с представителем заказчика.

На втором этапе испытания проводятся в наиболее тяжелых режимах при внешних воздействиях, превосходящих заданные в ТУ. В результате испытаний получают оценку запасов по климатическим, механическим и электрическим воздействиям.

Рекомендуются следующие превышения требований ТУ по внешним воздействиям: климатические $10 \pm 15\%$; механические $10 \pm 15\%$; электрические (изменение параметров входных сигналов, напряжения источников питания, выходной нагрузки) $5 \pm 15\%$.

В технически обоснованных случаях допускается замена превышения воздействий увеличением продолжительности соответствующих испытаний.

На основании данных, полученных в результате ЛОИ, даются рекомендации по доработке изделий.

Типовые (проверочные) испытания проводят с целью оценки эффективности и целесообразности внесенных изменений в конструкцию, рецептуру или технологию изготовления продукции. Типовым испытаниям подвергаются изделия, прошедшие приемосдаточные испытания.

Испытание проводит заводская комиссия, состав которой утверждает руководство предприятия-изготовителя. Основным документом при типовых испытаниях является ПИ, составленный в соответствии со стандартом или ТУ.

Климатические испытания необходимы для проверки параметров и (или) сохранности внешнего вида изделий в условиях

и после воздействия климатических факторов: температуры, влаги, пониженного и повышенного давления, солнечной радиации, тумана и др. Климатические испытания входят в состав предварительных, периодических, проверочных, ускоренных и сравнительных (непрерывных) испытаний.

Климатические испытания можно разделить на три группы [11]:

1) испытания, обязательные для всех или большинства видов аппаратуры (испытания на устойчивость к циклическому изменению температуры, влагоустойчивость, холодоустойчивость, устойчивость к воздействию инея и росы, теплоустойчивость);

2) испытания, обязательные только для некоторых видов аппаратуры (испытания на пониженное давление, на воздействие морского тумана и др.);

3) необязательные испытания (испытания на устойчивость к быстрому изменению давления, устойчивость к повышенному гидростатическому давлению, устойчивость к воздействию солнечной радиации, пылеустойчивость и грибоустойчивость).

Электрические испытания проводятся при испытании опытных и серийных изделий с целью проверки электрической прочности и сопротивления изоляции, при которых основным видом воздействий являются электрические нагрузки.

Биологические испытания — испытания, при которых основным видом воздействий является жизнедеятельность организма.

Механические испытания проводят с целью проверки устойчивости параметров изделия к воздействию механических факторов: вибрации, ударов, центробежных перегрузок и транспортной тряски. Механические испытания входят в состав предварительных, государственных проверочных и периодических испытаний и частично в состав приемо-сдаточных и сравнительных (непрерывных) испытаний. **Сравнительные** (непрерывные) испытания — испытания двух или более аппаратов, проводимые в идентичных условиях для сравнения характеристик их качества. Эти испытания позволяют без значительных затрат непрерывно контролировать производственный процесс, выявлять конструктивно-технологические недоработки, оперативно оценивать эффективность разрабатываемых мероприятий и прогнозировать интенсивности внезапных и постепенных (метрологических) отказов [6].

Перед непрерывными испытаниями, которые являются составной частью контроля технологического процесса, ставятся следующие основные задачи:

оперативное выявление дефектов аппаратов непосредственно после их изготовления в первый период их работы (50—200 ч) в зависимости от группы средств измерений (ГОСТ 22261—76), а изделия ГСП в соответствии с ГОСТ 12997—76, ГОСТ 23502—79;

анализ причин отказов и оперативная разработка рекомендаций по устранению выявленных недостатков;

оценка состояния технологического процесса и при необходимости его регулировка;

предупреждение брака, возникающего в процессе производства;

сбор данных о надежности комплектующих деталей, элементов и изделий, а также получение информации от заводов-изготовителей и предъявление к ним претензий;

оценка эффективности изменений технологического процесса комплектующих деталей и элементов с целью повышения качества и надежности приборов;

анализ влияния ритмичности производства;

сравнительная оценка надежности (качества) приборов.

Порядок проведения непрерывных испытаний см. в гл. II.

4. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Под условиями эксплуатации понимают совокупность внешних факторов, существенно влияющих на работоспособность технического изделия.

Фактором называют одно или совокупность условий процесса управления, воздействующих на техническое изделие и влияющих на его работоспособность в процессе эксплуатации.

Для того чтобы изделие работало безотказно, оно должно выдерживать без повреждений и необратимых изменений воздействия разнообразных факторов.

Внешние механические воздействия, которым могут подвергаться изделия при транспортировании, собственно эксплуатации (в установленном состоянии), а также при хранении на складе, назовем *условиями эксплуатации*.

Понятие «условия эксплуатации» иногда трактуется неточно. Под условиями эксплуатации следует понимать не только климатические, механические и прочие воздействия окружающей среды, но и всю совокупность факторов, изменяющих техническую эффективность аппаратов в период эксплуатации, в том числе и организацию технического обслуживания. Сведение же условий эксплуатации лишь к воздействию окружающей среды приводит к тому, что при проектировании условия технического обслуживания не рассматриваются и не учитываются. Схемные и конструктивные решения принимаются без учета таких факторов, как количество и квалификация обслуживающего персонала, интенсивность эксплуатации средств измерений, организация текущих, средних и капитальных ремонтов, периодичность и объем профилактических проверок, организация проверок и межповерочные интервалы, ограничения по количеству запасных элементов и расходных материалов и т. п. В итоге не используются какие-либо возможности для повышения техни-

ческой эффективности аппаратуры за счет рациональной организации ее эксплуатации.

Одним из путей повышения надежности средств измерений является априорный анализ условий эксплуатации и ее рациональной организации.

На практике определенные типы аппаратов могут находиться в различных условиях транспортирования и собственно эксплуатации. Поэтому во время проектирования и изготовления аппаратов стоит задача гарантировать их определенную надежность, поскольку изделие транспортируется и эксплуатируется при заданных механических воздействиях.

Надежность аппаратуры в значительной мере зависит от режимов работы и условий эксплуатации изделий. К аппаратуре, работающей, например, в стационарных отапливаемых помещениях при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ при отсутствии воздействия внешних механических и климатических факторов, и к аппаратуре, предназначенной для работы в условиях тропического или арктического климата (ГОСТ 16350—70, ГОСТ 17532—77Е), предъявляются совершенно разные требования. Для определения условий эксплуатации аппаратуры в зависимости от ее назначения как в СССР, так и в ряде стран разработаны специальные стандарты, предусматривающие возможные воздействия внешних факторов на аппаратуру различного класса. Такие стандарты являются, как правило, основными документами, устанавливающими эксплуатационные условия работы аппаратуры.

Фактически деление аппаратуры на различные классы, группы по условиям эксплуатации и отнесение аппаратуры к тому или иному классу, группе в значительной мере определяют ее стоимость, массу, габаритные размеры, конструкцию, параметры. При проектировании и производстве аппаратуры различных классов могут использоваться совершенно различные технические решения, комплектующие изделия, материалы, а также методы производства.

Методы испытания разрабатывают исходя из различных условий эксплуатации, и поэтому они не зависят друг от друга. При выборе методов испытаний следует учитывать следующее: возможность их реализации имеющимися испытательными установками;

экономичность решаемых выбранным методом задач;

обеспечение автоматического контроля параметров испытываемых объектов;

наличие кадров, достаточно квалифицированных для проведения испытаний.

Ввиду разнообразия этих критериев отдельные методы испытаний существенно отличаются друг от друга.

По условиям эксплуатации при различных механических воздействиях аппаратура радиоэлектронная бытовая, аппаратура виброизмерительная, изделия электронной техники для уст-

ройств широкого применения, средства измерений подразделяются на группы в соответствии с ГОСТ 11478—75, ГОСТ 17167—71, ГОСТ 20844—75, ГОСТ 21322—75Е, ГОСТ 22261—76.

Помимо таких общих стандартов требования к отдельным видам приборов, схемам или испытательным устройствам по мере необходимости излагаются в стандартах на конкретные виды аппаратуры или ее элементы, а также в стандартах на методы испытаний.

Для получения сравнимых результатов испытаний образцов аппаратуры или ее элементов в настоящее время в рамках Международной электротехнической комиссии (МЭК) разработаны рекомендации, регламентирующие степень жесткости, объективные единые методы испытаний и основные требования к испытательным установкам, которые изложены в ГОСТ 16962—71, ГОСТ 11478—75.

Для определенных классов, степени жесткости или групп изделий устанавливаются некоторые нормальные (или стандартные) условия функционирования.

Степени жесткости определяются на основании анализа комплекса климатических и механических факторов, воздействующих на аппаратуру и ее элементы в различных условиях эксплуатации.

Различные степени жесткости получают путем изменения параметров определяющих факторов в отдельности или в комбинации при помощи испытательных стендов.

В зависимости от степени жесткости устанавливают один или несколько диапазонов вибрации: 1—10; 5—35; 10—55; 10—150; 10—500; 10—2000; 10—5000 Гц (всего 20 степеней жесткости). Измерение частоты для определения резонанса должно производиться с допуском $\pm 0,5\%$ или $\pm 0,5$ Гц. Допуски на частоту в других случаях должны быть ± 1 Гц для частот до 50 Гц и $\pm 2\%$ для частот свыше 50 Гц.

В зависимости от принятой методики вибростенды должны обеспечивать проведение испытаний на заданной частоте, на ряде фиксированных частот, методом качающейся частоты (качание определяется как прохождение по заданному диапазону частот, например, от 10 до 150 Гц и обратно до 10 Гц по логарифмическому закону); качание должно быть постоянным по амплитуде.

Амплитуды вибраций в зависимости от диапазона частот задаются одной из двух характеристик: ниже так называемой переходной частоты (она лежит приблизительно между 57 и 62 Гц) — величиной постоянного смещения, а выше этой частоты — постоянным ускорением.

Величины амплитуды смещения составляют ряд: 0,075; 0,15; 0,35; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 3,5; 10; 100 мм.

Допускаемые механические факторы для различных степеней жесткости приведены в приложении 2.

Для средств измерений электрических величин общепромышленного назначения устанавливаются: нормальные условия применения; рабочие условия применения; предельные условия транспортирования и хранения.

По условиям эксплуатации при различных механических воздействиях средства измерений подразделяются на семь групп.

Значения климатических и механических влияющих величин по группам средств измерений см. в табл. 1 ГОСТ 22261—76.

Условия применения (ГОСТ 21322—75Е) и комплекс требований для каждой классификационной группы по механическим воздействиям и связь со степенями жесткости (ГОСТ 16962—71) приведена в приложении 3.

5. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ВИБРАЦИИ

Удары, вибрации, круговые и линейные перемещения, возникающие в месте установки приборов при их эксплуатации и транспортировании, вызывают механические перегрузки изделия.

Вибрация представляет собой продолжительные знакопеременные движения, вызываемые колебательными силами, которые возникают в результате возвратно-поступательного движения или наличия несбалансированных масс, например, при работе двигателей агрегатов питания, электродвигателей, автоматов, преобразователей и других устройств. Вибрация, являющаяся неотъемлемой частью работы многих машин и механизмов, может выполнять полезные функции или быть нежелательной, вызывающей вредные перегрузки. Если точки тела при вибрации перемещаются в одной плоскости, то такую вибрацию называют плоскостной, круговой или эллиптической вибрацией. Частный случай плоскостной вибрации — прямолинейная вибрация (горизонтальная, вертикальная или наклонная).

Изменение положения точек колеблющегося тела называют *смещением* s , изменение смещения во времени — *скоростью вибрации* a_v , изменение скорости — *ускорением вибрации* a_v . Ускорения и скорости, возникающие при круговых вибрациях, носят центробежный или центростремительный характер в зависимости от их направления (от центра или к центру вращательного колебания). Кроме того, вибрационные колебания характеризуются частотой f_v или угловой (круговой) частотой ω_v . В реальных условиях вибрация изделий имеет сложный характер. Для простоты полагают, что колебания при вибрации являются гармоническими синусоидальными колебаниями, причем смещение происходит в одной или двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Ускорения и перегрузки, возникающие при вибрации, определяются по следующим формулам:

$$a_v = \omega_v^2 s = (2\pi f_v)^2 s;$$

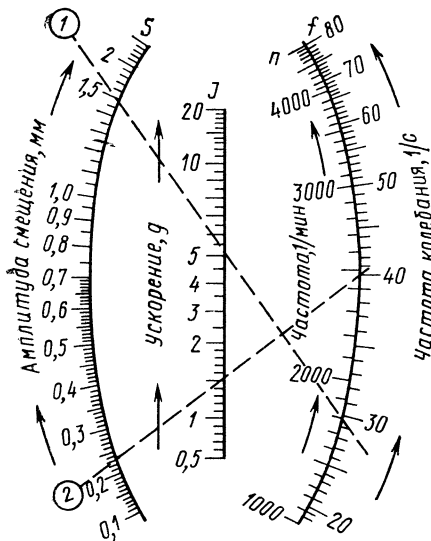


Рис. 3. Номограмма для пересчета вибрационных амплитуд смещений в перегрузки (ускорения) и обратно

$$J_B = \frac{a_B}{g} = \frac{\omega_B^2 s}{g} = (2\pi f_B)^2 \frac{s}{g}$$

Для инженерных расчетов любая из этих величин может быть найдена по номограмме, приведенной на рис. 3.

В качестве примера на рис. 3 показаны два случая расчета:

1) при $s=1,5$ мм; $n=1800$ колеб/мин перегрузка $J=5,4$ g;

2) при $J=1,5$ g и $f=40$ колеб/с смещение $s=0,23$ мм.

При технических расчетах пользуются приближенной формулой

$$J_B \approx \frac{f_B^2 s}{250}$$

где s — амплитуда смещения, мм; f_B — частота вибрации, Гц.

В табл. 2 приведены параметры типовых вибраций, которым подвергается аппаратура, установленная на различных подвижных объектах.

Таблица 2

Основные параметры механических испытаний [22]

Параметр	Диапазон частот, Гц	Длительность импульса, мс	Максимальное ускорение, g
Виброустойчивость	5—10 000	—	50
Вибропрочность	5—1000	—	100
Ударная устойчивость	20—80 удар/мин	1—80	50—100
Ударная прочность	—	—	150—2000
Одиночные удары с большим ускорением	—	0,1—10	До 5000
Устойчивость к воздействию линейного (центробежного) ускорения	—	—	50—500
Случайная (хаотическая) вибрация	5—5000	—	20
Транспортные воздействия	До 200 удар/мин	1—10 20—50	15—25 5—10

Удары и вибрация обычно сопутствуют друг другу. Например, к вибрации, действующей на бортовые приборы при полете самолета, добавляются удары при взлетах и посадках; к вибрации, действующей на судовые приборы при плавании, добавляются удары при маневрировании и швартовке и т.п. Поэтому при обеспечении надежности в процессе конструирования необходимо учитывать все виды механических нагрузок. В качестве примера в табл. 3 приведены данные испытаний аппаратуры на механические перегрузки.

Таблица 3

Данные испытаний аппаратуры на механические перегрузки

Условия работы	Тип испытательной установки	Частота, Гц	Амплитуда смещения, мм	Продолжительность испытания, ч	Ускорение в полях смещения, м/с ²	Дополнительные условия
В автомашинах, самолетах	Вибрационная установка	40	±0,5	4	6,5 и более	С собственной амортизацией
При транспортных перегрузках		10—15	2—3	2	2	
При перегрузках, толчках, ударах	Ударный стенд	1,5—5	7—10	1	0,7	В упаковке
На морских и речных судах	Вибрационная установка	15	5	В соответствии с ТУ	4,5	
При морской качке	Качающая установка	3,5	22—25		5,2	

Способность изделия противостоять разрушающему действию вибрации называется *вибропрочностью*, а сохранять свою работоспособность как под действием вибрации, так и после ее прекращения — *виброустойчивостью*. Иногда вибропрочность и виброустойчивость объединяют общим понятием — *вибростойкостью*. Способность изделий противостоять разрушающему действию ударов и продолжать после их воздействия выполнять свои функции называется *ударопрочностью*. Аналогично формируются понятия, определяющие способность противостоять действию ветра, взрыва и других механических факторов.

Под влиянием вибрации возможно возникновение различного рода неисправностей в аппаратуре [10].

При вибрации появляются инерционные силы в массах. Эти силы могут вызвать напряжения в элементах конструкции, превышающие предел прочности. Такая опасность чаще всего возникает при действии импульсных ускорений. Критерием прочности в данном случае является максимальная (пиковая) величина ускорения.

Неисправность аппаратуры может возникнуть из-за того, что при вибрациях амплитуда перемещения некоторых элементов превышает допустимую величину. Например, при больших вибрациях неизолированный провод может касаться токопроводящих поверхностей, что приводит к недопустимым явлениям в электрической схеме. Ограничением здесь является максимальная величина смещения.

Под влиянием длительно действующих инерционных сил возможны усталостные разрушения в материалах конструкции [5]. Известно, что в авиации 60—80% поломок вызваны усталостными разрушениями. Некоторые материалы, например сталь, характеризуются пределом выносливости. Поломки могут произойти, если напряжения в материале превысят этот предел. Ограничением здесь являются величина ускорения и число циклов.

Следует оговорить, что существует много теорий усталостного разрушения, в соответствии с которыми выдвигаются и различные критерии, оптимальные для характеристик вибраций.

Бывают случаи, когда неисправность возникает, если смещения в конструкции превышают допустимую величину в течение относительно длительного интервала времени. Примером может служить расфокусировка оптической аппаратуры и другие нарушения в точных приборах. Критерием в данном случае можно считать величину вибросмещения и время его действия.

Неисправности могут возникать, когда колебания достигают достаточно большой величины на определенных частотах, являющихся частотами резонанса аппаратуры. В этом случае возникают резонансные умножения колебаний, которые могут привести к поломкам.

Особую опасность представляют вибрации, частота которых совпадает с собственными частотами элементов конструкции. Очень низкие частоты вибраций (несколько герц) могут являться причинами отрыва, например, трансформаторов, некоторых блоков, электролитических конденсаторов, ламп и т.п. Более высокие частоты вибрации нередко вызывают обрывы подвешенных на выводах различных резисторов и конденсаторов сравнительно больших габаритов и массы. На малогабаритные резисторы, конденсаторы и транзисторы влияют вибра-

ции на частоте от 100 до 600 Гц, а иногда и выше. При этом отрываются или обламываются выводы.

При воздействии вибрации ухудшается качество всех видов механических соединений. При длительном действии вибраций разбалтываются винтовые соединения, расшатываются заклепочные, а сварные просто разрушаются. Рукоятки управления и регулировочные (подстроечные) элементы без специального жесткого фиксирования перемещаются [47].

6. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВИБРАЦИЙ НА КОНСТРУКЦИЮ АППАРАТУРЫ

При анализе случайных вибраций различают узко- и широкополосные случайные вибрации. Узкополосные вибрации разделяют на вибрации с постоянной частотой и переменной амплитудой и вибрации с переменными средней частотой и амплитудой [25].

Узкополосные процессы возникают как реакция механической системы с малым демпфированием на широкополосное возмущение. Среднее значение частоты ω_0 определяется по формуле Райса [45]

$$\omega_0^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S_X(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} S_X(\omega) d\omega} = - \frac{R_{\dot{X}}(0)}{R_X(0)} = \frac{\sigma_{\dot{X}}^2}{\sigma_X^2},$$

где $\sigma_{\dot{X}}$, σ_X — среднее квадратическое значение реакции системы и смещения основания; $S_X(\omega)$ — спектральная плотность собственной частоты основания; $R_{\dot{X}}(0)$, $R_X(0)$ — дисперсия гармонических вибраций системы и основания.

Если колебательная система имеет острые резонансы, а возбуждающие колебания представляют собой гауссов белый шум, то математическое ожидание частоты ω_0 совпадает с собственной частотой ω_c системы. Зная математическое ожидание частоты ω_0 , можно определить огибающую узкополосного процесса

$$A(t) = X^2(t) + [\dot{X}^2(t)]/\omega_0^2.$$

Одномерная плотность вероятности $A(t)$ подчиняется закону распределения Релея [45]

$$P = (y_0/\sigma^2) e^{-y_0^2/2\sigma^2},$$

где y_0 — пиковые значения реакции системы, вызываемые нормальным случайным процессом.

Числовые значения y_0 можно найти, подставив в последнюю формулу значения σ в мм, определяемые по следующим формулам:

в случае воздействия случайных вибраций на основание системы с одной степенью свободы и демпфированием

$$\sigma = 224 \sqrt{S(f_0)/\xi f_0^2},$$

где $S(f_0)$ — спектральная плотность ускорения основания; ξ — отношение коэффициента демпфирования системы к критическому демпфированию (определяется экспериментально); f_0 — собственная частота системы, Гц;

в случае воздействия случайной силы F

$$\sigma = \sqrt{\pi f_0 S_F(f)/4\xi},$$

где $S_F(f)$ — спектральная плотность возмущающей случайной силы; σ — среднее квадратическое значение смещения основания, т. е. реакция системы.

Узкополосный случайный процесс может быть представлен как синусоидальные вибрации со случайно изменяющейся амплитудой. Поэтому с уменьшением ширины полосы спектра период изменения амплитуды увеличивается и, следовательно, для определения статистических характеристик требуется реализация большой длительности.

Реакция системы на узкополосную случайную вибрацию эквивалентна реакции на действие гармонических вибраций. На одновременное действие нескольких узкополосных случайных процессов колебательная система реагирует, как на полигармонические вибрации.

Реакцию конструкции на широкополосную случайную вибрацию можно определить как суммарное воздействие многих узкополосных случайных вибраций. В этом случае среднее квадратическое значение перемещения в мм вычисляется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N \mu_{f_i} S(f_i) \Delta f_i}$$

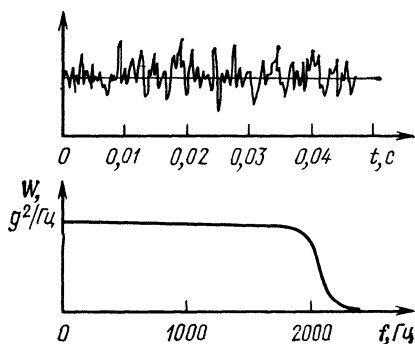
или

$$\sigma = \left[\int_{f_1}^{f_2} \mu_f S(f) df \right]^{1/2},$$

где μ_f — коэффициент динамичности (отношение амплитуды смещения основания к амплитуде возбуждающей силы на заданной частоте); $S(f)$ — спектральная плотность возмущающей случайной вибрации в полосе частот $f_1 \dots f_2$, мм²/Гц; Δf_i — интервал разбиения полосы частот $f_1 \dots f_i$, Гц; N — число интервалов разбиения полосы частот.

При действии широкополосной случайной вибрации в аппаратуре возбуждаются одновременно колебания на всех собственных частотах, присущих этой аппаратуре. При воздейст-

Рис. 4. Случайные вибрации (нормальный ' белый шум в диапазоне частот от 0 до 2000 Гц) и соответствующая спектральная плотность ускорения



вии на конструкцию изделий узкополосной случайной вибрации с переменной центральной частотой резонансные колебания будут возбуждаться последовательно. Поэтому реакции системы при воздействии узко- и широкополосной случайной вибрации будут иметь различие только во времени действия, что может повлиять при определенных условиях на виброустойчивость и вибропрочность аппаратуры. Если на аппаратуру воздействует широкополосная случайная вибрация, то виброустойчивость аппаратуры зависит, в частности, от уровня спектральной плотности, ширины полосы возбуждающих частот, общего числа резонансных колебаний, возникающих одновременно, и числа приборов, чувствительных к действию вибрации.

Пример случайной вибрации, имеющей нормальное распределение и постоянный энергетический спектр (спектр белого шума) в диапазоне частот от 0 до 2000 Гц и соответствующая спектральная плотность ускорения, показан на рис. 4.

Допустим, что в блок входит один виброчувствительный элемент, например точечный диод, вибрационные параметры которого определяются допустимым ускорением $\omega = 15g$ и собственной частотой $f_c = 16$ кГц. Тогда запас виброустойчивости блока будет определяться величиной ускорения и частотой действующей вибрации. Если величина виброускорения превышает $15g$, то параметры сигнала будут изменяться. При этом ускорение не зависит от частоты и, следовательно, нет необходимости испытывать блок на устойчивость к случайным вибрациям.

Такой блок достаточно испытать при воздействии гармонических вибраций, чтобы выявить влияние резонансов элементов конструкции, на которой укреплен диод. Например, если при воздействии гармонической вибрации в элементах конструкции возникает резонанс на основной частоте $f_0 = 2000$ Гц и на частоте восьмой гармоники $f_8 = 16$ кГц, которая совпадает с частотой собственных колебаний диода f_c , то может произойти нарушение работы блока даже при ускорении менее $10g$, так как проявится эффект резонанса самого диода.

Если в блок входит несколько чувствительных к вибрации элементов и их собственные частоты находятся в диапазоне частот возбуждающих сил, то испытывать его на виброустойчивость целесообразно при воздействии широкополосной случай-

ной вибрации или полигармонической вибрации для одновременного возбуждения колебаний всех резонансных частот. Когда собственные частоты элементов находятся вне полосы частот внешних вибраций, проводить испытания аппаратуры на устойчивость к воздействию случайных вибраций с такой шириной полосы нецелесообразно, так как при этом будет иметь значение только уровень спектральной плотности, который в данном случае можно заменить требуемой величиной ускорения гармонической вибрации.

Отличие действия широкополосной случайной вибрации от эквивалентной гармонической повлияет на вибропрочность конструкции в том случае, когда результирующие механические напряжения в элементах конструкции превышают предел прочности и каждый элемент конструкции имеет в диапазоне частот возбуждающих сил несколько резонансов. Такое сочетание механических воздействий является редким, и поэтому испытания на вибропрочность при действии широкополосной случайной вибрации целесообразно проводить только в тех случаях, когда аппаратура имеет сложную конструкцию и малый ресурс времени, т. е. когда испытания необходимо провести за короткий интервал времени.

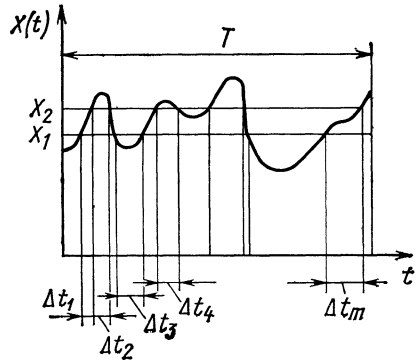
Заметим также, что конструкция аппаратуры, обладая определенными демпфирующими свойствами, фильтрует воздействующие на нее широкополосные случайные вибрации, и поэтому в месте установки виброчувствительных приборов в большинстве случаев действуют узкополосные случайные вибрации, которые можно заменить эквивалентными полигармоническими вибрациями.

7. ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИСПЫТАНИЙ АППАРАТУРЫ НА СЛУЧАЙНЫЕ ВИБРАЦИИ

Для организации виброиспытаний помимо уровня вибраций, которые должны моделировать реальные условия, можно назначить продолжительность испытаний. Если прибор после виброиспытаний предназначен для работы в течение длительного времени, то естественно выбрать время испытаний таким образом, чтобы, с одной стороны, в максимальной степени уменьшить долю случайно ненадежных элементов и типовых функциональных узлов, а с другой — не вызвать существенного старения.

Рассмотрим методику инженерного расчета длительности действия и уровня спектральной плотности ускорения при испытании аппаратуры на случайные вибрации по заданным нормам ТУ и продолжительности испытаний на гармонические вибрации. Продолжительность испытаний на случайные вибрации при заданных длительности, частоте и амплитуде гармонических вибраций определяется на основе амплитудного распределения случайных вибраций следующим методом [25].

Рис. 5. Амплитудные уровни случай-ной функции



При наблюдении в течение длительного интервала времени T реализации $X^{(k)}(t)$ случайных вибраций суммарное время $t^{(k)}$ пребывания реализации в определенных пределах от X_1 и X_2

$$t^{(k)}(T) = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m.$$

Отношение

$$v_k = [t^{(k)}(T)]/T$$

называется относительным временем пребывания реализации $X^{(k)}(t)$ в пределах от X_1 до X_2 (рис. 5).

Относительное время v_k есть случайная величина и при больших значениях T она стремится к постоянной величине P (закон больших чисел).

Если случайные стационарные вибрации удовлетворяют условию эргодичности, то среднее значение $\bar{X}(t)$ по множеству функций $X^{(k)}(t)$ в момент времени t , определяемое по формуле (3.4) [24], равно среднему значению по времени случайной функции \bar{X} .

Равенство $\bar{X} = \bar{X}$ можно записать в виде

$$dt/T = P(X, t) dX$$

или

$$v_k = \frac{t^{(k)}}{T} = \int_{X_1}^{X_2} P(X, t) dX = P(X_1 < X^{(k)} \leq X_2), \quad (1)$$

где $P(X_1 < X^{(k)} \leq X_2)$ — вероятность того, что значения непрерывной случайной функции $X^{(k)}(t)$ находятся внутри заданного интервала от X_1 до X_2 .

Из формулы (1) следует, что при эргодических процессах относительное время пребывания случайной величины внутри заданного интервала (X_1, X_2) численно совпадает с вероятностью $P(X_1 < X(t) \leq X_2)$.

При испытании на гармонические вибрации задаются амплитуды A_k , частота f^k и длительность T_k испытания на данной частоте, т.е. исходные данные являются дискретными. Поэтому рассмотренные выше непрерывные случайные функции необходимо преобразовать по определенным методам в дискретные параметры. Такое преобразование осуществляется при помощи разложения реализации в ряд Фурье и применении теоремы Котельникова.

Предполагается, что случайные вибрации $X(t)$ стационарны, эргодичны, непрерывны по времени в заданном интервале $(0, T)$, имеют ограниченный спектр частот $(-\omega_c, \omega_c)$.

Ограниченный спектр $S(\omega)$ случайной функции $X(t)$ определяется по формулам

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-j\omega t} dt \quad \text{при} \quad |\omega| \leq \omega_c;$$

$$S(\omega) = 0 \quad \text{при} \quad |\omega| \geq \omega_c.$$

На конечном интервале $(-\omega_c, \omega)$ функцию $S(\omega)$ можно разложить в ряд Фурье

$$S(\omega) = \sum_{-\infty}^{+\infty} C_k e^{j\pi k \omega / \omega_c},$$

где $1/\omega_c$ — период.

Спектральные коэффициенты C_k определяются по формуле

$$C_k = \frac{1}{2\omega_c} \int_{-\omega_c}^{\omega_c} S(\omega) e^{-j\pi k \omega / \omega_c} d\omega.$$

Так как интеграл

$$\int_{-\omega_c}^{\omega_c} S(\omega) e^{-j\pi k \omega / \omega_c} d\omega = 2\pi X(-k\Delta t),$$

где $\Delta t = \pi/\omega_c$, то $S(\omega)$ запишется в виде

$$S(\omega) = \Delta t \sum_{-\infty}^{+\infty} X(-k\Delta t) e^{jk\omega\Delta t}.$$

Выражая функцию $X(t)$ через ее спектр $S(\omega)$, получаем

$$X(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_c}^{\omega_c} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega =$$

$$= \frac{\Delta t}{2\pi} \int_{-\omega_c}^{\omega_c} e^{j\omega t} d\omega \sum_{-\infty}^{\infty} X(k\Delta t) e^{-jk\omega\Delta t}.$$

Изменив порядок действий, найдем

$$X(t) = \frac{\Delta t}{2\pi} \sum_{-\infty}^{\infty} X(k\Delta t) \int_{-\omega_c}^{\omega_c} e^{j\omega(t-k\Delta t)} d\omega$$

или

$$X(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} X(k\Delta t) \frac{\sin \omega_c (t - k\Delta t)}{\omega_c (t - k\Delta t)}. \quad (2)$$

Рис. 6. Кривая плотности относительного времени

Формула (2) выражает теорему Котельникова: функция $X(t)$ с ограниченным спектром вполне определяется своими мгновенными значениями $X(k\Delta t)$, отсчитанными через

$$\Delta t = \pi/\omega_c = 1/2f_c.$$

Следствие теоремы Котельникова может иметь следующую формулировку:

функция с ограниченным спектром f_c и конечной длительностью T определяется $m=2f_c T$ числами независимо от того, что представляют собой эти числа — дискретные значения функции, отсчитанные через шаг дискретизации, спектральные коэффициенты разложения в ряд Фурье, распределение вероятностей амплитуд или относительное время ν_k , в течение которого амплитуда находится в заданном интервале (X_1, X_2) . Например, для расчета корреляционной функции по реализации $X(t)$ согласно следствию теоремы Котельникова достаточно взять два значения функции на периоде высшей гармоники, содержащейся в реализации.

При испытании на случайные вибрации, имеющие постоянный уровень спектральной плотности в заданном диапазоне частот, амплитудное распределение вероятностей удовлетворяет нормальному закону и, следовательно, относительное время ν_k , в течение которого амплитуда находится в интервале (X_1, X_2) , также удовлетворяет этому нормальному закону (рис. 6). Согласно нормальному закону распределения относительного времени имеем:

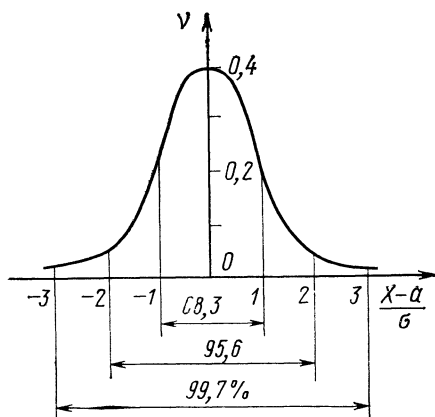
68,3% времени вибрации находятся в амплитудном интервале $\pm\sigma$;

95,6% времени — в интервале $\pm 2\sigma$;

99,7% времени — в интервале $\pm 3\sigma$.

В рассматриваемом случае σ — среднее квадратическое значение отклонения амплитуды от ее среднего значения, вычисляемое по дискретным амплитудам, заданным при испытании на гармонические вибрации при заданной длительности во времени T_k на каждой фиксированной частоте.

Постоянный уровень спектральной плотности случайных вибраций в данном случае вычисляется также по заданным значениям амплитуд ускорения гармонических вибраций. Ширина спектра случайных вибраций определяется заданным диапазоном частот при испытании на гармонические вибрации по изложенной методике. В работе [26] дан подробный пример



определения нормы и времени испытаний на гармонические вибрации.

Важным аспектом данного вопроса является возможность уточнения расчетных методов определения необходимых межповерочных интервалов, оговоренных ГОСТ 8.002—71, а также правильного математически обоснованного выбора продолжительности испытаний средств измерений в реальных условиях эксплуатации.

ГОСТ 8.002—71 устанавливает основные положения системы метрологического надзора, ревизии, экспертизы за средством измерений.

8. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ УДАРЕ

Удар — мгновенное приложение к конструкции внешних сил в течение миллисекунд или микросекунд. При ударе наблюдаются две фазы процесса: сжатие и восстановление. Этим двум фазам соответствуют преобразование кинетической энергии внешних сил в потенциальную энергию деформации элементов конструкции (сжатие) и обратное преобразование упругой деформации в кинетическую энергию (восстановление). Для совершенно неупругих конструкций действие удара на этом кончается. В упругих конструкциях, к которым относятся элементы конструкции аппаратуры, удар вызывает колебания с затухающей амплитудой на собственной частоте конструкции, вследствие чего в хрупких материалах могут появиться трещины и изломы. Удар возникает в тех случаях, когда средства измерения претерпевают быстрое изменение ускорения.

Влияние ударов связано с механическими разрушениями слабых элементов конструкции или с возможным возникновением затухающих колебательных движений на собственных механических частотах отдельных элементов.

Уровень ударов, которым может подвергаться аппаратура, трудно предугадать, поэтому элементы конструкции при ударе могут оказаться перегруженными [47].

Подобные перегрузки чаще всего возникают на элементах конструкции с консольными креплениями. Во время периодических ударов (при эксплуатации, испытании) эти элементы могут возбуждаться на собственной механической частоте. Результатом этого, как правило, является разрушение в месте крепления.

Элементы конструкции, находящиеся под большим механическим напряжением, также сильно подвержены действию удара. Например, выводы кабелей, жгутов, резисторов, конденсаторов, полупроводниковых диодов и триодов, если они были сильно натянуты в процессе монтажа, при действии удара обрываются.

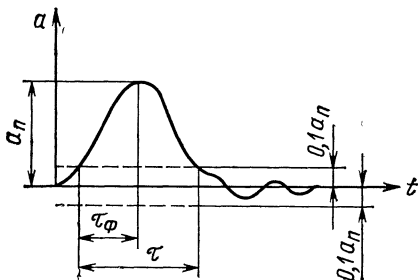
При воздействии внешних сил возникают силы противо-

Рис. 7. Характеристика ударного импульса

действия (силы инерции) $F_{ин}$, связанные с ускорением $g_{ин}$ следующим выражением:

$$F_{ин} = -mg_{ин},$$

где m — масса конструкции. Знак минус указывает на то, что направление силы инерции противоположно направлению ускорения.



Количественной мерой воздействия механического фактора служит вызываемая этим фактором перегрузка, которая оценивается отношением испытываемого изделием ускорения $g_{ин}$ к нормальному ускорению g свободного падения конструкции:

$$J = \frac{g_{ин}}{g}.$$

Перегрузка, возникающая при ударе, рассчитывается по формуле

$$J = \frac{v}{2gs},$$

где v — мгновенная скорость в момент удара; s — перемещение при ударе или суммарная величина упругих и остаточных деформаций соударяющихся тел.

Механический удар характеризуется быстрым выделением энергии, в результате чего возникают местные упругие или пластические деформации, возбуждение волн напряжения и другие эффекты, приводящие иногда к нарушению функционирования и даже к разрушению элементов аппаратуры. При разработке и особенно при конструировании аппаратуры следует учитывать реакцию изделия на ударные воздействия и при испытаниях опытного образца воспроизводить необходимые испытательные удары.

Удар имеет четко выраженное начало либо периодическое кратковременное воздействие, длительность которого значительно меньше периода его повторения. Объективными характеристиками удара, не связанными со свойствами изделия, испытывающего удар, чаще всего служат:

функциональная зависимость от времени параметров движения изделия при ударе: смещения $X(t)$, скорости и ускорения;

длительность ударного ускорения τ — время, в течение которого действуют мгновенные ускорения a одного знака, удовлетворяющие условию $a \geq 0,1 a_n$, где a_n — амплитуда пикового ускорения ударного импульса (рис. 7);

длительность фронта $\tau_{\text{ф}}$ ударного ускорения (см. ГОСТ 16962—71, ГОСТ 8.127—74); для пилообразной формы $\tau_{\text{ф}}=0,9 \tau$; где τ — длительность импульса; для полусинусоидальной формы $\tau_{\text{ф}}=\tau/2$; для трапецеидальной формы $\tau_{\text{ф}}=0,1 \tau$; пиковое ударное ускорение $a_{\text{п}}$;

максимальное ускорение по усредненной кривой $a_{\text{max у}}$.

Иногда в качестве характеристик удара служат импульс одного из параметров движения (ускорения J_a , скорости J_v или смещения J_x) и поглощенная энергия W_a , преобразующаяся в тепловую в процессе удара.

По форме кривой функциональной зависимости параметров движения ударные процессы разделяют на простые и сложные. Простые процессы не содержат высокочастотных составляющих и их характеристики аппроксимируются простыми аналитическими функциями. Наименование функции определяется формой кривой, аппроксимирующей зависимость ускорения от времени (полусинусоидальная, косинусоидальная, прямоугольная, треугольная, пилообразная, прямоугольная с наложенной синусоидой и т. д.). Для примера приведем аналитические функции параметров движения для ударного ускорения полусинусоидальной формы:

$$X(t) = \left(\frac{1}{2} J_a - v_0 \right) t - \frac{1}{2} J_a \frac{\tau}{\pi} \sin \frac{\pi}{\tau} t;$$

$$v(t) = a_m \frac{\tau}{\pi} \left(1 - \cos \frac{\pi}{\tau} t \right) - v_0;$$

$$a(t) = a_m \sin \frac{\pi}{\tau} t,$$

где $J_a = \int_0^{\tau} a(t) dt (v_{\tau} - v_0)$ — импульс ускорения; v_0 — начальная

скорость; $v_{\tau} = r v_0$ — скорость в конце процесса; $r \leq 1$ — коэффициент отскока (движения со скоростью, имеющей обратный знак); $a_{\text{п}}$ — максимальная амплитуда ускорения (пиковое ударное ускорение).

Полусинусоидальная зависимость, имеющая место при соударении двух твердых тел, разделенных идеальной пружиной, чаще всего используется для аналитической аппроксимации простого удара [41]. Иногда применяется также косинусоидальная зависимость, имеющая место при соударении тел со сферическими поверхностями. Функциональная зависимость косинусоидальной формы от времени имеет вид

$$X(t) = \frac{X_m}{2} \left(1 - \cos 2 \frac{\pi}{\tau} t \right).$$

Обычно в момент времени $t=0$ начальная скорость $v=0$ и начальное смещение $X_0=0$. Тогда функциональные зависимости параметров движения от времени принимают следующий вид:

а) для функции ударного ускорения полусинусоидальной формы

$$X(t) = X_m \left(\frac{t}{\tau} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi}{\tau} t \right);$$

$$v(t) = \frac{v_m}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi}{2} t \right),$$

где $v_m = \frac{2}{\pi} a_{\text{п}} \tau$, $X_m = \frac{\tau^2}{\pi} a_{\text{п}}$;

б) для функции ударного ускорения косинусоидальной формы

$$v(t) = v_m \left(\frac{t}{\tau} - \frac{1}{2\pi} \sin 2 \frac{\pi}{\tau} t \right);$$

$$X(t) = X_m \left[\left(\frac{t}{\tau} \right)^2 - \frac{1}{2\pi^2} \left(1 - \cos 2 \frac{\pi}{\tau} t \right) \right],$$

где $v_m = \frac{1}{2} a_{\text{п}} \tau$; $X_m = \frac{\tau^2}{4} a_{\text{п}}$.

Для проведения анализа удара в частотной области, особенно если необходимо учесть реакцию изделия на удар, используют спектральные характеристики, основанные на применении формул разложения Фурье амплитудного и фазового спектров процесса [8].

Механические перегрузки вызывают деформацию и поломку деталей, ослабление соединений (сварных, резьбовых и заклепочных), отвинчивание винтов и гаек, перемещение механизмов и органов управления, в результате чего изменяется регулировка и настройка прибора и появляются другие неисправности. Причиной механических перегрузок может быть воздействие обслуживающего персонала на органы управления с излишним усилием, способным вывести из строя отдельные органы управления. При этом иногда возникают усилия, не предусмотренные правилами эксплуатации, например радиальный и осевой нажим на ручки управления, боковое усилие на выключатель и другие усилия. Необходимо также учитывать и возможность ошибочных действий оператора (поворот в обратном направлении, попытка продвижения ручки после упора и т.п.). Особенно сильно такие воздействия обслуживающего персонала сказываются на миниатюрной и микроминиатюрной радиоэлектронной аппаратуре.

Борьба с вредным действием механических перегрузок ведется различными путями: увеличением прочности конструкции, использованием деталей и элементов с повышенной механической прочностью, применением амортизаторов и специальной упаковки, рациональным размещением приборов. Меры защиты от вредного воздействия механических перегрузок, делят на две группы: 1) меры, направленные на обеспечение требуемой

механической прочности и жесткости конструкции; 2) меры, направленные на изоляцию элементов конструкции от механических воздействий. В последнем случае применяют различные амортизирующие средства, изолирующие прокладки, компенсаторы и демпферы. Более подробно теория колебаний и вопросы защиты от механических перегрузок освещены в специальной литературе [1, 16, 18, 26].

9. ПАРАМЕТРЫ УДАРНОГО ДВИЖЕНИЯ

Рассмотрим зависимость от времени основных параметров ударного движения [41].

Основным параметром ударного движения является *мгновенное* (частное) значение зависимости рассматриваемой величины $X(t_i)$ (рис. 8). Этот параметр может быть назван исходным, поскольку из сочетания ряда значений $X(t_i)$ для $i = 1, 2, \dots, n$ могут быть найдены любые другие параметры с точностью, зависящей от числа мгновенных значений.

Иногда применяют функционально обратный параметр — момент времени $t(X_i)$, когда величина в первый раз достигает заданного уровня $X(t_i)$, как показано на рис. 8, а.

Важное значение имеет параметр $X_{\text{п}}$, называемый *пиковым значением* удара. Этот параметр определяется как наибольшее значение исходной (несглаженной) зависимости (рис. 8, а, б), так как вопрос о допустимой степени сглаживания функции решается на основании анализа динамики процесса с учетом действительного значения $X_{\text{п}}$.

Импульсом некоторой функции $X(t)$ называют интегральный параметр

$$Y_X = \int_0^{\infty} X dt.$$

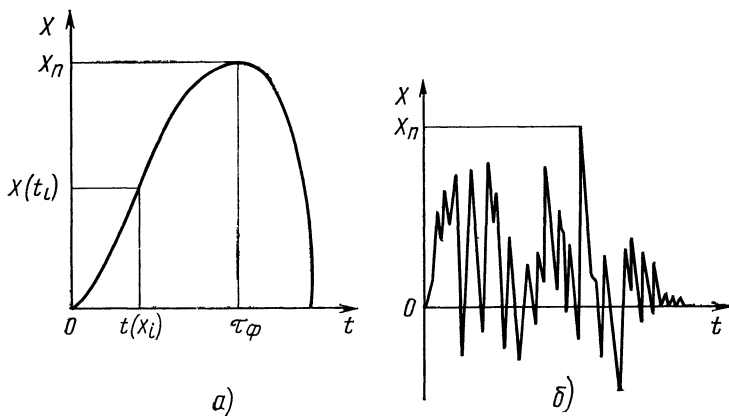


Рис. 8. Графики ударных процессов:

а — простой формы; б — импульсивной формы с наложенными колебаниями [41]

Для зависимостей с четко выраженным окончанием процесса в момент $t = \tau$

$$Y_X = \int_0^{\tau} X dt.$$

Наиболее часто встречается *импульс ударного ускорения*, равный приращению скорости рассматриваемой точки объекта:

$$Y_a = v_{\tau} - v_0 = \Delta v.$$

Для предварительной оценки переходной функции системы пользуются понятием выброса кривой, определяемого как отношение превышения $\Delta X = X_{\pi} - X_{\infty}$ над средним уровнем заднего фронта кривой к пиковому значению: $X_{\beta} = \frac{\Delta X}{X_{\pi}}$ (рис. 9). Используют также и понятие установившегося значения $X_{уст.}$

Длительность фронта τ_{ϕ} определяется как временная координата пикового значения X_{π} (см. рис. 7), что позволяет однозначно установить значение τ_{ϕ} , однако для сложных форм кривой эта информация оказывается недостаточной даже для приближенной оценки динамичности процесса.

Все перечисленные параметры относятся к безусловным.

Широко распространен в настоящее время условный параметр — длительность τ ударного ускорения (скорости и т. д.). Для импульсов сложной формы непосредственное определение длительности дает завышенные для практических целей значения. В импульсной технике принято определять длительность на условном уровне по исходной кривой, например на уровне $0,1 X_{\pi}$ (рис. 10, а). Выбор условного уровня зависит от точности задания импульса. Так, если на сигнал наложена помеха случайного характера, достигающая $0,1 X_{\pi}$, то выбор условного уровня ниже $0,1 X_{\pi}$ приведет к полной потере информации о длительности полезного сигнала. В то же время при излишне высоком условном уровне занижается значение τ у импульсов с пологим пьедесталом. Форма кривой ударного ускорения часто имеет пологие начальный и конечный участки, поэтому для точных измерений целесообразно выбирать более низкий условный уровень определения τ , например $X = 0,05 X_{\pi}$, а для технических измерений $X = (0,1 \div 0,15) X_{\pi}$.

Определение τ по сглаженной кривой (рис. 10, б) допустимо не во всех случаях. Столь же неопределенным оказывается значение τ , найденное по аппроксимирующей кривой простой формы (рис. 10, в) изложенным выше способом. Это делает нецелесообразным использование длительности процесса в качестве характеристики сложного удара. А. А. Харкевичем [48] предложен способ определения эквивалентной длительности $\tau_{\text{э}}$ по условной (математической) энергии:

$$\int_0^{\tau_{\text{э}}} f^2(t) dt = 0,9 \int_0^{\infty} f^2(t) dt.$$

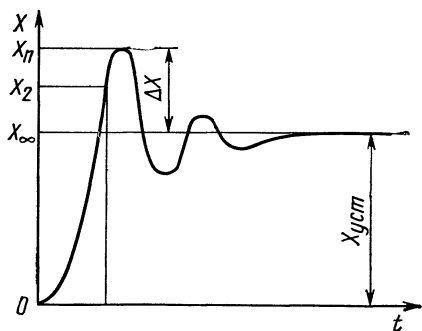


Рис. 9. К определению параметров ударного процесса

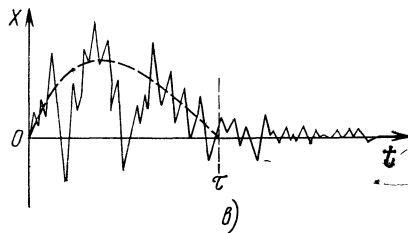
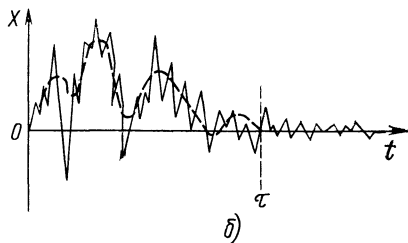
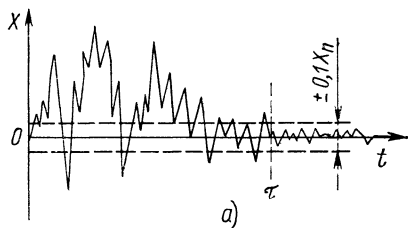


Рис. 10. Способы определения длительности ударного процесса:

a — длительность на условном уровне по исходной кривой (на уровне $0,1 X_{\eta}$), *б* — определение по сглаженной кривой, *в* — по аппроксимирующей кривой простой формы

Этот подход обеспечивает определенность параметра, однако значение τ_a не имеет прямой физической связи с интересующими величинами и зависит от выбора начала отсчета процесса.

Рассмотрим несколько параметров, заимствованных из импульсной техники. Крутизна зависимости (см. рис. 9) определяется как производная функция в данной точке X_i :

$$S_i = \frac{d}{dt}(X_i).$$

Средняя крутизна на участке представляет собой условный параметр

$$S = \frac{X(t_{i+1}) - X(t_i)}{t_{i+1} - t_i}.$$

Из энергетических параметров следует указать на поглощаемую энергию

$$W_a = k \int_0^{\infty} v^2 dt,$$

где k — коэффициент вязкого трения, пропорциональный скорости.

Для ударов с четко выраженным концом процесса

$$W_a = a \int_0^t v^2 dt.$$

Если исходной величиной является ускорение $X=a(t)$, то параметр пропорционален средней за время импульса мощности, выделяющейся в системе с коэффициентом вязкого трения k и массой M :

$$W_a = \frac{M^2}{k} a_{\text{п}}.$$

Этот параметр имеет в технике измерения параметров движения ограниченное применение.

Энергия импульса рассчитывается по формуле

$$W_{\text{и}} = \frac{M}{2} (\Delta v)^2,$$

где M — масса рассматриваемого тела.

Результаты анализа процесса ударного движения в большой степени зависят от формы кривой ударного воздействия. Однако это свойство зависимостей исследовано недостаточно и в практике почти не используется.

К известным параметрам формы кривой относится *среднее значение нормированной кривой*

$$X = X_{\text{п}} f(\theta); \quad X = \frac{1}{\tau} \int_0^1 f(\theta) d\theta,$$

где $f(\theta)$ — нормированная кривая; $\theta = t/\tau$.

К параметрам ударного движения относится группа параметров формы кривой [41]. Если обозначить

$$\xi_{\text{п}} = \int_0^{\tau} f^n(t) dt,$$

то коэффициентом формы первого рода n -го порядка K_n называют величину

$$K_n = \frac{\xi_{n+1}}{\xi_n},$$

а коэффициентом формы второго рода n -го порядка

$$\chi = \frac{K_{n+1}}{K_1^{n+1}} = \frac{\xi_{n+2} \xi_1^n}{\xi_2^{n+1}}.$$

Последние два параметра используются при нахождении пикового значения $X_{\text{п}}$ и длительности τ в области весьма быст-

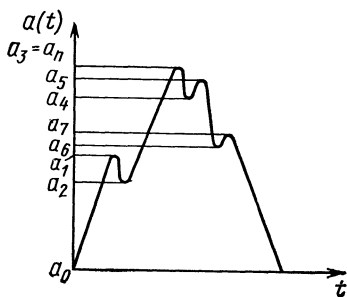


Рис. 11. Экстремальные точки кривой ускорения

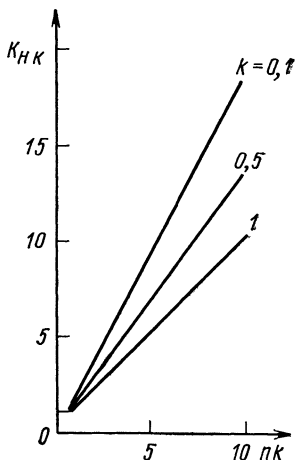


Рис. 12. Зависимость коэффициента наложенных колебаний от значения nk

ропротекающих процессов. Отметим основные свойства этих параметров:

величина K_n не зависит от выбора уровня, на котором определяется τ ; величина κ , кроме того, не зависит от выбора уровня, принимаемого за амплитудный;

между коэффициентами формы разного порядка безымпulsive удара существует соотношение

$$K_1 \geq K_2 \geq \dots \geq K_n, \quad \kappa_1 \leq \kappa_2 \leq \dots \leq \kappa_n;$$

значения параметров K_n и κ_n не зависят от соотношения длительностей переднего и заднего фронтов импульса.

Для характеристики формы кривой импульсов сложной формы рекомендуется использовать коэффициент наложенных колебаний $K_{н.к}$, представляющий собой сумму абсолютных значений проекций участков кривой ускорения между соседними экстремальными точками на ось ординат, отнесенную к удвоенному пиковому значению ускорения (рис. 11):

$$K_{н.к} = \frac{1}{2a_n} \sum_{i=0}^{n-1} (a_{i+1} - a_i),$$

где n — число точек экстремума; a_n — пиковое ускорение, м/с².

Значение коэффициента $K_{н.к}$ равно единице для однополярных импульсов простой формы, а также при значениях $nk \leq 0,5$, где k — относительная амплитуда. При больших значениях произведения nk коэффициент $K_{н.к}$ прямо пропорционален этому произведению и может быть выражен приближенным соотношением

$$K_{н.к} \approx \frac{2nk}{k+1},$$

где n — число наложенных колебаний.

Зависимость $K_{н.к} = f(nk)$ несколько видоизменяется при разных формах кривой основного процесса и наложенных колебаний. На рис. 12 в качестве примера приведена зависимость $K_{н.к} = f(nk)$ для треугольной формы кривой, причем $n = 2m + 0,5$, где m — целое.

Исследования свойств коэффициента $K_{н.к}$ [41, 48] показали целесообразность его использования для оценки мер разрушения ударными процессами, нормирования формы процессов и т. д.

Для нахождения соотношений взаимосвязи между параметрами, характеризующими движение, функциональные зависимости ускорения, скорости и перемещения выражают в нормированной форме. Нормирование по уровню некоторой функции $X = F(t)$ сводится к замене ее произведением постоянного множителя, равного пиковому значению $X_{п}$, на нормированную функцию $f_{н}(t)$, пиковое значение которой на рассматриваемом интервале равно единице:

$$X = X_{п} f_{н}(t).$$

Функция $f(t)$ характеризует только форму кривой и длительность процесса.

Связь между ускорением, скоростью и перемещением представлена на рис. 13. Для быстрой оценки пикового значения одного из этих параметров по пиковому значению и длительности другого удобно пользоваться номограммами. На рис. 14 приведена номограмма для полусинусоидальной формы кривой ускорения (начальные условия по скорости и перемещению предполагаются нулевыми).

Рассмотрим пример пользования номограммой. Пусть следует определить, какие сочетания пикового ускорения и длительности полусинусоидального ударного ускорения могут быть получены при соударении через линейный упругий элемент двух тел, движущихся со скоростью 20 м/с (коэффициент восстановления скорости $K_{в} = 0,5$). При этом деформация упругого элемента не должна превышать 5 мм, а длительность должна быть не менее 100 мкс.

Геометрическим местом искомых точек на номограмме является отрезок прямой, соответствующий значению $v_{п} = 30$ м/с и ограниченный справа пересечением с линией $s_{п} = 5 \cdot 10^{-3}$ м, а слева — пересечением с вертикалью $\tau = 10^{-4}$ с.

Указанным условиям соответствуют точки

$$\begin{aligned} a_{п} &= 4,5 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2; \\ s_{п} &= 1,5 \text{ мм}; \\ \tau &= 100 \text{ мкс}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{п} &= 1,48 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2; \\ s_{п} &= 5 \text{ мм}; \\ \tau &= 380 \text{ мкс} \end{aligned}$$

и ряд промежуточных точек.

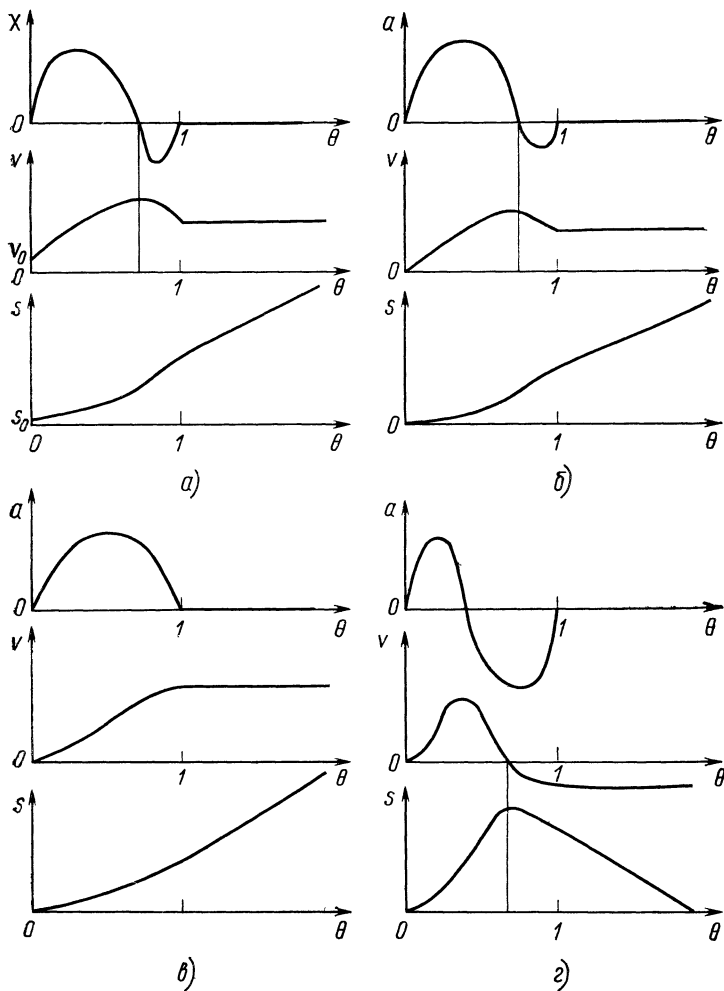


Рис. 13. Связь между ускорением, скоростью и перемещением:

a — при ненулевых начальных значениях скорости и перемещения; b — при нулевых начальных значениях; θ — то же, при однополярном импульсе ускорения; z — то же, при биполярном импульсе ускорения [41]

Более универсальной является номограмма, представленная на рис. 15, a . При помощи этой номограммы могут быть решены следующие задачи.

Определение пикового ускорения $a_{п}$ по заданным $v_{п}$, τ и λ_{a} . От точки на оси $v_{п}$, соответствующей заданному значению, проводят горизонталь до пересечения с линией заданного зна-

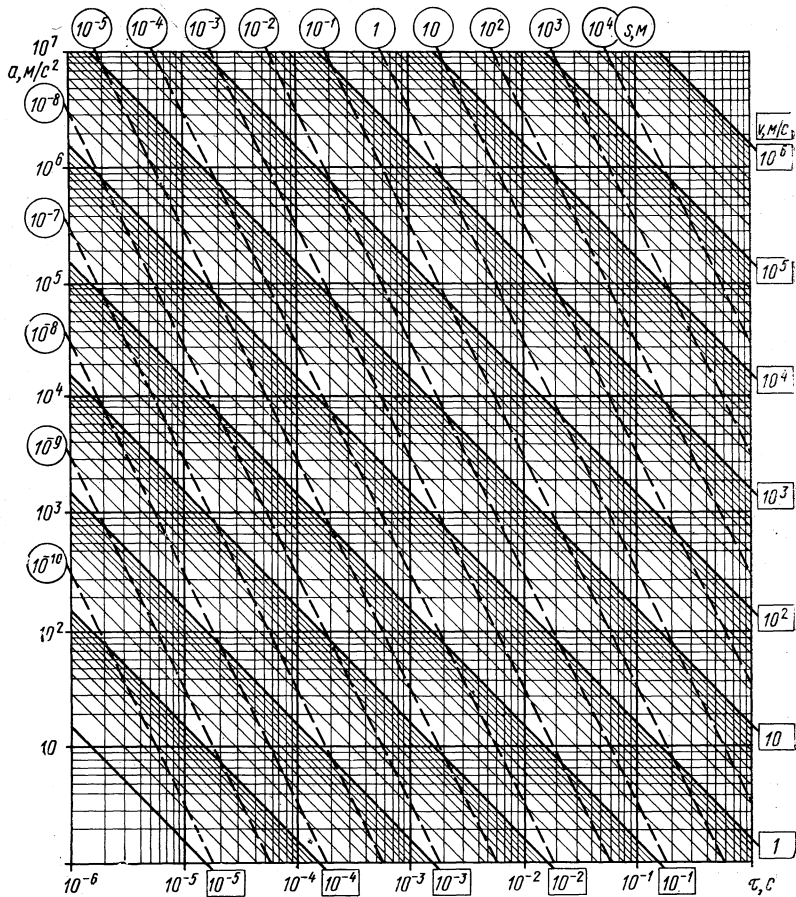


Рис. 14. Номограмма для определения пиковых перемещений и скорости при полусинусоидальном ускорении (значения, данные в кружочках, относятся к перемещению, в прямоугольнике — к скорости)

чения κ_a и восстанавливают вертикаль до пересечения с горизонталью, проведенной от заданной точки на оси τ (рис. 16, а).

Определение длительности τ по заданным $v_{п}$, $s_{п}$ и κ_v . От точки на оси $s_{п}$ проводят горизонталь до пересечения с линией заданного значения κ и восстанавливают вертикаль до пересечения с горизонталью, проведенной от заданной точки на оси $v_{п}$ (рис. 16, б).

Определение длительности τ по заданным $a_{п}$, $v_{п}$ и κ_a . От точки оси $v_{п}$ проводят горизонталь до пересечения с линией заданного значения κ_a и далее восстанавливают вертикаль до

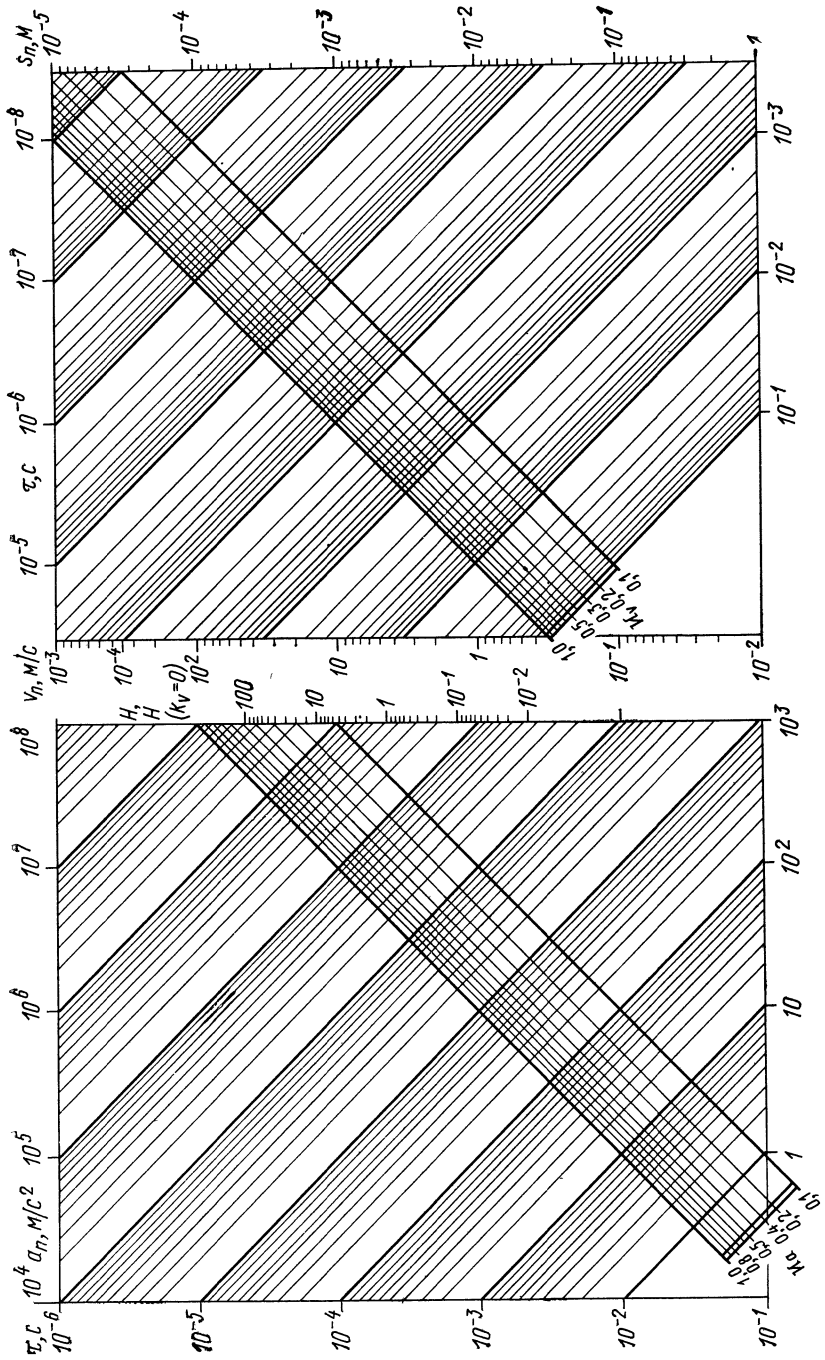


Рис. 15. Номограмма для определения параметров ударных процессов

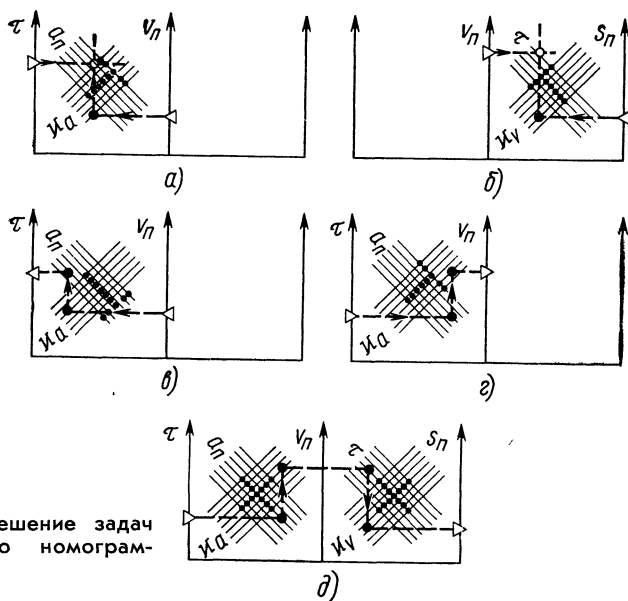


Рис. 16. Решение задач с помощью номограммы

пересечения с линией заданного значения $a_{п}$, откуда проводят горизонталь до вертикальной оси τ (рис. 16, в).

Определение пиковой скорости $v_{п}$ по заданным $a_{п}$, $v_{п}$ и $\kappa_{а}$. От точки вертикальной оси τ проводят горизонталь до пересечения с линией заданного значения $a_{п}$ и восстанавливают вертикаль до пересечения с линией заданного значения $\kappa_{а}$; далее проводят горизонталь до пересечения с осью $v_{п}$ (рис. 16, в).

Определение пикового перемещения $s_{п}$ по заданным $a_{п}$, τ и $\kappa_{в}$. От точки вертикальной оси τ проводят горизонталь до пересечения с линией значения $a_{п}$, восстанавливают вертикаль до пересечения с линией заданного значения $\kappa_{а}$; затем проводят горизонталь до пересечения с линией заданного значения τ (наклонная сетка); восстанавливают вертикаль до пересечения с линией заданного значения $\kappa_{в}$, откуда ведут горизонталь до пересечения с осью $s_{п}$ (рис. 16, г).

10. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В КУЗОВАХ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

В работе технических устройств нередко возникают колебания, не имеющие явной повторяемости. Так, например, вибрации автомобилей и железнодорожных вагонов определяются неровностями дороги или рельсов. Эти неровности вызывают ударные возмущения неопределенной амплитуды. Подобные колебания носят название случайных [40].

Случайная вибрация возникает не только в грузовых автомобилях, но и в других видах автотранспорта, на морских катерах и в самолетах (особенно при посадке).

Большая часть автотранспортных перевозок совершается по дорогам, не имеющим достаточно ровного покрытия. Поэтому весьма важно знать значение, а также амплитудный и частотный состав ускорения, действующего на перевозимые грузы при движении по реальным дорогам. Использование автомобилей (грузовых) общего применения для перевозки грузов и установок, обладающих частотно-зависимыми свойствами, выдвигает специфические требования к расчету как самих установок, так и амортизирующих транспортных упаковок.

Для правильного расчета и экспериментального определения реакций перевозимых грузов и установок необходимо знать вибрационные режимы в кузовах автомобилей.

В настоящее время разработан и успешно применяется комплекс аппаратуры, позволяющий достаточно точно регистрировать измеряемые величины и вести статистическую обработку больших объемов информации. Это дает возможность проводить исследование вибрационных режимов грузовых автомобилей по широкой программе с получением статистически достоверных характеристик ускорений.

Исследование частотного состава воздействий проводилось с использованием статистических методов спектрального анализа. Первичный анализ в полосах частот 0—100 и 0—15 Гц показал, что наиболее интенсивны изменения ускорения в полосе частот до 15 Гц, поэтому большая часть спектрограмм получена в этом диапазоне [40].

Условия движения автомобиля (скорость, нагрузка, тип и ровность дорожного покрытия) оказывают существенное влияние как на форму, так и на амплитуду составляющих спектра ускорений. При этом можно выделить две характерные ситуации: движение нагруженного автомобиля по дороге среднего качества, когда влиянием нелинейностей воздействий можно пренебречь, и движение ненагруженного автомобиля по достаточно ровному покрытию. В первом случае, как показали опыты, спектр не меняется по форме с изменением скорости или типа дорожного покрытия. Изменяются только амплитуды составляющих спектра. Во втором случае значительно возрастает роль сухого трения в подвеске. На дороге с малыми высотами неровностей (асфальт, равнинный грунт) спектр вертикальных воздействий имеет всего один максимум на частоте, близкой к частоте колебаний автомобиля на шинах при заблокированной подвеске. С увеличением скорости происходит разделение спектра на две зоны, причем чем меньше трение в подвеске, тем при меньших скоростях происходит это разделение (рис. 17).

При размещении в кузове грузового автомобиля различных установок, характеризующихся частотно-зависимой реакцией.

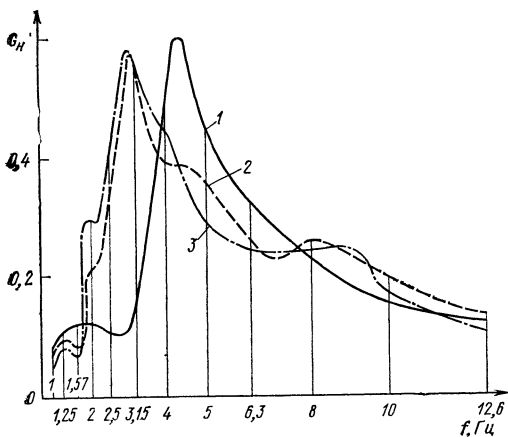


Рис. 17. Спектры ускорений в центре платформы при слабом возбуждении:

1 — $v=40$ км/ч; 2 — $v=60$ км/ч; 3 — $v=80$ км/ч; G_H — нормированная спектральная плотность ускорений

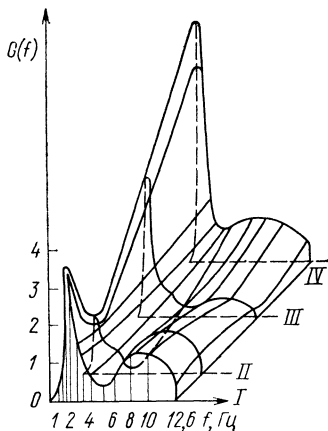


Рис. 18. Изменение спектра вертикальных ускорений по длине автомобиля:

I — пол кабины; II — пол платформы у переднего борта; III — пол платформы в центре; IV — пол платформы у заднего борта

на ускорения, необходимо выбрать оптимальное расположение установки на грузовой платформе. Для облегчения решения этой задачи можно воспользоваться зависимостью спектра ускорений от точки замера по длине автомобиля, приведенной на рис. 18. В данном случае наименьшие низкочастотные ускорения (1,5—2 Гц) действуют у переднего борта платформы, а минимум среднечастотных ускорений наблюдается примерно в центре.

По частотному составу горизонтальные воздействия отличаются от вертикальных в основном наличием дополнительного подъема в спектре на средних частотах. Например, на рис. 19, 20 представлены характерные спектры горизонтальных воздействий у заднего борта платформы нагруженного автомобиля. Как видно, и поперечные и продольные воздействия имеют весьма похожие спектры в области частот 5—15 Гц, причем максимумы в этой зоне располагаются на частотах 6 и 12 Гц. Что касается частот выше 15 Гц, то здесь спектры горизонтальных воздействий не имеют резких подъемов и ускорения сравнительно невелики: среднее квадратическое значение горизонтальных воздействий на частотах 15—100 Гц составляет 0,08—12 σ .

Методика регистрации исследований воздействий и анализа ускорений автомобиля и железнодорожного транспорта обеспечивает получение практически всех характеристик ускорений

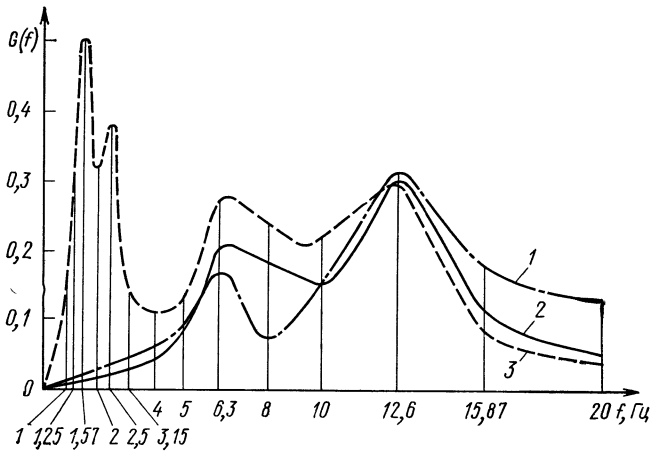


Рис. 19. Спектр горизонтальных ускорений на полу платформы у заднего борта автомобиля (скорость движения 30 км/ч):
 1 — поперечных при движении по разбитому булыжнику; 2 — продольных при движении по гладкому булыжнику; 3 — то же, по разбитому булыжнику

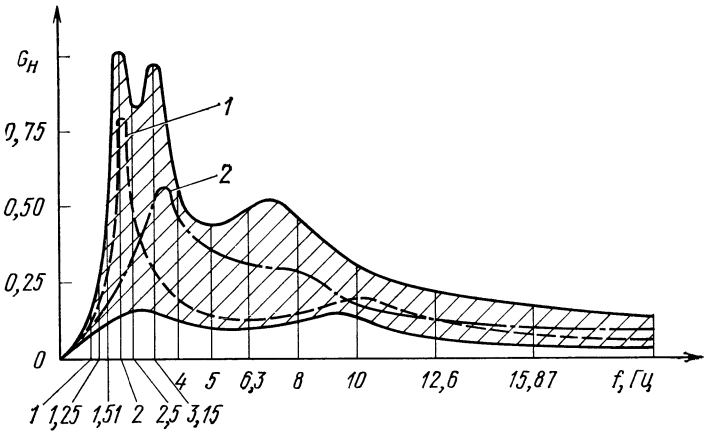


Рис. 20. Спектральная зона действующих вертикальных ускорений центра грузовой платформы:
 1 — осредненный спектр ускорений нагруженного автомобиля; 2 — то же, для ненагруженного автомобиля

как стационарного случайного процесса при относительно небольших затратах времени и достаточной статистической достоверности полученных результатов.

В результате экспериментальных погрузок и перевозок средств измерений установлено, что абсолютное большинство отказов приборов происходит в виде увеличения погрешности выше допустимой, которое вызвано прежде всего деформацией

деталей и узлов приборов в результате механических воздействий (ударов) при транспортных операциях, а также различными дефектами производственного характера, которые выявляются после ударных воздействий при транспортировании. Из всех приборов, транспортировавшихся по железной дороге в разные города, процент отказавших приборов составил 3,25% от всех приборов, в то время как при транспортировании самолетом составил 2,4, а автомобильным транспортом 2,84%.

Сохранность приборов при транспортировании во многом зависит от способности приборов противостоять разрушающему действию одиночных ударов с большими ускорениями и выполнять свои функции после ударных воздействий.

Анализ амплитудных и частотных соотношений ускорений в зависимости от условий движения, погрузки и перевозок аппаратов позволяет сделать следующие выводы.

1. Ускорения автомобиля в обычных случаях движения распределены по закону, весьма близкому к нормальному, поэтому при оценке плавности хода, уровня ускорений и их воздействия на перевозимые грузы достаточно использовать лишь одну амплитудную характеристику — среднее квадратическое значение.

2. Наиболее интенсивны ускорения автомобиля в диапазоне частот 1—15 Гц; при движении ненагруженного автомобиля по разбитому булыжнику среднее квадратическое значение верти-

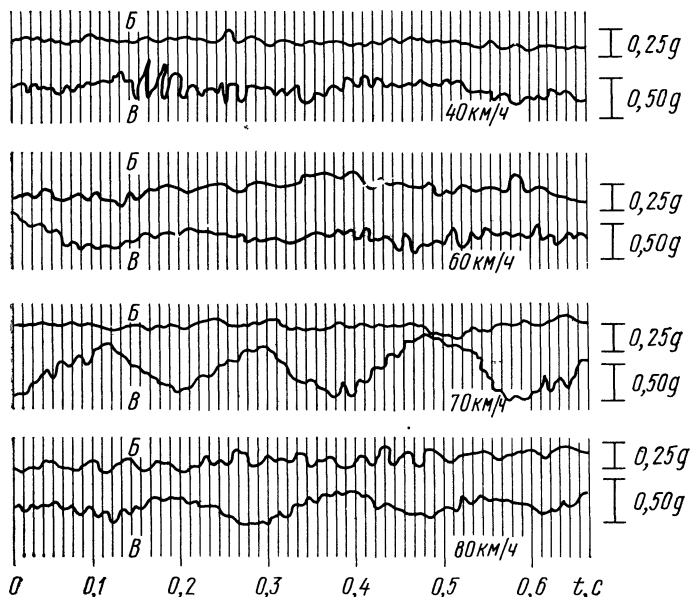


Рис. 21. Характерные боковые (Б) и вертикальные (В) вибрации грузовых автомобилей, работающих с различными скоростями

кальных ускорений в этом диапазоне может достигать 0,5—1,1 номинального ускорения (в центре грузовой платформы).

3. Уровень высокочастотных вертикальных ускорений (диапазон 15—100 Гц) сравнительно невелик — среднее квадратическое значение ускорений для этого диапазона составляет обычно 0,2—0,3 номинального ускорения.

4. Горизонтальные ускорения на полу платформы составляют в среднем 30—50% вертикальных.

5. Спектры вертикальных ускорений имеют, как правило, наибольшие значения на частотах 1,5—3,5 и 7—11 Гц; соотношение ординат спектров в этих диапазонах колеблется от 1:1 до 8:1.

6. При слабом возбуждении (движение с малыми скоростями по относительно ровным дорогам) наблюдается увеличение ускорений в диапазоне частот 3—6 Гц; это, по-видимому, объясняется большим относительным трением в подвесках с листовыми рессорами.

7. Уровни вибраций, возникающие в объектах при их транспортировке по железной дороге, малы по сравнению с уровнями вибраций на грузовых автомобилях. Значительные уровни вибраций возбуждаются сравнительно редко на железнодорожных стрелках и пересечениях путей.

На рис. 21 иллюстрируются характер и уровни вибраций грузовых автомобилей в зависимости от их скорости.

Наиболее характерные параметры вибраций приводятся в работах [1, 14, 16].

Таблица 4

Амплитуда и частота горизонтального и вертикального колебаний для различных видов транспорта

Виды транспорта	Горизонтальное колебание		Вертикальное колебание	
	Амплитуда, мм	Частота, 1/мин	Амплитуда, мм	Частота, 1/мин
Железнодорожный	20	90	30	250
Автомобильный	15	200	—	—
Воздушный	0,2	600	0,3	3000
Морской	1,5	4—8	1,5	4—8

Амплитуда и частота горизонтального и вертикального колебаний для различных видов транспорта приведены в табл. 4.

Виброзащитные свойства упаковки при транспортировании автомобилями по дорогам с асфальтовым, цементобетонным или булыжным покрытием см. в гл. VII.

ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ АППАРАТОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ И ПОРЯДОК ИХ ПРОВЕДЕНИЯ

Различают следующие виды механических испытаний аппаратуры: стендовые (или лабораторные), полунатурные и натурные испытания в эксплуатационных условиях.

Стендовые испытания проводят на вибрационных, акустических и ударных стендах, которые приблизительно воспроизводят реальные динамические нагрузки, действующие на аппаратуру при транспортировании и эксплуатации. Такие испытания предусматривают проверку качества изготовления, работоспособности и долговечности аппаратуры.

Нормы стендовых испытаний должны соответствовать значениям параметров динамических нагрузок, полученным при натурных испытаниях аппаратуры. Если таких данных нет, то при стендовых испытаниях принимают ориентировочные, несколько завышенные нормы, которые определяют по прототипам в условиях эксплуатации аппаратуры, аналогичной разрабатываемой.

Общая длительность стендовых испытаний должна быть ограниченной, если не ставится задача определения предела долговечности аппаратуры.

Порядок проведения стендовых испытаний следующий [25]:
определение резонансов в заданном диапазоне частот и испытание на вибропрочность на одной частоте (так называемые контрольные испытания);

испытание на вибропрочность в диапазоне частот;

испытание на виброустойчивость;

виброиспытания при конструктивной доработке аппаратуры;

испытание на устойчивость к ударным и виброударным нагрузкам;

испытание на прочность при транспортировании.

Механические испытания, проводимые на различных этапах разработки и освоения в производстве, приведены в табл. 5.

На рис. 22 приводится классификация механических испытаний аппаратов и средств измерений.

Испытание на обнаружение резонансных частот проводят согласно ГОСТ 8711—78, 12997—76, 16962—71, 21236—75, 21322—75Е, 22261—76 для определения соответствия изделия требованиям ГОСТ, ТУ.

Испытание на обнаружение резонансных частот допускается совмещать с испытанием на виброустойчивость.

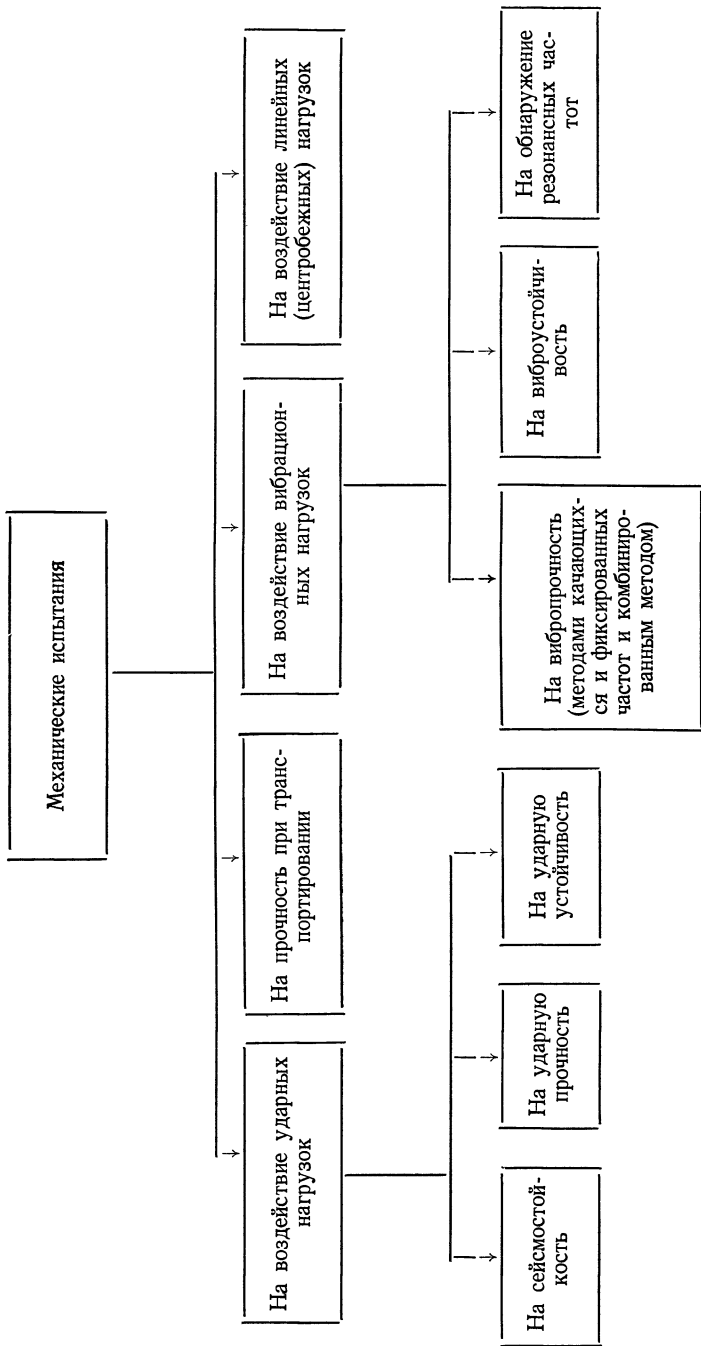


Рис. 22. Классификация механических испытаний

Механические испытания на различных этапах разработки или освоения в производстве

Механические испытания	Опытные образцы (партия), образцы из установочной серии, изделия серийного производства в случае изменения конструкции, технологии или материалов	Изделия серийного производства, проверяемые периодически
На обнаружение резонансных частот	×	—
На виброустойчивость	×	×
На вибропрочность:		
длительные	×	н'
кратковременные	—	н'
На ударную прочность	×	н
На ударную устойчивость	×	н
На воздействие одиночных ударов	×	н
На воздействие линейных (центробежных) нагрузок	×	—
На прочность при транспортировании	—	×

Обозначения: × — испытание проводят; — — испытание не проводят; н — испытание проводят, если это указано в стандартах и ПИ, н' — испытание проводят, если это указано в стандартах, при этом по крайней мере одно из испытаний (длительное, ускоренное или кратковременное) обязательно должно проводиться.

Основными способами проверки вибрационной прочности конструктивных элементов являются: синусоидальная нагрузка постоянной частоты (ПСЧ), синусоидальная нагрузка скользящей переменной частоты (ССПЧ) и ударная нагрузка. Испытание типа ПСЧ обладает тем недостатком, что из-за возможного разброса механических частотных характеристик элементов значительно варьируется нагрузка на элементы в области, близкой к резонансным частотам, что может существенно повлиять на результаты испытаний. Этого недостатка лишены испытания типа СПЧ и ударные испытания. Последний метод испытаний при полусинусоидальной форме ударной нагрузки обеспечивает почти равномерное возбуждение колебательных контуров с резонансной частотой в пределах одной октавы. При необходимости возбуждение в более широкой полосе частот может быть реализовано путем комбинации последовательностей ударов различной периодичности.

При испытании конструктивных элементов на воздействие вибрации с рядом фиксированных частот или с предварительным определением резонансных частот заданный уровень ускорения должен быть таким же, как и для указанных ниже методов испытаний.

Испытания на вибрационную и ударную устойчивость не проводят, если изделия имеют монолитную структуру и параметры в процессе воздействия механических нагрузок не изменяются (например, конденсаторы постоянной емкости, резисторы, провода и кабели со сплошной изоляцией, кроме радиочастотных и антивибрационных).

Испытание на воздействии линейных (центробежных) нагрузок по I степени жесткости (см. приложение 2) для изделий, не имеющих в своей конструкции подвижных деталей, не является обязательным. Необходимость испытания в этом случае должна оговариваться в стандартах и планах испытаний.

Испытание на вибропрочность (длительное) и испытание на ударную прочность (табл. 5) на стадии серийного производства не проводят, если в состав испытаний на надежность (в том числе на долговечность, безотказность, гарантийную наработку), проводимых периодически, входят испытания на вибрацию и ударные воздействия, проводимые такими же методами.

Испытание на виброустойчивость допускается совмещать с испытанием на вибропрочность, проводя его в начале и в конце испытания на вибропрочность. При этом скорость изменения частоты вибрации должна быть достаточной для проверки и регистрации параметров изделия, контролируемых в процессе испытания на виброустойчивость.

Испытание на вибропрочность (кратковременное) (см. табл. 5) проводят по согласованию с заказчиком только для контроля стабильности производства и выявления грубых технологических дефектов.

Испытание на ударную устойчивость рекомендуется совмещать с испытанием на ударную прочность.

Рассмотрим содержание каждого из перечисленных видов испытаний.

2. ИСПЫТАНИЕ НА ОБНАРУЖЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ

Испытания на обнаружение резонансных частот проводят:

для определения соответствия требований ГОСТ 16962—71, согласно которым изделия без амортизаторов и их отдельные узлы и детали с различной степенью жесткости (I, II, III) не должны иметь резонансных частот соответственно в следующих диапазонах: до 25, до 40, до 100 Гц;

для определения возможности проведения ускоренных испытаний на вибропрочность и выбора метода этих испытаний;

для получения сведений о резонансных частотах при необходимости включения этих сведений в документы по применению или в справочники.

Испытаний с целью определения соответствия изделий требованиям частичных (ЧТУ), общих технических условий (ОТУ)

и руководящих технических материалов (РТМ) не проводят, если соответствие изделий этим требованиям гарантируется конструкцией.

Испытанию на обнаружение резонанса отдельных деталей, элементов и сборочных единиц изделие подвергается в трех взаимно перпендикулярных направлениях в требуемом частотном диапазоне и при двукратной перегрузке.

Испытания на обнаружение резонансных частот проводятся с целью проверки способности изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах значений, указанных в стандартах и ПИ, в требуемом диапазоне частот с соответствующими перегрузками.

При определении резонансных частот аппаратура в выключенном состоянии подвергается воздействию гармонической вибрации при пониженных ускорениях, как правило, не превышающих $2 g$, в диапазоне частот 10...150 Гц. Резонансные частоты регистрируются и составляется их спектр. После нахождения спектра резонансных частот назначается одна нерезонансная частота, на которой проводятся контрольные испытания блока на соответствующее значение ускорения и длительности испытания. Испытания на этой частоте предусматривают выявление производственных дефектов изготовления блока, поэтому его не следует испытывать на резонансной частоте.

Резонансными частотами изделия считаются частоты, при которых амплитудное значение виброперемещения или виброускорения каких-либо точек изделия превышает в 2 или более раз амплитудное значение виброперемещения или виброускорения точек крепления изделия к столу вибратора.

Поиск резонансных частот проводят путем плавного изменения частоты при поддержании постоянного ускорения или амплитуды. Скорость изменения частоты при этом должна быть такой, чтобы обеспечить возможность обнаружения и регистрации резонансов, но не более чем октава в минуту (октавой считается диапазон частот, у которого отношение высшей частоты к низшей равно двум).

Продолжительности испытаний приведены в табл. 6.

Изделия с невыявленными резонансными частотами подвергаются испытаниям с плавно изменяющейся частотой вибрации или испытаниям с выдержкой на отдельных фиксированных частотах при использовании вибраторов с механическим приводом.

Метод фиксации резонансных частот следует выбирать индивидуально для каждого вида изделий.

Резонансные частоты могут быть обнаружены по изменению контролируемых технических характеристик, по шумовым эффектам внутри изделия, визуально, при помощи различного рода измерительных средств (например, микроскопов, стробос-

Таблица 6

Продолжительность механических испытаний

Испытания	Длительные испытания	Кратковременные испытания	Дополнительные условия
<i>Продолжительность, ч</i>			
На обнаружение резонансных частот	Согласно ТУ		До обнаружения резонансных частот изделий или их отдельных деталей
На виброустойчивость	10—15	5—10	По плану испытаний (ПИ)
На вибропрочность: методом качающихся частот методом фиксированных частот	0,5—180 1,0—4,0	0,5—0,9 0,1—1,0	В зависимости от группы, степени жесткости и группы исполнения (ГОСТ 8711—78, ГОСТ 11478—75, ГОСТ 12997—76, ГОСТ 16962—71, ГОСТ 21322—75Е, ГОСТ 22261—76)
Комбинированным методом	Определяется числом колебаний (по величине, кратной $1 \cdot 10^7$, $2 \cdot 10^7$ или $3 \cdot 10^7$)		В зависимости от степени жесткости по ГОСТ 16962—71
<i>Продолжительность, мс</i>			
На ударную прочность	10—40	1—15	В зависимости от числа ударов или от ускорения
Воздействием серии ударов при ускорении, m/c^2 : 10 25 40 75 150	6—20 4—15 2—10 2—6 1—3		Число ударов в каждом направлении 1000 ± 10 или 4000 ± 10 согласно публикации Международной электротехнической комиссии (МЭК)
Воздействием одиночных ударных импульсов при ускорении, m/c^2 : 30 100 500 3000	10,0 6,0 1,0 0,2		Согласно публикации МЭК

Испытания	Длительные испытания	Кратковременные испытания	Дополнительные условия
На воздействие одиночных ударов	1—60	0,2—1,0	В зависимости от ускорения
На воздействие линейных нагрузок	Не менее 3 мин в каждом положении		Согласно ТУ или ПИ
На прочность при транспортировании	Согласно ТУ или ГОСТ		С упаковкой или без упаковки

копов, устройств рентгенотелевидения, вибродатчиков) или по изменению выходных параметров изделий.

Изделие считают выдержавшим испытание, если после испытания оно сохраняет технические характеристики в пределах установленных для него норм, не имеет механических повреждений и если у него отсутствуют резонансные частоты в диапазоне частот, указанных в стандартах и ПИ.

3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ

Для определения резонансных частот изделий рекомендуется использовать вибрационные электродинамические стенды (ВЭДС) (характеристики стендов см. в приложении 4).

Рассмотрим некоторые методы обнаружения резонансных частот малогабаритных изделий и их элементов (ГОСТ 16962—71).

Пьезоэлектрический метод. Определение резонансных частот изделий и их элементов по этому методу производят по сигналу с малого пьезодатчика, прикрепляемого к испытываемому образцу гермозамаской. Этот метод обеспечивает достаточную точность в случае, если размеры и масса испытываемого изделия не менее чем в 10 раз превышают размеры и массу малого пьезодатчика. Во избежание больших наводок вывод от поверхности соприкосновения малого пьезодатчика с металлической поверхностью образца должен быть соединен с экраном. Частоты собственных колебаний таких пьезодатчиков более 100 кГц; чувствительность 0,05—1 мВ/г (определяется при калибровке методом вторичного эталона). Схема определения резонансных частот пьезоэлектрическим методом представлена на рис. 23.

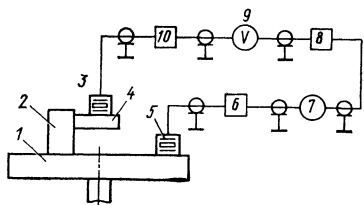


Рис. 23. Схема определения резонансных частот пьезоэлектрическим методом

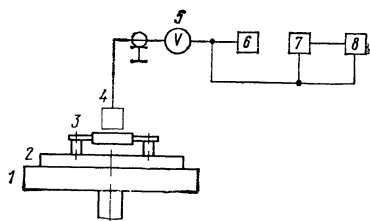


Рис. 24. Схема определения резонансных частот электретным методом

Для согласования высокоомного выхода пьезопреобразователей 3, 5 с низкоомным входным сопротивлением электронных вольтметров 7, 9 необходимо применять усилители или катодные повторители 6, 10, имеющие входное сопротивление $R_{вх} \geq 300 \text{ МОм}$. При плавном изменении частоты колебаний вибростенда 1 и при поддержании постоянной ускорения крепежной платы 2 на резонансной частоте образца 4 будет наблюдаться увеличение напряжения на малом пьезопреобразователе 3. На экране осциллографа 8 этому будет соответствовать поворот эллипса на 90° .

Электретный метод. При этом методе резонансные частоты изделий определяют при помощи электретных преобразователей. Материалом для поляризованного диэлектрика служит керамика Т-150 или полиэтилентерефталатная пленка (лавсан). В результате поляризации на поверхности электрета образуется электрический заряд большой поверхностной плотности, который может сохраняться в течение продолжительного интервала времени.

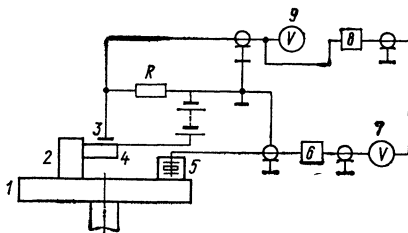
Для определения резонансных частот электрет должен быть расположен на расстоянии 1—3 мм от испытуемого образца. При этом между электретом и образцом действует электростатическое поле, напряженность которого изменяется с изменением расстояния между ними. Таким образом, при вибрации промежуток между образцом и электретом становится генератором переменного электрического напряжения, частота которого равна частоте вибрации f , а величина пропорциональна виброскорости $v = a\omega$ (a — амплитуда колебаний образца). Схема определения резонансной частоты образца этим методом представлена на рис. 24.

Испытываемый образец крепят на крепежной плате 2 к столу 1 электродинамического вибростенда, частоту которого плавно изменяют от 100 до 5000 Гц. При резонансе образца 3 увеличивается амплитуда его колебаний, что вызывает увеличение напряжения на электретном преобразователе 4. Это фиксируется по милливольтметру 5 и осциллографу 7 и записыва-

Рис. 25. Схема определения резонансных частот емкостным методом

ется на самописце 6. Резонансную частоту измеряют частотомером 8 при максимальном напряжении на электрете.

Так как электретный метод является бесконтактным, он пригоден для определения резонансных частот деталей любых размеров.



Емкостный метод. Определение резонансных частот этим методом основано на увеличении сигнала емкостного преобразователя при резонансе, которое происходит в результате изменения емкости между неподвижным электродом и вибрирующим испытуемым образцом. Схема определения резонансных частот емкостным методом представлена на рис. 25. Исследуемый образец 4 крепят на плате 2 к столу 1 вибростенда. Над образцом на расстоянии 1—3 мм располагают искусственный электрод 3. К промежутку образец — искусственный электрод прикладывают постоянное напряжение $U=400\div 500$ В.

Во время вибрации вследствие периодического изменения расстояния между образцом и электродом меняется емкость образованного ими конденсатора, и в цепи через резистор R потечет переменный ток I , который будет пропорционален скорости вибрации. Таким образом, напряжение на резисторе R будет пропорционально виброскорости $v = a\omega$.

Сигнал с резистора R поступает на электронный вольтметр 9 и вертикальные пластины осциллографа 8. На горизонтальные пластины осциллографа приходит сигнал от задающего генератора 6. Моменту резонанса испытуемого образца будет соответствовать увеличение напряжения на ламповом вольтметре 9 и поворот эллипса на 90° на экране осциллографа. В схеме предусмотрены также контрольный пьезопреобразователь 5 и ламповый вольтметр 7.

4. ИСПЫТАНИЕ НА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ

Способность аппаратуры или средства измерения сохранять работоспособность в условиях воздействия вибрации называется *виброустойчивостью*.

Виброустойчивость определяет степень чувствительности аппаратуры к динамическим нагрузкам. Она характеризуется амплитудой ускорений и частотой вибрации, при которых не нарушается нормальное функционирование аппаратуры.

Испытание на виброустойчивость проводится с целью проверки способности изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах заданных допусков в условиях

вибрации, действующей в трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к изделию и изменяющейся в требуемом диапазоне частот с соответствующими перегрузками. Для проведения испытания на виброустойчивость весь частотный диапазон разбивают на ряд поддиапазонов (октавы), каждый из которых проходит от нижней частоты до верхней за время не менее 2 мин. Необходимо, чтобы скорость изменения частоты была достаточной для проверки и регистрации необходимых параметров. Она должна быть не более чем две октавы в минуту. При этом осуществляется общий контроль работы и проверка требуемых параметров аппаратов.

В диапазоне частот от 10 Гц до верхней частоты заданного диапазона поддерживают постоянное ускорение.

Диапазон частот, амплитуда, частота перехода и ускорение по степеням жесткости приведены в табл. 7 (ГОСТ 16962—71).

Таблица 7

Значение параметров испытаний на виброустойчивость

Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Амплитуда, мм	Частота перехода, Гц	Ускорение, g	Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Амплитуда, мм	Частота перехода, Гц	Ускорение, g
I	10—35	—	—	1	XI	10—2000	1,5	30	5
II	10—60	—	—	1	XII	10—2000	1,5	40	10
III	10—60	1,5	20	2	XIII	10—2000	1,5	50	15
IV	10—80	1,5	30	5	XIV	10—2000	2	50	20
V	10—100	—	—	1	XV	10—3000	2	50	20
VI	10—200	1,5	30	5	XVI	10—5000	1,5	40	10
VII	10—200	1,5	40	10	XVII	10—5000	2	50	20
VIII	10—600	1,5	30	5	XVIII	10—5000	2—3	60—50	30
IX	10—600	1,5	40	10	XIX	10—5000	2—4	70—50	40
X	10—1000	1,5	40	10	XX	100—5000	—	—	40

Поддиапазоны частот и амплитуды колебаний платформы вибрационного стенда при испытании на виброустойчивость бытовой радиоэлектронной аппаратуры указаны в табл. 8 (ГОСТ 11478—75).

Испытание на виброустойчивость средств измерений щитовых электроизмерительных приборов и преобразователей проводится по ГОСТ 22261—76.

При обнаружении на отдельных частотах нестабильности какого-либо параметра изделие выдерживается на этой частоте в течение 30 мин.

Изделие считают выдержавшим испытание, если во время

Параметры испытательных режимов бытовой радиоэлектронной аппаратуры при испытании на виброустойчивость

Параметры испытаний	Нормы по группам аппаратуры			
	I	II	III	IV
Амплитуда, мм (половина полного размаха)	—	0,20—1,25 (0,20; 0,30; 0,50; 0,82; 1,25)	—	0,20—1,25 (0,20; 0,30; 0,50; 0,82; 1,25)
Частота, Гц (поддиапазон частот)	—	10—60 (10—20; 20—30; 30—40; 40—50; 50—60)	—	10—60 (10—20; 20—30; 30—40; 40—50; 50—60)
Продолжительность, ч	—	2	—	2

испытания оно нормально функционирует, погрешность не превышает значения основной допустимой погрешности и контролируемые технические характеристики (согласно ТУ, стандарта и ПИ) находятся в пределах установленных для них норм.

По устойчивости к механическим воздействиям изделия ГСП подразделяют на обыкновенные и виброустойчивые.

Испытание изделий ГСП *обыкновенного исполнения* проводят во включенном состоянии следующим образом.

Испытание на воздействие вибрации осуществляют в положении, соответствующем условиям эксплуатации, что достигается путем жесткого крепления изделия к платформе испытательного стенда таким образом, чтобы механические воздействия передавались изделию с минимальными потерями одним из трех способов:

- 1) на трехкомпонентном стенде — с пространственной вибрацией;
- 2) на двухкомпонентном стенде — с плоской вибрацией, поочередно в двух взаимно перпендикулярных направлениях таким образом, чтобы воздействие вибрации осуществлялось по всем трем координатным осям испытываемых изделий;
- 3) на однокомпонентном стенде — с вертикальной и горизонтальной вибрацией, поочередно в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

В зависимости от вида стенда общее время испытания, ч, не менее:

на трехкомпонентном стенде	0,5
на двухкомпонентном стенде	1
на однокомпонентном стенде	1,5

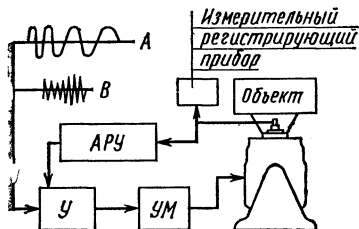


Рис. 26. Схема испытаний на вибрации с переменной частотой:

А — синусоида переменной частоты; В — случайные вибрации с переменной средней частотой спектра

Испытания проводят на высших частоте и амплитуде.

Изделие считают выдержавшим испытание, если в процессе воздействия вибрации оно удовлетворяет

требованиям стандартов или технических условий на изделия ГСП конкретных групп и видов.

Испытание изделий *виброустойчивого исполнения* следует проводить по ГОСТ 17167—71.

В том случае, если габаритные размеры и масса изделий не позволяют осуществить испытания всего изделия в целом на имеющемся испытательном оборудовании, то допускается проводить испытания по отдельным функциональным блокам.

Если при эксплуатации изделия применяются собственные амортизаторы, то изделие следует испытывать с этими же амортизаторами.

Для синусоидальной вибрации амплитуда виброперемещения в миллиметрах вычисляется по формуле

$$A = \frac{250J}{f^2},$$

где f — средняя частота поддиапазона, Гц.

Отклонения параметров вибрации от номинальных значений при установке или изменении режимов не должны превышать:

± 1 Гц $\pm 2\%$ по частоте вибрации;

$\pm 15\%$ по виброперемещению при частотах до 45 Гц;

$\pm 30\%$ по виброускорению при частотах от 45 Гц и выше.

Разбивку на поддиапазоны проводят согласно стандартам и ПИ.

При использовании вибраторов с механическим приводом диапазон частот для каждого из исполнений (1, 2, 3 по ГОСТ 17167—71) допускается разбивать на поддиапазоны в соответствии со следующим рядом: 5—10, 10—20, 20—30, 30—45, 45—60, 60—80, 80—100, 100—120 Гц.

По соглашению между заказчиком и изготовителем для исполнения 3 можно расширить полный диапазон частот до 500 Гц в соответствии со следующим рядом: 120—150, 150—200, 200—300, 300—500 Гц.

На рис. 26 показана схема испытаний на вибрации с переменной частотой. Гармоническое напряжение переменной частоты и постоянной амплитуды проходит через усилитель У с регулируемым коэффициентом усиления и подается на усилитель УМ мощности.

В усилителе мощности этот сигнал усиливается до уровня мощности, потребляемой вибратором при вибрационных испытаниях данного объекта. Акселерометр измеряет вибрации объекта и питает напряжением регистрирующий прибор и устройство для автоматического регулирования уровня вибраций (АРУ). В АРУ уровень действительных вибраций объекта сравнивается с требуемым уровнем. Напряжение, пропорциональное разности уровней, подается на усилитель с регулируемым коэффициентом усиления.

Преимущество этого метода испытаний состоит в низкой стоимости оборудования. Этот метод дает конструктору полезную информацию для корректировки конструкции, так как частота, при которой происходит разрушение или отказ в работе объекта, может быть легко зафиксирована.

Недостатком испытаний на вибрации с переменной частотой является то, что возбуждение различных резонансов в объекте происходит последовательно, а не одновременно, как это имеет место в реальных условиях.

В настоящее время для испытания на виброустойчивость широко используют механические и электродинамические стенды.

5. ИСПЫТАНИЕ НА ВИБРОПРОЧНОСТЬ

Вибропрочность определяет способность аппаратуры или средства измерения выдержать без разрушения длительные вибрационные нагрузки. Она характеризуется максимальными амплитудами ускорений, собственными частотами аппаратуры и ее отдельных элементов, демпфирующими свойствами материала конструкции и продолжительностью действия вибрационной нагрузки.

Испытание на вибропрочность проводят с целью проверки способности изделий противостоять разрушающему действию вибрации и сохранять свои параметры в пределах заданных допусков, указанных в стандартах и ПИ, после ее воздействия. Вибрация осуществляется в трех взаимно перпендикулярных направлениях и изменяется в требуемом диапазоне частот с соответствующими перегрузками.

При испытании на вибропрочность в диапазоне частот аппарата подвергается воздействию гармонических или случайных вибраций по методике, предусмотренной нормативно-технической документацией на испытуемый блок. При этом общее время испытаний разделяется на равные интервалы, в течение которых ведется испытание на каждой выбранной частоте.

Существует три метода испытаний на вибропрочность.

Метод качающейся частоты. При проведении испытаний поддерживают постоянными следующие параметры: поддиапазоны изменения частоты, амплитуду смещения или амплитуду

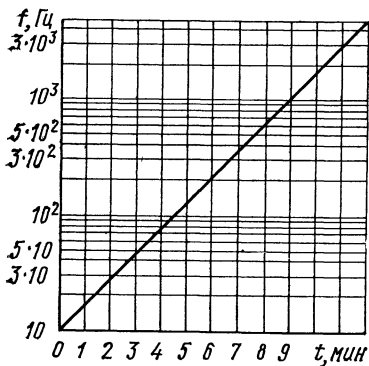


Рис. 27. Временная характеристика частоты при испытании методом качающейся частоты

ускорения, время и скорость изменения частоты для каждого поддиапазона. Осуществляется непрерывное изменение частоты во всем диапазоне за время 8—10 мин от наименьшего значения до наибольшего и обратно по линейному, показательному или октавному закону.

Время изменения частоты в диапазоне или поддиапазоне определяют по рис. 27.

Диапазон частот вибрации, амплитуда, частота перехода, ускорение, время цикла качания частоты, число циклов и общая продолжительность испытания в зависимости от степени жесткости (ГОСТ 16962—71) должны соответствовать указанным в табл. 9.

Ускоренных испытаний при методе качающейся частоты следует добиваться при ускорениях, не превышающих указанных в табл. 9.

Общая продолжительность испытаний, составляющая около 60 ч, может быть сокращена для выбранного значения ускорения в соответствии с формулой

$$T_y = \frac{J_0^2}{J_y^2} T_0, \quad (3)$$

где J_0 и T_0 — соответственно ускорение и продолжительность длительного испытания, приведенного в табл. 9;

$$J_y = (1,5 \div 2,0) J_0.$$

Для изделий, у которых резонансные частоты больше 200 Гц, испытания проводят начиная со 100 Гц. Продолжительность испытания при этом сокращают на время, приходящееся на диапазон до 100 Гц, и определяют по формуле

$$T = 2tn,$$

где t — время испытания, определяемое по рис. 27, в диапазоне частот от 100 Гц до наибольшей частоты заданного диапазона; n — число циклов качания, приведенное в табл. 9.

Сокращения сроков испытаний методом качающейся частоты в области резонансной частоты изделия можно добиться непрерывным изменением частоты в диапазоне частот от $0,5f_0$ до $1,5f_0$ или от $0,5f_{он}$ до $1,5f_{ов}$, но не выше верхней частоты

Значения параметров испытания методом качающейся частоты

Степень жесткости	Диапазон частоты, Гц	Амплитуда, мм	Частота перехода, Гц	Ускорение g	Время цикла качания, мин	Общая продолжительность испытания			
						длительного		кратковременного	
						Интервал, ч	Число циклов качания	Интервал, ч	Число циклов качания
I	10—35	1,5	20	1,5	5	6	72	—	—
II	10—60	1,5	—	1,0	6	180	1800	6,0	60
III	10—60	1,5	20	2,0	6	180	1800	6,0	60
IV	10—80	1,5	30	5,0	8	24	180	4,5	33
V	10—100	1,5	20	1,5	9	180	—	—	—
VI	10—200	1,5	30	5,0	12	24	120	4,5	21
VII	10—200	1,5	40	10	12	24	120	4,5	21
VIII	10—600	1,5	30	5,0	15	48	192	9,0	36
IX	10—600	1,5	40	10	15	48	192	9,0	36
X	10—1000	1,5	40	10	18	36	120	7,5	24
XI	10—2000	1,5	30	5,0	20	24	72	4,5	12
XII	10—2000	1,5	40	10	20	24	72	4,5	12
XIII	10—2000	1,5	50	15	20	24	72	4,5	12
XIV	10—2000	2,0	50	20	20	24	72	4,5	12
XV	10—3000	2,0	50	20	22	18	66	3,5	9
XVI	10—5000	1,5	40	10	24	12	30	3,0	9
XVII	10—5000	2,0	50	20	24	12	30	3,0	9
XVIII	10—5000	2—3	50—60	30	24	12	30	3,0	9
XIX	10—5000	2—4	50—70	40	24	12	30	3,0	9
XX	100—5000	—	—	40	16	0,5	2	0,5	2

заданного диапазона, где $f_{он}$, $f_{ов}$ — нижняя и верхняя частоты резонансной области.

Продолжительность испытания в области резонансных частот определяется в соответствии с формулой

$$T_p = 2t_p n,$$

где t_p — время испытаний, определяемое по рис. 27, в диапазоне частот от $0,5 f_0$ до $1,5 f_0$ или от $0,5 f_{он}$ до $1,5 f_{ов}$.

Метод качающейся частоты применяется для испытаний изделий на виброустойчивость и вибропрочность, а также для определения частоты их собственных колебаний и снятия частотных характеристик. Этот метод удобен тем, что позволяет непосредственно определять частоту собственных колебаний испытываемой конструкции и амплитуду при резонансе.

В процессе испытаний поддерживают постоянным ускорение, скорость или смещение платформы вибростенда. Значения этих параметров зависят в основном от конструкции аппаратуры и условий ее эксплуатации. Как правило, испытания на вибропрочность проводят сначала при постоянном смещении на низких частотах, затем продолжают их при постоянном ускорении на более высоких частотах. Частота перехода от режима вибрации при постоянном смещении к режиму вибрации при заданном ускорении зависит от условий эксплуатации аппаратуры.

Если изменение частоты происходит по закону переменных амплитуд, то

$$\ddot{x} = A_{\omega}(\omega) \sin \omega(t),$$

где $A_{\omega}(\omega)$ — амплитуда ускорения, изменяющаяся в зависимости от частоты ω ; ω — частота, задаваемая как параметр.

Метод фиксированных частот. Устанавливается определенная частота виброустановки и на этой частоте выполняются все контрольно-испытательные работы, предусмотренные в стандартах и ПИ.

Частота вибрации при методе фиксированных частот изменяется во всем диапазоне в одном направлении с выдержкой на отдельных частотах общего диапазона, достигающей до 12 ч. Общая продолжительность испытания, составляющая около 40 ч, может быть сокращена в соответствии с формулой (3).

При испытании методом фиксированных частот на испытуемый объект в течение интервала времени t воздействует синусоидальное ускорение с амплитудой a_0 и частотой f_{ϕ} . Тогда масса любой конструктивной детали с собственной частотой f_{0i} приобретает ускорение с пиковым значением $a_{\pi i}$, которое посредством передаточного коэффициента A [30] связано с амплитудой воздействия следующим соотношением:

$$a_{\pi i} = \frac{1}{\sqrt{[1 - (f_{\phi}/f_{0i})^2]^2 + [f_{\phi}/f_{0i}Q]^2}} a_0, \quad (4)$$

где Q — механическая добротность резонатора.

Из частотной зависимости (4) следует, что конструктивная деталь, собственная частота которой случайно совпадает с частотой воздействия f_{ϕ} , испытывает значительно большие ускорения, чем детали, не находящиеся в состоянии резонанса. При испытании такая ситуация может возникнуть совершенно случайно в зависимости от того, совпадает ли частота воздействия с собственной частотой элемента конструкции. Поэтому такой метод испытаний совершенно непригоден, если не представляется возможным гарантировать, что конструктивные детали в условиях эксплуатации и транспортирования будут нагружены воздействием только одной частоты, а именно f_{ϕ} .

Изделия, у которых резонансные частоты более чем в 1,5 раза превышают верхнюю частоту диапазона, соответствующего данным условиям эксплуатации, испытывают на любой фиксированной частоте диапазона при ускорении, соответствующем заданной группе, степени жесткости, исполнению, режиму и т. д.

Испытания проводятся также на резонансных частотах изделия.

Комбинированный метод. Испытания проводятся путем воздействия случайной вибрации комбинированно: до 50—60 Гц методом фиксированных частот с разбивкой всего диапазона на поддиапазоны. В пределах каждого поддиапазона осуществляют плавное изменение частоты в течение 1 мин. Далее испытания проводят методом качающейся частоты путем непрерывного изменения частоты до верхнего предела и обратно по линейному, показательному или октавному закону. Время изменения частоты в диапазоне или поддиапазоне определяют по рис. 27.

Испытанию на вибропрочность подвергают те же образцы изделий, которые были испытаны на виброустойчивость.

Испытания на вибропрочность на одной частоте проводят в следующем порядке:

изделия после измерения требуемых характеристик в нормальных условиях выключают и крепят к столу вибростенда в том положении, в котором изделие эксплуатируется;

устанавливается частота вибрации вибростенда в соответствии с группой прибора, видом исполнения, степенью жесткости изделия или частотой, указанными в стандартах и ПИ;

диапазон частот и ускорений при испытаниях на вибропрочность средств измерений 5-й и 7-й групп должны находиться в следующем соотношении:

Диапазон частот, Гц	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70
Диапазон ускорений, м/с ²	2—8	6—14	13—22	19—30	25—36	30—40

Испытанию на вибропрочность изделие подвергают также при изменении частоты вибрации в одном направлении. При этом частоту вибрации устанавливают равной нижнему пределу диапазона, а затем плавно изменяют до верхнего предела диапазона. При этом в каждом диапазоне на частотах 10; 15; 17; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60 и 70 Гц устанавливают выдержку 2 мин. Продолжительность воздействия вибрационных нагрузок 60 мин.

Амплитуду перемещения стола вибростенда устанавливают такой, чтобы на верхней границе каждого диапазона ускорение соответствовало указанному в табл. 10.

В зависимости от частоты f определяется амплитуда A смещения по графику, представленному на рис. 28.

Погрешности при установке или изменении режимов не должны превосходить:

Таблица 10

Амплитуды перемещения стола
вибростенда

Диапазон частот, Гц	Диапазоны ускорения, м/с ²	Амплитуда смещения (половина размаха), мм
10—20	2—8	0,50—0,38
20—30	6—14	0,38—0,3
30—40	13—22	0,3—0,25
40—50	19—30	0,25—0,22
50—60	25—36	0,22—0,18
60—70	30—40	0,18—0,16

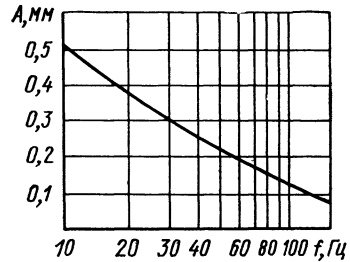


Рис. 28. График зависимости амплитуды смещения от частоты при испытаниях на вибропрочность

по частоте $\pm (10\% f + 2)$ Гц;
по амплитуде $\pm (15\% A + 0,05)$ мм;
по ускорению $\pm 20\%$.

Ускорение для колебаний, близких к синусоидальным, можно определить из формулы

$$A = \frac{1000a}{4\pi^2 f^2} = 25 \frac{a}{f^2},$$

где a — ускорение, м/с², A — амплитуда смещения (половина полного размаха), мм; f — частота вибрации, Гц. Продолжительность испытания 8—10 мин.

После этого изделия снимают со стенда, проверяют отсутствие механических повреждений и измеряют требуемые параметры в нормальных условиях.

6. ИСПЫТАНИЕ НА УДАРНУЮ ПРОЧНОСТЬ

Способность аппаратуры или отдельного прибора, входящего в установку, сохранять работоспособность после воздействия ударов, называется *ударной прочностью*.

Испытание на ударную прочность проводится с целью проверки способности изделия противостоять разрушающему действию ударных нагрузок и выполнять свои функции после их воздействия.

В процессе этого испытания по работающему изделию наносится 1000—10 000 ударов с каждой из трех взаимно перпендикулярных сторон с частотой 10—120 ударов в минуту и длительностью ударного импульса 1—15 мс.

Испытания на ударную прочность проводятся следующим образом. После измерения требуемых характеристик в нормальных условиях изделие жестко крепят к столу ударного стенда в положении, предусмотренном для эксплуатации или для переноски. Параметры испытания на удар (ускорение, длитель-

ность ударного импульса и число ударов) устанавливают в соответствии с условиями эксплуатации изделий, указанными в табл. 11.

Таблица 11

Значения параметров испытания на ударную прочность

Степень жесткости	Ускорение, м/с ²	Длительность, мс	Общее число ударов
I	150	2—15	10 000
II	400	2—10	10 000
III	750	2—6	4 000
IV	1500	1—3	4 000

Таблица 12

Длительность удара в мс в зависимости от значений резонансных частот изделий

Ускорение, м/с ²	Резонансные частоты изделий, Гц ¹				
	25—50	50—100	100—200	200—400	Св. 400
150	12—15	10—12	4—6	2,5—3,5	Не более 1—2
400	—	10—12	4—6	2,5—3,5	» 1—2
750	—	10—12	4—6	2,5—3,5	» 1—2
1500	—	—	4—6	2,5—3,5	» 1—2

Форма ударного импульса при испытании на ударную прочность не регламентируется, но предпочтительной является форма, близкая к полусинусоиде.

Испытания на воздействие ударных нагрузок рекомендуется проводить при длительностях удара, вызывающих резонансные возбуждения изделий, если эти длительности лежат в диапазоне, оговоренном техническими требованиями на изделия.

В табл. 12 для каждого значения нормированного ускорения приведены значения критичных для изделий длительностей удара в зависимости от значений резонансных частот изделий. Испытание следует проводить при одном значении длительности, взятой из указанных в табл. 12 пределов.

После испытания изделие снимают с ударного стенда, проводят внешний осмотр с целью выявления механических повреждений и ослабления креплений и измеряют характеристики в нормальных условиях.

Данное испытание можно проводить при закреплении изделия в одном наиболее опасном для него положении. Если изделие представляет собой сложную систему, имеющую множество резонансных частот, то испытание следует проводить при длительностях, соответствующих наименьшим резонансным частотам, так как при возбуждении низких частот в изделиях возникают наибольшие деформации и напряжения.

Число ударов при этих испытаниях определяется согласно табл. 11.

Испытания на ударопрочность переносных средств измерений 5-й и 7-й групп и щитовых электроизмерительных приборов и преобразователей, изготавливаемых в корпусах по ГОСТ 5944-74, необходимо проводить согласно ГОСТ 22261—76.

После измерения характеристик в нормальных условиях средство измерений выключают и жестко крепят к столу ударного стенда в положении, предусмотренном для эксплуатации и переноски.

Переносные средства измерений 5-й и 7-й групп испытывают при ускорении 50 м/с^2 и длительности импульса 6—12,5 мс; общее число ударов для 5-й группы 1000, а для средств измерений 7-й группы — 2000.

После испытания изделие или средство измерений снимают с ударного стенда, проводят внешний осмотр с целью выявления механических повреждений и ослабления креплений и измеряют характеристики в нормальных условиях.

Во время измерений параметров необходимо вести протокол измерений или карту регистрации результатов испытаний по ГОСТ 3.1506—75.

7. ИСПЫТАНИЕ НА УДАРНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

Испытание на ударную устойчивость проводят с целью проверки способности изделий выполнять свои функции в условиях ударных нагрузок, действующих в трех взаимно перпендикулярных положениях. В каждом положении изделие подвергается воздействию не менее чем 20 ударов длительностью 20—100 мкс с заданной частотой и силой, вызывающей требуемую перегрузку.

В процессе испытания проводится наблюдение за параметрами изделий, критичными к воздействию ударных нагрузок.

Изделия электронной техники групп М1, М2, М3, М4 (ГОСТ 21322—75) испытывают на ударную устойчивость при ускорении 147 м/с^2 с длительностью импульса 2—15 мс, а изделия групп М5 и М6 — при ускорении 392 м/с^2 с длительностью импульса 2—10 мс.

Испытания на ударную устойчивость средств измерений проводятся согласно требованиям ГОСТ 22261—76 и требованиям ТУ на средства измерений конкретного вида.

При совмещении испытания на ударную устойчивость с испытанием на ударную прочность число ударов должно соответствовать указанному в табл. 11, а контроль параметров испытываемых изделий проводят в конце испытания.

8. ИСПЫТАНИЕ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ОДИНОЧНЫХ УДАРОВ

Испытание проводится с целью проверки способности изделий противостоять разрушающему действию одиночных ударов с большими ускорениями и выполнять свои функции после воздействия ударов длительностью 0,2—60 мс и силой, вызывающей требуемую нагрузку.

Испытание осуществляется при воздействии ударной на-

рузки поочередно в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений. В каждом положении изделие подвергается воздействию не менее трех ударов. Значение ускорения и рекомендуемая длительность удара приведены в табл. 13 (ГОСТ 16962—71).

Форма ударного импульса не регламентируется, но предпочтительной является форма, близкая к полусинусоиде.

В процессе испытания проводится наблюдение за параметрами изделий, критичными к воздействию ударных нагрузок.

9. ИСПЫТАНИЕ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛИНЕЙНЫХ НАГРУЗОК

Испытание проводится с целью проверки способности изделий выполнять свои функции в процессе воздействия линейных (центробежных) нагрузок и противостоять разрушающему их действию. Нагрузки действуют поочередно в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений.

В процессе испытания значения ускорений устанавливаются в соответствии с приложением 2, при этом разброс ускорения по изделию не должен превышать $\pm 20\%$.

Изделия испытываются не менее 3 мин в каждом положении, необходимом для контроля параметров изделий в процессе испытания.

Центробежное ускорение возникает в том случае, если аппаратура находится под воздействием плоскостной круговой вибрации.

Известно, что материальное тело, движущееся по окружности радиусом R с угловой частотой ω , испытывает центробежное ускорение

$$a = \omega^2 R = 4\pi^2 f^2 R = 4\pi^2 R \frac{n^2}{3600} \approx 0,01n^2 R,$$

где f — частота; n — число оборотов в минуту ($f = n/60$).

Если центробежное ускорение выразить в долях ускорения свободного падения $g = 981 \text{ см/с}^2$, то

$$J_{\text{ц}} = \frac{a}{g} = \frac{4\pi^2 R n^2}{981 \cdot 3600} = n^2 R \cdot 10^{-5}.$$

Для испытания радиоаппаратуры на устойчивость к воздействию центробежного ускорения применяют различные центри-

Таблица 13

Значения ускорения и рекомендуемая длительность удара

Степень жесткости	Ускорение, м/с ²	Длительность, мс
I	39,2	40—60
II	196	20—50
III	735	2—6
IV	1 471	1—3
V	4 905	1—2
VI	9 810	0,2—1
VII	14 710	0,2—0,5
VIII	29 400	0,2—0,5

фуги, основной частью которых является платформа или ферма, имеющая число оборотов

$$n = \sqrt{\frac{J_{ц}}{11,2 \cdot 10^{-6} R}}$$

где $J_{ц}$ — заданное центробежное ускорение (в долях ускорения свободного падения); R — расстояние от центра вращения платформы до центра тяжести прибора, см.

Проверку механической прочности и устойчивости параметров изделий при воздействии линейных нагрузок проводят на центрифугах.

10. ИСПЫТАНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ

Аппаратура, которую эксплуатируют в нормальных условиях, подвергается механическим перегрузкам главным образом при транспортировании. При погрузке, разгрузке и перевозке могут возникнуть механические воздействия с различными частотами и ускорениями. При погрузке и разгрузке возможны удары, которые принято характеризовать высотой свободного падения на грунт.

Испытание прочности при транспортировании проводится с целью проверки способности изделий противостоять разрушающему действию механических факторов, возникающих при перевозке автомобильным, железнодорожным и авиационным видами транспорта на любое расстояние при условии защиты от грязи и атмосферных осадков. Испытания на прочность при транспортировании проводят на ударном стенде. Изделие в транспортной, тарной или табельной упаковке подвергается воздействию 20 000 ударов длительностью 5—10 мкс с частотой 20—80 Гц и силой, вызывающей 10—15-кратную перегрузку. Если масса и габаритные размеры изделия не позволяют проводить испытание на ударном стенде, то изделие испытывают при непосредственном транспортировании на автомашинах, тягачах, прицепах со скоростью 20—50 км/ч по булыжным и грунтовым (проселочным) дорогам на расстоянии 500—2000 км по методике, указанной в ГОСТ 11478—75, ГОСТ 12997—76, ГОСТ 22261—76, ГОСТ 23088—78, ГОСТ 23158—78.

Испытание аппаратуры на прочность при транспортировании должно проводиться в режимах, указанных ниже (ГОСТ 21320—75 ГОСТ 21317—75, ГОСТ 23216—78).

Режим испытания стационарной аппаратуры на прочность при транспортировании при выключенном питании приведен ниже

Ускорение, м/с ²	147 (15)
Длительность ударного импульса, мс	10
Частота ударов в минуту	40—80
Число ударов	500

Испытание аппаратуры на прочность при транспортировании проводят следующим образом. В нормальных условиях определяют характеристики средств измерений, установленные для испытаний данного вида стандартами (ГОСТ 22261—76 и др.) или ТУ на средства измерений конкретного вида. Средства измерений упаковывают в соответствии с конструкторской документацией. Тару со средством измерений жестко укрепляют в положении, определяемом маркировкой тары, на вибрационном стенде. Испытание проводят при ускорении 30 м/с^2 , число ударов в минуту 80—120. Продолжительность испытаний 1 ч для средств измерений 1—4-й групп и 2 ч для средств измерений 5—7-й групп. После испытаний проводят внешний осмотр средств измерений, включают их и по истечении времени установления рабочего режима измеряют требуемые характеристики.

При испытаниях изделий ГСП на воздействие транспортной тряски устанавливают (ГОСТ 12997—76) следующий режим: транспортная тряска с ускорением 30 м/с^2 при частоте 80—120 или 15000 ударов в минуту; температура от -60 до $+50^\circ \text{С}$;

относительная влажность $95 \pm 3\%$ при 35°С .

Упакованные изделия ГСП крепят к платформе испытательного стенда без дополнительной наружной амортизации в положении, определенном надписью «Верх» (маркировка тары по ГОСТ 14192—77). Испытания проводят на стенде для испытания на транспортную тряску или ударном стенде в течение 2 ч.

Испытание изделий допускается проводить транспортированием на грузовой автомашине со скоростью 20—40 км/ч на расстояние от 100 до 500 км.

Вид покрытий дорог, расстояние и скорость транспортирования устанавливаются стандартами или ТУ на изделия ГСП конкретных групп и видов.

Средства измерений в транспортной таре должны обладать прочностью при транспортировании, т. е. должны выдерживать без повреждений механические воздействия, соответствующие предельным ускорениям транспортирования.

Результаты натуральных испытаний [22] показывают, что колебания, обусловленные ударом и случайными вибрациями, различаются в основном только продолжительностью действия. Случайные вибрации, обычные для условий транспортирования, можно рассматривать как результат большого числа последовательных ударных импульсов. Колебания, вызываемые ударами при транспортировании блоков, аналогичны случайным вибрациям [25].

В практике испытания аппаратуры на вибропрочность при транспортировании проводятся, в частности, по методу воздействия широкополосных случайных вибраций или по методу воздействия многократных ударов.

Механические ВВФ при транспортировании изделий по ГОСТ 23088—78

ВВФ	Параметр	Виды транспорта					Погрузочно-разгрузочные операции
		Морской и речной	Железнодорожный	Автомобильный	Воздушный	Все виды	
Синусоидальная вибрация	Диапазон частот, Гц Амплитуда ускорения, m/s^2 (g)	1—60 19,6 (20)	1—60 14,7 (1,5)	1—80 49,0 (5,0)	5—500 49,0 (5,0)	1—500 49,0 (5,0)	— —
Механический удар	Пиковое ударное ускорение*, m/s^2 (g) Длительность действия ударного ускорения, мс	147,0 (15) 5—10	98,0 (10) 5—10	147,0 (15) 5—10	98,0 (10) 5—10	147,0 (15) 5—50	98,0 (10) 2—15
Крен	Максимальный угол крена, град	$\pm 7,5$	—	± 20	± 30	± 30	± 30
Качка	Амплитуда качки, град Период, с	$\pm 22,5$ 7—9	— —	— —	— —	$\pm 22,5$ 7—9	— —

* Пиковое ударное ускорение по ГОСТ 8.127—74

Высокочастотные составляющие ускорения при ударе в значительной степени влияют на ударную устойчивость аппаратуры. Поэтому если по условиям эксплуатации аппаратуры не должно быть высокочастотных составляющих ускорения, ударный стенд следует настроить так, чтобы высокочастотные составляющие ускорения были малы.

Порядок проведения непрерывных испытаний, имитирующих транспортирование, следующий: выборка приборов после приемосдаточного испытания; испытание на стенде; распаковка и внешний осмотр; ремонт (при необходимости); электропрогон или термопрогон; проверка работоспособности прибора; испытания согласно ГОСТ 12997—76, ГОСТ 22261—76.

При испытании на вибрационном (ударном) стенде, частично имитирующем транспортирование аппаратуры от завода до потребителя, возможны два режима: вибрационный и ударный. Параметры этих режимов следующие.

Вибрационный режим

Частота, Гц	10—70
Максимальное ускорение, m/c^2 :	
для изделий	2—40
для средств измерений	30
Продолжительность воздействия, мин	60

Ударный режим

Число ударов в минуту:	
для изделий	10—50
для средств измерений	80—120
Максимальное ускорение, m/c^2	50
Длительность импульса, мс	6,0—12,5
Общее число ударов	1000—2000

Электропрогон осуществляется в течение 50—200 ч в нормальных климатических условиях: температуре от +15 до +25° С, относительной влажности воздуха $65 \pm 15\%$ при температуре 20° С, атмосферном давлении 100 ± 4 кПа ($750 \pm \pm 30$ мм рт. ст.), напряжении питающей сети $220 В \pm 4\%$ для сети с частотой 50, 400 Гц.

Виды механических внешних воздействующих факторов (ВВФ), их параметры и значения при транспортировании изделий электронной техники согласно ГОСТ 23088—78 приведены в табл. 14.

Характеристики, условия транспортирования, их обозначения и пример выбора упаковки даны в ГОСТ 23216—78. Средства и методы консервации и упаковки, приведенные в ГОСТ 15846—79, ГОСТ 23216—78, обеспечивают защиту изделия от механических повреждений, коррозии, увлажнения, частично от старения и биоповреждения на сроки сохраняемости, устанавливаемые в стандартах или другой НТД на изделия.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕНДОВ

Испытания аппаратуры и средств измерений в производственных условиях осуществляются с помощью специального испытательного оборудования. В состав этого оборудования входят: испытательные установки, имитирующие механические воздействия;

оснастка для крепления испытуемой аппаратуры к испытательным установкам;

приборы для измерения параметров механических факторов.

Испытание проводится в лабораториях типовых испытаний (ЛТИ) на специальном оборудовании, предназначенном для воспроизведения условий, наиболее вероятных при эксплуатации аппаратов и средств измерений.

Виды испытаний, диапазон и динамический уровень нагрузок сведены в табл. 1 и в приложения 2 и 3.

Испытательное оборудование классифицируется по виду воспроизводимого воздействия. Различают следующие установки: вибрационные стенды для испытаний на воздействие вибрационных нагрузок;

ударные стенды для испытаний на воздействие многократных ударных нагрузок;

копры для испытаний на воздействие одиночных ударов с большим ускорением;

центрифуги для испытаний на воздействие линейных (центробежных) нагрузок;

установки для испытаний на воздействие звукового давления;

установки для испытаний на воздействие случайной вибрации (белый шум);

установки для испытаний на воздействие транспортной тряски;

установки для испытаний изделий на износостойчивость.

Испытательное оборудование, выпускаемое отечественной промышленностью, отвечает современным требованиям. Разработанные ранее низкочастотные механические установки с диапазоном частот от 10 до 70 Гц заменены более совершенными установками с диапазоном частот от 5 до 200 Гц.

На вибрационных установках появилась возможность изменять амплитуду во время проведения испытания, управлять ус-

тановой автоматически, проводить испытания методом качения частоты, измерять параметры вибрации виброизмерительными приборами.

Электродинамические стенды с диапазоном частот от 60 до 1500 Гц заменены электродинамическими стендами ВЭС с диапазоном частот от 5 до 5000 Гц, автоматическим управлением, коэффициентом нелинейных искажений порядка 10%, выталкивающей силой до 200 Н. Они имеют магнитное поле рассеивания на платформе 5Э и рассчитаны на непрерывную работу в течение 24 ч.

Электродинамические установки составляют ряд по грузоподъемности: 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 кг; ряд по выталкивающей силе: 7, 5; 20, 40, 100, 130, 150, 200, 450, 900 Н.

Ударные установки типа СУ-1 заменены наиболее совершенными электродинамическими установками типа УУЭ (установки ударные электродинамические), которые позволяют воспроизводить заданную форму ударного импульса, максимальное ускорение по усредненной кривой удара, пиковое ускорение удара, а также длительность. Параметры воспроизводимого удара могут быть сфотографированы и измерены.

Установка на воздействие транспортной тряски, имитирующая профиль дороги, толчки при перевозке железнодорожным, водным и воздушным видами транспорта, рассчитана на 200 ударов в минуту с ускорением от 5 до 25 g и общим числом ударов до 50 000.

Имеются ударные установки на воздействие одиночного удара с большим ускорением (порядка 1000—1500 g) и длительностью импульса 3—5 мс.

Разработаны установки на акустическое воздействие в диапазоне частот от 60 до 10 000 Гц на звуковое давление 60—170 дБ.

В настоящее время ведутся разработки оборудования на воздействие случайной вибрации (хаотической), которое позволит проводить испытания изделий не только на гармонические, но и на полигармонические колебания в условиях, близких к эксплуатационным.

Промышленность выпускает центрифуги на воспроизведение линейного ускорения до 300 g с нарастанием ускорения до 5 g.

Созданы отечественные установки для испытания изделий на износостойчивость, а также комплексные испытательные установки на воздействие вибрации в условиях пониженных (-65°C) и повышенных ($+155^{\circ}\text{C}$) температур с ускорением до 30 g в диапазоне частот от 5 до 5000 Гц.

Разработана комплексная установка на одновременное воздействие линейного ускорения до 100 g, вибрационного ускорения до 10 g в диапазоне частот до 100 Гц с давлением воздуха от 15 000 кПа и вакуумом до 667 Па (5 мм рт. ст.).

Для проверки виброизмерительных приборов созданы образ-

цовые вибрационные установки, работающие в диапазоне частот от 1 до 20 000 Гц.

Анализ вибрационного и ударного испытательного оборудования позволяет установить следующую тенденцию новых разработок:

расширение рабочего диапазона частот и динамического уровня воздействий;

повышение направленности движения и уменьшение нелинейных искажений;

снижение внешних полей, магнитного и вибрационного шума;

автоматизация процессов испытания и измерения параметров вибраций;

создание оборудования для испытания изделий на вибрационные воздействия совместно с влияющими факторами (тепло, холод, вакуум, давление, влажность, нормальные ускорения);

разработка методов и средств аттестации вновь изготовленных, отремонтированных и находящихся в эксплуатации испытательных вибрационных и ударных установок (ИВУ, ИУУ);

создание образцовых вибрационных установок, предназначенных для проверки и градуировки виброизмерительных приборов;

разработка нормативной документации на вибрационное испытательное оборудование и методов испытаний.

2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Для механических испытаний аппаратов и средств измерений применяют различные установки, в комплект которых входят испытательные стенды, измерительные приборы и вспомогательное оборудование.

Стенды, предназначенные для испытания изделий в условиях вибрационных и ударных воздействий, получили большое распространение. Воспроизводимые на них вибрации и удары должны имитировать весьма разнообразные условия, возникающие при транспортировании, ударах, падениях, разного рода сотрясениях, толчках и т. п. В ряде случаев необходимо воспроизвести условия, когда изделия, представляющие собой щитовые измерительные или регистрирующие приборы, установлены вблизи кузнечных молотов, штамповочных станков, мощных электродвигателей и других агрегатов, возбуждающих вибрационные, ударные сотрясения почвы и распределительных устройств в целом.

Испытательные установки, имитирующие отдельные удары с последующими колебаниями, составляют своеобразную отрасль технологического оборудования.

На рис. 29 приведена классификация оборудования для механических испытаний.

Оборудование для проведения механических испытаний по

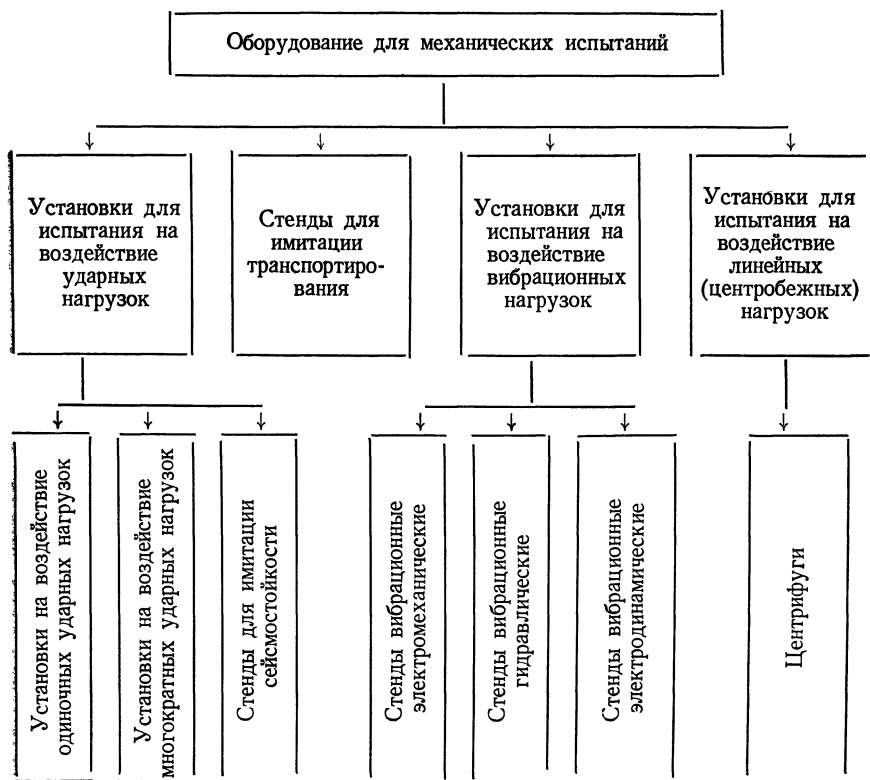


Рис. 29. Классификация оборудования для механических испытаний

перечню испытательного оборудования, рекомендуемого для оснащения предприятий и организаций министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления, разделено на шесть групп.

Группа 1. Отечественное оборудование для проведения испытаний изделий на воздействие вибрационных нагрузок:

- механические вибростенды;
- электродинамические вибростенды;
- электрогидравлические вибростенды.

Группа 2. Отечественное оборудование для испытания изделий на воздействие одиночных и многократных ударов.

Группа 3. Отечественное оборудование для испытания изделий на воздействие линейных ускорений.

Группа 4. Зарубежное оборудование для испытания на воздействие вибрационных нагрузок.

Группа 5. Зарубежное оборудование для испытания на воздействие одиночных и многократных ударов.

Группа 6. Зарубежное оборудование для испытания изделий на воздействие линейных ускорений.

Разделение испытательного оборудования на установки для испытаний на вибрацию, тряску и удары является условным. Принцип действия их может быть общим.

Правила выбора средств технологического оснащения процессов испытаний приведены в ГОСТ 14.307—73, общие правила выбора средств испытаний — в ГОСТ 14.301—73 (разд. 3).

Выбор средств испытаний должен быть основан на анализе затрат на проведение испытаний в установленный интервал времени (ГОСТ 14.307—73).

Анализ затрат должен предусматривать:

а) сравнение средств испытаний, отвечающих одинаковым требованиям и обеспечивающих решение одинаковых задач в конкретных производственных условиях;

б) выбор вариантов, основанный на использовании следующей информации:

плана развития народного хозяйства на соответствующем уровне реализации (общесоюзном, отраслевом и предприятий);

технических требований к объекту испытаний;

числа и сроков изготовления изделий;

картотеки применяемости средств испытаний;

государственных, отраслевых стандартов и стандартов предприятий на средства испытаний;

каталогов и паспортов средств испытаний;

альбомов унифицированных конструкций средств испытаний;

в) учет требований техники безопасности и промышленной санитарии.

Средства испытаний выбирают при разработке процессов испытаний и согласуют с заинтересованными службами предприятий и при необходимости с заказчиком.

При выборе средств испытаний следует стремиться к следующему:

применению вычислительной техники при проведении испытаний и обработке их результатов;

максимальному использованию стандартных и покупных средств испытаний;

использованию принципа кооперирования при проектировании и изготовлении средств испытаний;

снижению стоимости затрат на приобретение или изготовление средств испытаний и их эксплуатацию.

Средства испытаний должны обеспечивать:

воспроизведение нагрузок, соответствующих эксплуатационным;

стабильность нагружения и заданную точность испытаний;

простоту и удобство обслуживания;

надежность работы в заданных интервалах времени;

возможность переналадки производства при изменении объектов (в случае индивидуального и серийного производства).

Контрольно-измерительная аппаратура должна отвечать требованиям Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

Порядок выбора средств испытаний, рекомендуемый метод выбора оптимального варианта и описание алгоритма оптимизации выбора средств испытаний приведены в ГОСТ 14.307—73 (разд. 2 и приложение 2 к стандарту).

Для получения оптимального варианта составляют систему уравнений, отражающую условие, при котором должны быть испытаны все объекты производства:

$$\left. \begin{aligned} x_{11} + x_{21} + \dots + x_{i1} + \dots + x_{m1} &= N_1; \\ x_{12} + x_{22} + \dots + x_{i2} + \dots + x_{m2} &= N_2; \\ \dots &\dots \\ x_{1j} + x_{2j} + \dots + x_{ij} + \dots + x_{mj} &= N_i; \\ \dots &\dots \\ x_{1n} + x_{2n} + \dots + x_{in} + \dots + x_{mn} &= N_n, \end{aligned} \right\}$$

где x_{ij} — число объектов типа A_j , испытываемых средствами вида B_i ; $x_{ij}=0$, если объект типа A_j не испытывается на средствах B_i ; N_i — число объектов производства.

Условие, при котором продолжительность работы всех используемых средств не меньше времени, необходимого для испытания всех объектов, записывают в виде неравенств

$$\left. \begin{aligned} \tau_{11}x_{11} + \tau_{12}x_{12} + \dots + \tau_{1j}x_{1j} + \dots + \tau_{1n}x_{1n} &\leq \varepsilon_1 T; \\ \dots &\dots \\ \tau_{i1}x_{i1} + \tau_{i2}x_{i2} + \dots + \tau_{ij}x_{ij} + \dots + \tau_{in}x_{in} &\leq \varepsilon_i T; \\ \dots &\dots \\ \tau_{m1}x_{m1} + \tau_{m2}x_{m2} + \dots + \tau_{mj}x_{mj} + \dots + \tau_{mn}x_{mn} &\leq \varepsilon_m T, \end{aligned} \right\}$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i, \dots, \varepsilon_m$ — соответственно число средств, используемых при испытании всех объектов; T — продолжительность работы каждого средства; τ_{ij} — время испытания объектов.

После рассмотрения системы уравнения составляют функции стоимости средств, используемых при испытании объектов, находят допустимое базисное решение системы уравнений (1), (2) (см. ГОСТ 14.307—73) и приводят пример численного решения задачи, в которой определяются три оптимальных целочисленных решения.

После выбора средств испытаний составляют ведомость средств испытаний по ГОСТ 3.1105—74.

3. ВИБРАЦИОННЫЕ СТЕНДЫ

Вибрационные стенды — это вибрационная испытательная установка, к рабочей платформе которой прикрепляют изделия для вибрационных испытаний или преобразователи виброизмерительной аппаратуры, подвергаемой калибровке (тарированию).

Аппаратуру и приспособления, служащие для искусственного создания вибрации, называют вибраторами. Вибраторы устанавливают на испытываемой аппаратуре или соединяют с платформой, к которой крепится аппаратура. В зависимости от размеров платформы испытательную установку называют вибростендом или вибростолом.

Каждая установка должна обеспечить воспроизведение и измерение следующих параметров: диапазон частот, Гц; амплитуду смещения, мм; синусоидальную форму колебания; нелинейные искажения, %; направление колебаний (вертикальное, горизонтальное); грузоподъемность, кг; величину вибрационного ускорения, m/c^2 ; (g); продолжительность непрерывной работы, ч.

Требования к вибрационному оборудованию составляют исходя из технических условий или стандартов на испытания изделий.

Существуют вибростенды универсальные и специального назначения. Амплитуду и частоту колебаний платформы универсального вибростенда можно плавно изменять в определенном диапазоне, в некоторых случаях автоматическим программным устройством. Существуют следующие типы вибрационных стендов (установок):

однокомпонентные гармонические, создающие прямолинейную синусоидальную вибрацию;

двухкомпонентные бигармонические, создающие вибрацию, состоящую из двух синусоидальных колебаний с разными или одинаковыми частотами; в последнем случае возникает плоскостная круговая вибрация (установки с такой вибрацией называют центрифугами);

трехкомпонентные, создающие так называемую «объемную вибрацию»; из-за сложности такие установки применяют редко;

импульсные, или ударные, создающие периодическую вибрацию в виде отдельных импульсов, многократных ударов; такие установки называют ударными стендами;

имитационные, создающие периодическую вибрацию или импульсы заданной формы (например, при испытаниях на прочность при транспортировке такие установки имитируют транспортную тряску).

Наиболее распространены однокомпонентные гармонические вибростенды, так как любое гармоническое колебание, вызванное каким-либо механическим фактором, может быть с доста-

точной степенью точности представлено суммой ряда синусоидальных колебаний (рядом Фурье)

$$X(t) = X_0 + X_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + X_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + \\ + X_i \sin(i\omega t + \varphi_i) + \dots + \sin(n\omega t + \varphi_n),$$

причем амплитуды X_i и фазы φ_i отдельных составляющих часто являются переменными по времени. Воспроизведение такого рода воздействия при механических испытаниях представляет практически невыполнимую задачу, поэтому при механических испытаниях на вибростойкость создают колебания

$$X(t) = X_m \sin \omega t.$$

При этом на испытываемую аппаратуру действуют:
скорость

$$\dot{X}(t) = \omega X_m \cos \omega t = \dot{X}_m \cos \omega t;$$

ускорение

$$\ddot{X}(t) = -\omega^2 X_m \sin \omega t = -X_m \sin \omega t.$$

Если аппаратура удерживается на вибростенде креплением, имеющем жесткость C , то для системы аппаратура—крепление—платформа вибростенда справедлива следующая система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -m\omega^2 X_2 + j\omega r X_2 + C X_2 &= C X_1; \\ \frac{X_2}{X_1} &= \left[\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right) + j\omega \frac{r}{C} \right]^{-1} \approx \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right), \end{aligned} \right\}$$

где m — масса системы; r — сопротивление потерь при движении в процессе вибрации; C — жесткость крепления; X_1 и X_2 — перемещение платформы вибростенда и аппаратуры; $\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{m}}$ — собственная частота колебаний системы.

При наступлении резонанса амплитуда колебаний аппаратуры становится очень большой:

$$X_2^{(p)} = \frac{X_1}{j\omega_0 r / C}.$$

Соответственно возрастает сила, действующая на аппаратуру во время резонанса:

$$P_p = -M\omega_0^2 X_2^{(p)} = -\frac{M\omega_0^2 X_1}{j\omega_0 r / C},$$

где M — масса аппаратуры.

Это может привести к отрыву аппаратуры от платформы вибростенда и даже к частичному ее разрушению. Поэтому при

проведении механических испытаний необходимо обеспечивать надежное крепление испытуемых изделий к платформам испытательных стендов.

Аппаратура и ее блоки должны крепиться к платформе испытательного стенда при помощи приспособлений, аналогичных креплению аппаратуры при ее эксплуатации. Крепежные приспособления (различные стойки, этажерки, кронштейны, платы и т. п.) должны быть настолько жесткими, чтобы величина испытательных параметров изменялась не более чем на $\pm(10-20)\%$.

Максимальная нагрузка, которая может быть получена на данном вибростенде,

$$J_m = \frac{g}{g_0} = \frac{P}{G_0 + G} = \frac{P}{G_\Sigma}$$

при частоте колебаний

$$\omega = \sqrt{\frac{J_m}{X_{1\max}}},$$

где P — сила, действующая на аппаратуру во время вибрации; G — вес аппарата; G_0 — вес подвесной части вибростенда (платформа с вибратором); X_{1m} — максимальная амплитуда колебаний.

При других частотах амплитуда колебаний будет определяться выражением

$$X_1 = \frac{Pg_0}{(G_0 + G)\omega^2} = \frac{Pg_0}{G_\Sigma\omega^2},$$

где g_0 — ускорение свободного падения.

По виду энергетического привода вибростенды делят на механические, электродинамические, пьезоэлектрические, пневматические и гидравлические.

Механические вибростенды выполняют, как правило, с эксцентриковым или центробежным вибратором. Стенд с эксцентриковым вибратором отличается простотой (рис. 30, а), но из-за сильной изнашиваемости подшипников стенды, выполненные по такой схеме, применяют для частот, не превышающих 50—60 Гц. Амплитуду вибрации регулируют изменением эксцентриситета, частоту ω — изменением числа оборотов двигателя. Основным преимуществом таких стендов является возможность получения очень низких частот, независимость амплитуды от частоты и экономичность (потребляемая мощность составляет 5—10 Вт на 1 кг массы испытываемого изделия). Недостатком, кроме невозможности получения высоких частот, является трудность в получении малых амплитуд (ниже 0,1 мм).

При различных методах разгрузки подшипников частотный диапазон может быть расширен до 200—300 Гц. Широкое

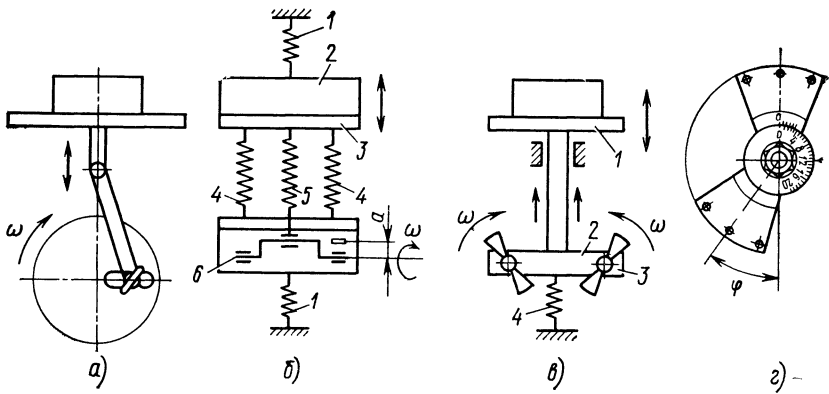


Рис. 30. Схемы механических вибростендов:

а — с эксцентриковым вибратором; *б* — с разгрузкой подшипников; *в* — с центробежным вибратором; *г* — пара секторов со шкалой и нониусом

применение получил эксцентриковый стенд, собранный по схеме, представленной на рис. 30, б, включающий упругие элементы и реактивную массу. Реактивная масса 2 служит для управления вибрационными силами, действующими на основание. Пружины 1 являются основными (рабочими). Через упругий элемент 5 осуществляется передача колебаний от эксцентрика 6 с постоянным эксцентриситетом a к платформе 3. Пружины 4 служат для связи элементов вибростенда с основанием. Изменением длины рабочих пружин регулируется амплитуда вибрации платформы.

Колебательную систему стенда с центробежными вибраторами составляет пружина 4 и масса подвижной части (рис. 30, в), состоящей из платформы 1 с испытуемым объектом, штока 2 и собственно вибратора 3. В вибратор входят два вращающихся в разные стороны параллельных вала. На каждом конце вала находятся по два стальных сектора (рис. 30, г). Радиальные оси симметрии секторов в каждой из четырех пар можно сдвинуть относительно друг друга. Тем самым достигается некоторая неуравновешенность, вследствие которой при вращении возникают центробежные силы. Составляющие центробежных сил в направлении, перпендикулярном продольной оси штока, взаимно уничтожаются, а в направлении штока — складываются, вызывая прямолинейную синусоидальную вибрацию подвижной части стенда, подвешенной на пружине 4 (рис. 30, в). Амплитуда вибрации регулируется изменением угла между секторами. Частота вибрации, равная числу оборотов вала, регулируется пусковым реостатом.

Стендами с механическим приводом можно уверенно пользоваться в диапазоне частот от 10—200 до 60—80 Гц при амплитудах смещения не менее 0,1 мм.

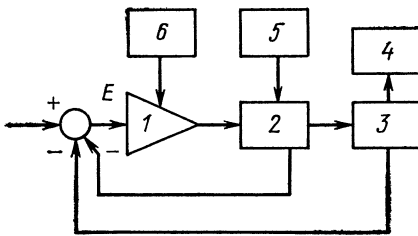


Рис. 31. Блок-схема электрогидравлического вибростенда:

1 — усилитель; 2 — сервоклапан; 3 — исполнительный механизм; 4 — объект; 5, 6 — источники гидравлической и электрической энергии

Недостатками стенда являются его низкая экономичность (65—70 Вт/кг) и невозможность регулировки амплитуды без остановки вибростенда (последний недостаток может быть устранен при помощи различных схем механической и электро-механической регулировки). В настоящее время отечественная промышленность выпускает центробежные стенды грузоподъемностью до 1000 кг, обеспечивающие шестикратную перегрузку в диапазоне от 20 до 400 Гц.

Вибрационный стенд типа ВП-15 имеет вертикальное направление создаваемых колебаний при их синусоидальной форме. Нелинейные искажения колебаний (по скорости) составляют не более 5%; стенд допускает плавное изменение частоты колебаний во время его работы. Габаритные размеры стенда $590 \times 590 \times 770$ мм.

Блок-схема электрогидравлического вибростенда приведена на рис. 31.

Основное преимущество вибростендов заключается в том, что они обеспечивают с определенной точностью постоянство амплитуды вибрации в диапазоне частот.

Частоты вибрации выше 500 Гц обеспечиваются только электродинамическим вибростендом.

Вибрационные стенды желательно устанавливать на специальных прочных фундаментах. При установке аппаратуры на площадке вибростенда необходимо следить за тем, чтобы ее центр тяжести находился на центральной оси установки, а нагрузка была распределена симметрично по отношению к оси и к центру стола.

4. ВИБРАЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ СТЕНД ТИПА ВЭДС

Вибрационный электродинамический стенд типа ВЭДС¹ предназначен для испытаний изделий на вибрационную прочность и вибрационную устойчивость в лабораторных и производственных условиях в широком диапазоне частот (5—5000 Гц) при малом (не более 8%) коэффициенте нелинейных искажений; потребляемая мощность не более 7 кВт. Механические колебания сто-

¹ ВЭДС-10А, ВЭДС-100Б, ВЭДС-200А, ВЭДС-1500 и др., где цифры показывают толкающую силу (максимальную), кгс (выпускаются на Таганском заводе «Виброприбор»).

ла вибратора, совпадающие с его вертикальной осью и возникающие в результате взаимодействия переменного тока подвижной катушки с постоянным магнитным полем электромагнита, передаются изделию с пьезоэлектрическим преобразователем ИС-318, закрепленным на столе.

Электрический сигнал, пропорциональный виброускорению, с пьезопреобразователя поступает на блок измерения вибрации или автомат. Питание и управление вибратором осуществляются пультом управления УПВ-3/3 и усилителем УПВ-3/1.

Конструктивно вибрационный электродинамический стенд типа ВЭДС состоит из электродинамического вибратора ВЭД (или электромагнитного вибратора — см. ГОСТ 16554-71) с вентиляционной установкой, пульта управления УПВ-3/3 и усилителя УПВ-3/1 (рис. 32).

Конструкция вибратора представлена на рис. 33. В корпусе электромагнита 2, выполненного из электротехнической стали, помещается бескаркасная катушка подмагничивания 3. Корпус электромагнита с кольцом 5 и керном 1 составляет магнитопровод вибратора. Каркас подвижной катушки 6, находящийся в воздушном зазоре магнитопровода, выполнен из стеклотекстолита. Катушка крепится к столу 8 из магнитного сплава. Стол имеет восемь резьбовых отверстий для крепления испытуемого изделия.

Вся подвижная система — катушка, стакан 9 и стол 8 — подвешена на двух упругих мембранах 4 и 7, которые через два наружных кольца центрируют подвижную катушку в воздушном зазоре магнитопровода.

Для охлаждения подвижной катушки и катушки подмагничивания применяют вентиляционную установку 11. Воздух для охлаждения подводится гибким рукавом 10 к коллектору и через него в вибратор.

В вибраторе использована электродинамическая приводная система, состоящая из электромагнита с кольцевым воздушным зазором и подвижной системы, подвешенной на двух упругих мембранах.

Электромагнит представляет собой магнитопровод с катушкой подмагничивания, по которой пропускается постоянный ток. В подвижной катушке течет переменный ток, его частота и амплитуда определяются параметрами испытания. Ток подвижной катушки взаимодействует с постоянным магнитным полем и создает толкающую силу, величина и направление которой определяются по формуле

$$F = BI_m l,$$

где B — индукция в воздушном зазоре; I_m — сила тока в подвижной катушке (амплитудное значение); l — длина проводника подвижной катушки.

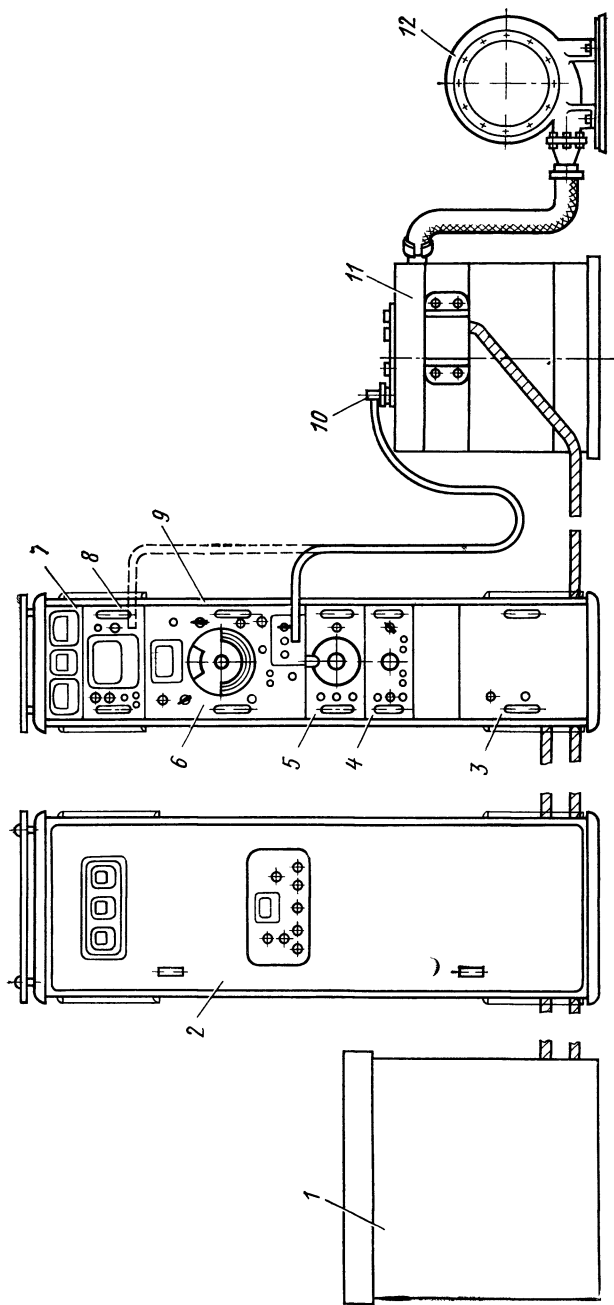


Рис. 32. Конструкция вибрационного стенда ВЭС:

1 — трансформатор; 2 — усилитель; 3 — блок питания катушки подмагничивания; 4 — блок предварительного усиления; 5 — генератор синусоидальных колебаний; 6 — блок автоматического поддержания параметров вибрации; 7 — блок контроля; 8 — блок измерения вибрации; 9 — пульт управления; 10 — пьезопреобразователь; 11 — вибратор; 12 — вентилятор

Рис. 33. Конструкция вибратора ВЭД

Величины B и l для данного вибратора являются постоянными.

Если по обмотке подвижной катушки пропускать синусоидальный ток, то колебания стола вибратора будут синусоидальной формы; частота колебаний стола определяется частотой тока в подвижной катушке.

Амплитуда виброускорений, создаваемых вибратором, зависит от тока подвижной катушки и массы испытуемых изделий. Упругие мембраны — верхняя 7 и нижняя 4 — удерживают подвижную катушку 6 в среднем рабочем положении в воздушном зазоре электромагнита. Они подобраны так, чтобы собственная частота колебаний системы, зависящая от упругости мембраны и массы подвижной части вибратора, составляла 20 ± 5 Гц.

Пульт управления УПВ-3/3 предназначен для управления работой усилителя, питающего электродинамический вибратор; для поддержания постоянных параметров вибраций и их измерения; для контроля напряжения, тока возбуждения и тока подмагничивания.

Пульт управления, работающий совместно с усилителем и электродинамическим вибратором, выполнен в виде отдельных блоков, установленных в шкафу. Электрические соединения между блоками, усилителем и вибратором осуществляются посредством жгутов, разъемов и плат.

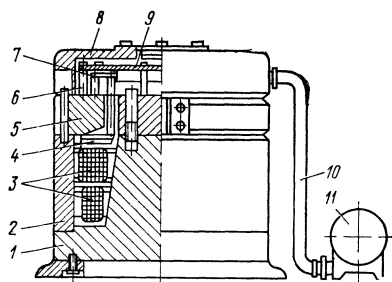
Синусоидальный сигнал, подаваемый на вход предварительного усилителя, усиливается до необходимого уровня и подается на вход усилителя.

Блок подмагничивания питает катушку подмагничивания вибратора, в воздушном зазоре магнитной системы которого создается постоянное магнитное поле.

Подвижная катушка электродинамического вибратора является нагрузкой усилителя. Переменный ток, протекая по катушке, взаимодействует с постоянным магнитным полем и приводит в движение стол вибратора, где укреплен пьезоэлектрический преобразователь. Напряжение с него подается на вход блока, измеряющего виброускорение на столе вибратора в единицах g . При работе с автоматом этот блок поддерживает виброускорение постоянным.

Блок контроля измеряет ток подмагничивания, а также контролирует ток и напряжение подвижной катушки вибратора.

Усилитель УПВ-3/1 выполнен в виде бескаркасного шкафа с дверями спереди и сзади. Задняя дверь двухстворчатая. Боко-



вины шкафа имеют вентиляционные жалюзи, верхняя крышка приподнята для обеспечения хорошего теплообмена.

Усилители оконечный и предварительного усиления, а также блок защиты и высоковольтный выпрямитель выполнены съемными. Выходной трансформатор и конденсаторы фильтра высоковольтного трансформатора смонтированы в нижней части шкафа, а соединительные платы усилителя — у задней двери. В оконечном усилителе установлены вентиляторы обдува ламп ГУ-81.

Болт в нижней части шкафа усилителя служит для заземления. Передняя и задняя двери имеют электромеханические блокировки. Органы управления, контроля и сигнализации расположены спереди. Два отверстия в передней двери, над панелью, обеспечивают доступ к потенциометрам баланса плеч оконечных ламп.

Расстояние между системой управления, усилителем и вибратором определяется длиной соединительных жгутов.

Запрещается удлинять шнур пьезоэлектрического преобразователя.

Вибратор должен быть установлен на специальном вибропоглощающем фундаменте и закреплен шестью анкерными болтами М18.

Вентиляционная установка помещается рядом с вибратором на резиновой подушке толщиной 30 мм из резины средней твердости.

Управление работой стенда может быть ручное и автоматическое. При ручной работе переключатель на передней панели блока предварительного усиления должен стоять в положении «Генератор» или «Внешний генератор». В этом случае пьезопреобразователь подключают к блоку измерения вибрации, а частоту колебаний стола задают вручную на блоке генератора синусоидальных колебаний или от внешнего генератора.

При автоматической работе переключатель блока предварительного усиления ставится в положение «АВТОМАТ», а пьезопреобразователь подключается ко входу автомата.

В режиме ручной работы вибростенда при совпадении частоты генератора с собственной частотой значительно возрастает амплитуда смещения, поэтому перед измерением частоты генератора надо уменьшить сигнал на входе блока предварительного усиления ручкой «Регулировка уровня».

Номинальная амплитуда вибро смещения, создаваемая стендом в диапазоне частот 20—45 Гц, соответствует графику, представленному на рис. 34.

На графике, приведенном на рис. 35, показана зависимость относительной величины поперечных составляющих виброускорений J_{\perp} вибратора ВЭД от частоты виброускорения, развиваемого вибратором в рабочем направлении.

Неравномерность распределения виброускорения в точках,

Рис. 34. Амплитуда вибросмещения $2A, \text{мм}$ в диапазоне частот для стенда:
1 — ВЭДС-10А; 2 — ВЭДС-100А

предусмотренных конструкцией вибратора для крепления испытуемых аппаратов, не более значений, указанных на графике рис. 36.

Проверка рабочего диапазона, погрешности частот, виброускорения и коэффициента гармоник виброускорения осуществляется в соответствии с блок-схемой, представленной на рис. 37.

На нагруженном столе вибратора стенда закрепляется образцовый вибропреобразователь. Изменяя частоту вибрации вибратора в диапазоне частот 40—5000 Гц и устанавливая виброускорение, равное 160 м/с^2 (для стенда ВЭДС-10А), измеряем коэффициент гармоник виброускорения вибратора на выходе вибропреобразователя. Частота измеряется частотомером.

Номинальная толкающая сила определяется при нагрузке на столе вибратора $P_n = 19 \text{ Н}$ при частоте 45 Гц и максимальном виброускорении 40 м/с^2 и подсчитывается по формуле

$$F = J(P_{п.с} + P_n),$$

где J — виброускорение, создаваемое стендом; $P_{п.с}$ — масса подвижных частей вибратора стенда; P_n — масса нагрузки на столе вибратора стенда.

Для проверки неравномерности амплитудно-частотной характеристики стенда в номинальном диапазоне частот используют блок-схему, представленную на рис. 38. Характеристика показана на рис. 39.

Определение рабочего диапазона частот, мощности усили-

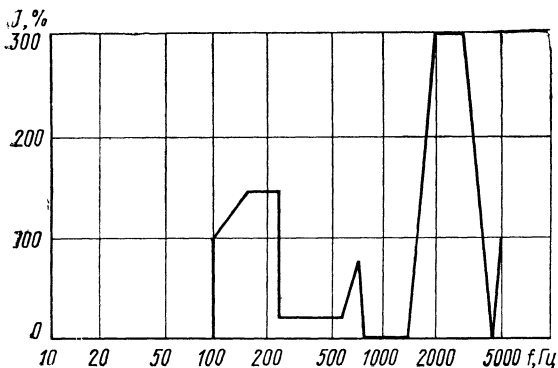
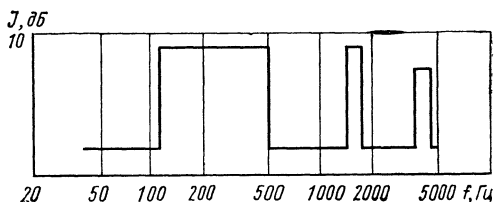


Рис. 35. График уровня боковых составляющих виброускорения вибратора ВЭД

Рис. 36. График неравномерности ускорения



теля и коэффициента гармоник при номинальной выходной мощности в диапазоне частот 20—5000 Гц осуществляется в соответствии с блок-схемой, показанной на рис. 40.

При изменении частоты генератора (20, 60, 120, 200, 400, 600, 800, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 Гц) и измерении коэффициента гармоник входное напряжение от генератора должно быть такой величины, чтобы на выходе усилителя получить номинальную мощность.

Система управления вибрационными установками СУВУ-3 (ГОСТ 5.1603—72) предназначена для управления электродинамическими вибростендами при испытании изделий на гармонические вибрации. Система состоит из прибора управления, вибропреобразовательного устройства и соединительных кабелей.

Прибор управления состоит из генератора синусоидальных напряжений, измерителя параметров вибрации и блока автоматического регулирования уровня вибрации (АРУ).

Вибропреобразовательное устройство состоит из аксельметра (вибропреобразователя) и согласующего усилителя с большим входным сопротивлением. Синусоидальное напряжение с генератора поступает на вход усилителя мощности, который питает подвижную катушку электродинамического вибростенда. Сигнал с вибропреобразователя, установленного на столе вибростенда или на испытуемом изделии, через согласующий усилитель поступает на вход измерителя параметров вибрации и далее в канал АРУ, где выпрямляется и регулирует величину отрицательного смещения на сетке лампы регулятора АРУ.

Выходное напряжение генератора обратно пропорционально величине отрицательного смещения. При любом изменении уровня вибрации, например из-за механических резонансов

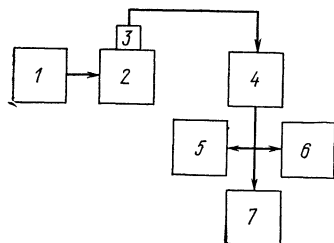
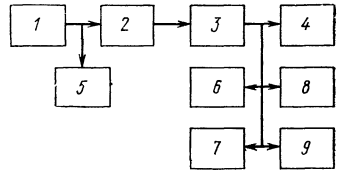


Рис. 37. Блок-схема проверки рабочего диапазона и погрешности частот, виброускорения и коэффициента гармоник виброускорения:

1 — усилитель и пульт управления вибратором СУПВ-0,1А; 2 — вибратор ВЭД-10А; 3 — вибропреобразователь образцовый типа Д; 4 — вольтметр повышенной точности ВЗ-7; 5 — измеритель нелинейных искажений С1-6; 6 — осциллограф С1-19Б; 7 — частотомер Ф552А

Рис. 38. Блок-схема проверки неравномерности амплитудно-частотной характеристики вибростенда:

1 — генератор ГЗ-33; 2 — усилитель СУПВ-0,1А; 3 — амперметр Т-18; 4 — эквивалент нагрузки; 5 — ламповый милливольтметр ВЗ-13; 6 — измеритель нелинейных искажений С6-1А; 7 — частотомер Ф552А; 8 — осциллограф С1-19Б; 9 — вольтметр повышенной точности ВЗ-7.



вибростенда, выходное напряжение генератора изменяется так, что восстанавливается первоначальный уровень вибрации.

Подготовка стенда к консервации, консервация и переконсервация проводятся согласно требованиям ГОСТ 9.014—78 и ОСТ 25.4—70.

Некоторые схемы электродинамических вибростендов [11] приведены на рис. 41.

Вибростенды с электродинамическим приводом строят по принципу электродинамического громкоговорителя (рис. 41, а). В силовой подвижной катушке 5 проходит переменный ток от звукового генератора. Взаимодействуя с магнитным полем постоянного магнита 4 или электромагнита, катушка вместе с платформой 2, подвешенной на плоских пружинах с серьгами 3, колеблется в направлении продольной оси с частотой переменного тока. С платформой связан преобразователь 1 для измерения вибрации. Вся система подвешивается на амортизирующих пружинах 6 с резиновыми прокладками. На таком вибростенде можно получить вибрации с частотой до 10 000 Гц и выше.

Электродинамические установки, в противоположность механическим, легко позволяют получать микроскопические амплитуды, но на них трудно достичь больших амплитуд, так как это связано с необходимостью увеличения мощности подвижной ка-

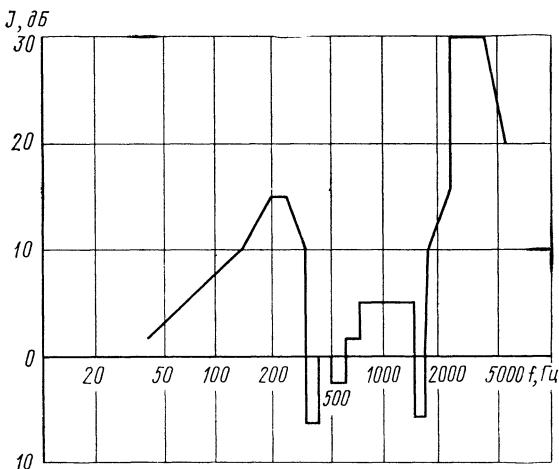


Рис. 39. График амплитудно-частотной характеристики вибростенда

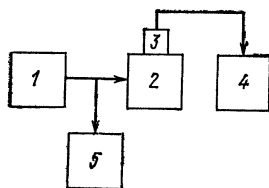


Рис. 40. Блок-схема определения рабочего диапазона частот, номинальной выходной мощности усилителя и коэффициента гармоник при номинальной выходной мощности в диапазоне частот 20—5000 Гц:

1 — усилитель и пульт управления вибратором; 2 — вибратор ВЭД; 3 — вибропреобразователь образцовый типа Д, 4, 5 — вольтметр повышенной точности

тушки и мощности, снимаемой со звукового генератора (имеются установки на 5000 Вт).

На рис. 41, б приведена схема несколько более совершенной конструкции с трансформаторной подводкой питания и воздушным охлаждением.

Амплитуда вибрации может быть значительно повышена при подстройке в резонанс частоты собственных колебаний подвесной системы и частоты питающего напряжения. Схема такой конструкции приведена на рис. 41, в. Плоские пружины 2 жестко связаны одними концами с силовой катушкой 4 и опираются другими концами на ролики 3, которые при помощи червяка с ручкой (на рисунке не показаны) могут сближаться, удаляться и закрепляться в любом месте. Таким образом, изменяя коэффициент упругости пружин, можно плавно подстраивать частоту собственных колебаний системы в пределах 10—150 Гц. При более высоких частотах плавная подстройка затруднена, так как начинают сказываться собственные частоты деталей конст-

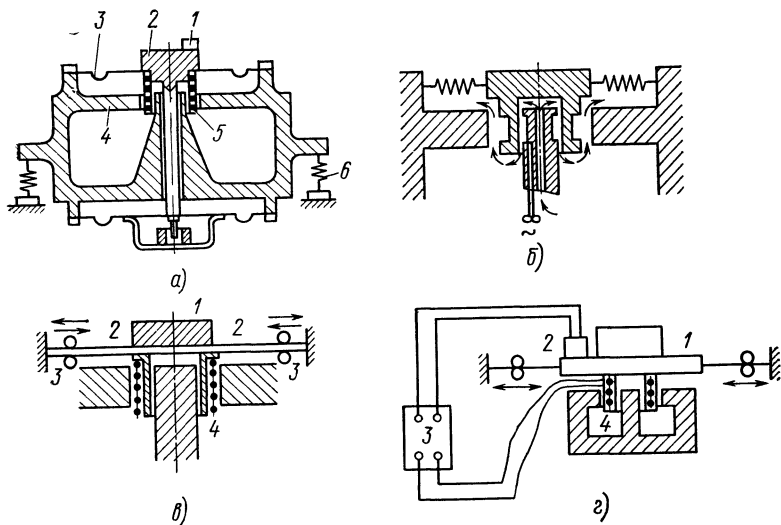


Рис. 41. Схемы электродинамических вибростендов:

а — типовая схема; б — с трансформаторным питанием и принудительным охлаждением; в — с настраиваемой подвеской; г — с самовозбуждением

рукции. Тем не менее работа с таким стендом возможна до частоты 500 Гц, а в отдельных случаях и значительно выше.

Электродинамические стенды с резонансной подстройкой могут иметь привод с самовозбуждением. На платформе 1 (рис. 41, з) устанавливается дополнительный вибропреобразователь 2, напряжение с которого через усилитель 3 подается на силовую катушку 4. Таким образом, стенды с самовозбуждением не требуют генератора звуковой частоты, однако их рабочий диапазон уже, чем у стендов с внешним питанием.

5. ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ ВИБРАЦИОННЫЙ СТЕНД СТ-111/200

Трехкомпонентный стенд служит для создания механических колебаний в диапазоне частот 25—200 Гц в каждом из трех направлений по осям X , Y , Z или же одновременно во всех трех направлениях. Применяется стенд для испытания на вибрационном воздействии различных объектов массой до 30 кг.

Стенд СТ-111/200 (ГДР) предназначен для испытаний объектов на вибропрочность и виброустойчивость в лабораторных и производственных условиях при малом (не более 10%) коэффициенте нелинейных искажений. Потребляемая мощность стенда не более 30 кВт. Допускается поддерживать амплитуду 2—3 мм в каждом поддиапазоне и в каждом направлении. Площадь рабочего стола 500×500 мм.

Для каждого колебания по трем направлениям предусмотрен комплект дисбалансных шайб. Он состоит из двух дисбалансных шайб, находящихся на противоположных сторонах коробки передачи. Одна из шайб каждой пары насажена с противоположной шайбой второй пары на сквозной вал так, чтобы дисбаланс обеих шайб совпадал в одном и том же направлении. Остальные две шайбы каждой пары вращаются противоположно. Это приводит к тому, что результирующий дисбаланс действует всегда перпендикулярно к плоскости рабочего стола. Противостоящие дисбалансы взаимно уничтожаются.

Вертикальное колебание создает нижний комплект дисбалансных шайб, а оба горизонтальных колебания — один из двух верхних комплектов.

Дисбалансные шайбы через шарнирный вал приводятся в действие тремя электродвигателями, установленными на фундамент. Частота вращения (до 18 000 оборотов в минуту), а значит, и частота колебаний регулируются трансформатором отдельно для каждого направления и измеряются измерителями частоты.

Стенд имеет три системы колебаний для направлений X , Y , Z . Они выполнены и расположены так, что вибрации в трех направлениях почти не зависят друг от друга. Системы представляют собой двухмассовые колебательные системы с дисбалансным возбуждением.

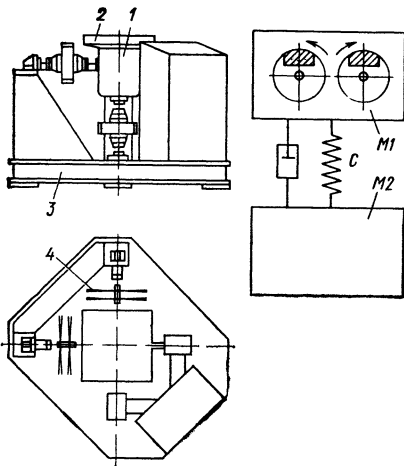


Рис. 42. Трехкомпонентный стенд, обеспечивающий независимое колебание по принципу двухмассового (M_1, M_2) колебателя с дисбалансным возбуждением:

1, 2 (M_1) — рабочий стол с коробкой передачи, 3 (M_2) — фундамент, 4 — дисбалансные шайбы

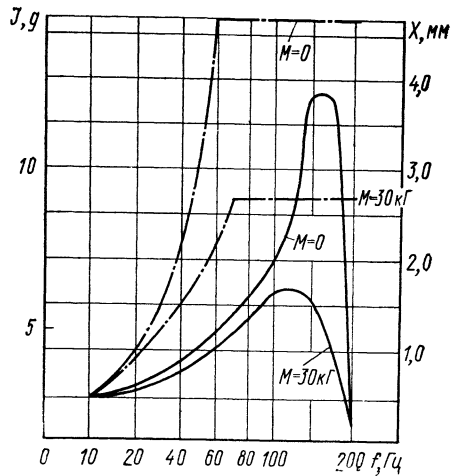


Рис. 43. График зависимости максимально допустимых амплитуд от частоты и нагрузки трехкомпонентного стенда

Принцип действия трехкомпонентного стенда можно представить как совершенно независимое колебание каждой отдельной системы по принципу двухмассовой колебательной системы с дисбалансным возбуждением (рис. 42). Массой M_1 служит рабочий стол с закрепленным на нем испытуемым объектом и коробка передачи, а массой M_2 служит фундамент. Обе массы соединены пружинным звеном.

Для получения желаемой частоты или ускорения требуется соответствующий дисбаланс, который для отдельных компонентов устанавливается при помощи дисбалансных шайб и на основании имеющихся диаграмм.

Как видно из графика зависимости максимально допустимых амплитуд от частоты f и массы M (рис. 43) и как подтверждает практика эксплуатации, стенд устойчиво и надежно работает в диапазоне 40—120 Гц при амплитудах 1,0—1,5 мм, что соответствует максимально допустимому ускорению 60 м/с².

Для нормальной и надежной работы трехкомпонентного стенда большое значение имеет его установка и крепление (рис. 44). Недостаточно качественные заливка бетоном и укрепление стенда даже при малой массе испытуемого объекта во

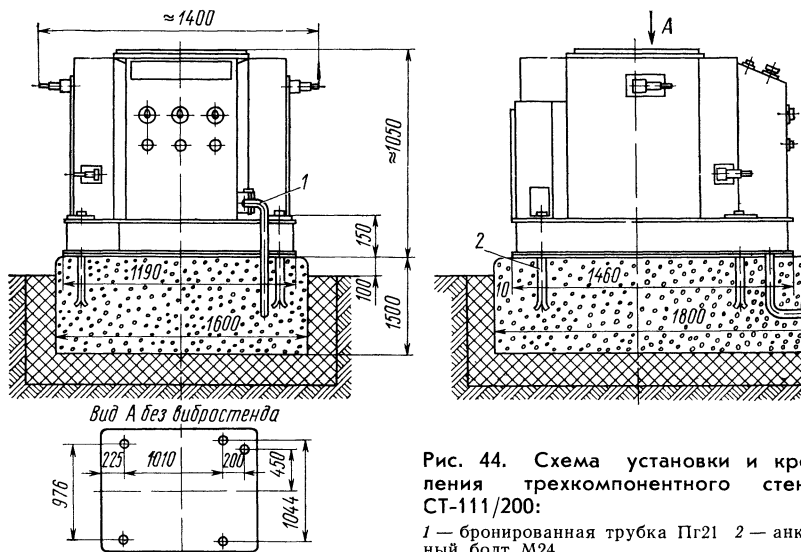


Рис. 44. Схема установки и крепления трехкомпонентного стенда СТ-111/200:

1 — бронированная трубка Пг21 2 — анкерный болт М24

время эксплуатации могут привести при продолжительной работе к перегрузке и дисбалансу привода.

Для измерения коэффициента детонации (ГОСТ 11948—78) может служить прибор 4-И, для измерения шума (ГОСТ 17187—71) — шумомер 2-го класса Ш-71, предназначенный для измерения эффективных значений уровня акустических шумов (основная погрешность прибора не ниже $\pm 2,0$ дБ).

6. УДАРНЫЕ СТЕНДЫ И КОПРЫ

Изделия при транспортировке и эксплуатации испытывают резкие изменения режима движения — удары, следствием которых могут быть различные механические повреждения. Основным параметром, характеризующим перегрузку, возникающую при ударе, является так же, как и при вибрации, максимальное ускорение.

Величины максимальных ускорений при ударе лежат в широких пределах, зависящих от условий эксплуатации. Так, гвоздь, вбиваемый в доску ящика при упаковке аппаратуры, испытывает ускорение 150—200 g; части корабля на расстоянии нескольких метров от удара в броню снаряда 12-го калибра испытывают ускорения порядка 350 g и т. д. Все это вызывает необходимость амортизации аппаратуры. Величина ускорения, возникающего при ударе, при амортизации зависит от перемещения изделия, так как энергия, приобретенная изделием в результате удара, тратится на работу, совершаемую изделием на пути, допускаемом элементом амортизации.

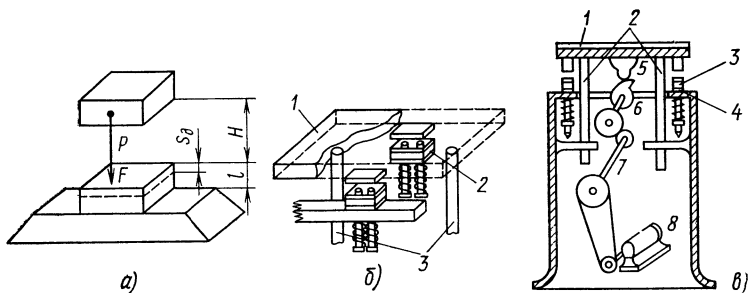


Рис. 45. Ударный стенд

Очевидно, что при падении изделия на различные амортизирующие основания изделие будет испытывать различные ускорения. Так, если амортизация груза в 9 кг при падении его с высоты 100 см допускает перемещение 3,6 см, то груз будет испытывать ускорение от удара, равное 55 g, если же перемещение за счет иной амортизации ограничить до 2,8 см, то ускорение возрастет до 175 g и т. д. Рассмотрим, что происходит при падении тела весом $G_{\Sigma} = G_0 + G$ с высоты H на какое-нибудь амортизирующее основание площадью F и толщиной l (рис. 45, а). Полная работа силы G_{Σ} при падении изделия описывается уравнением

$$A = A_{\text{пад}} + A_{\text{сжат}}$$

или

$$A = G_{\Sigma}H + G_{\Sigma}\delta,$$

где δ — сжатие основания, вызванное ударом тела (динамическое сжатие или деформация основания).

Вся эта работа потрачена на деформацию основания:

$$A_{\text{деф}} = \frac{\delta^2 \Delta z}{2l} = \frac{\delta^2 EF}{2l},$$

где E — модуль упругости материала основания.

Таким образом,

$$A = A_{\text{пад}} + A_{\text{сжат}} = A_{\text{деф}};$$

$$A = G_{\Sigma}H + G_{\Sigma}\delta = \frac{\delta^2 EF}{2l}.$$

Но так как вся работа, произведенная силой G_{Σ} на пути $H + \delta$, поглотилась или аккумулировалась элементом амортизации, то

$$G_{\Sigma}(H + \delta) - \frac{\delta^2 EF}{2l} = 0;$$

$$\delta^2 \frac{EF}{2l} - \delta G_{\Sigma} - G_{\Sigma}H = 0.$$

Разделив обе части уравнения на $2l/EF$, получим

$$\delta^2 - \frac{2G_{\Sigma}l}{EF} \delta - \frac{2G_{\Sigma}l}{EF} H = 0.$$

Но $\frac{G_{\Sigma}l}{EF} = s$ — статическое сжатие, т. е. сжатие основания, вызываемое только действием веса тела. Следовательно,

$$\delta^2 - 2s\delta - 2sH = 0;$$

$$\delta = s \pm \sqrt{s^2 + 2sH}; \quad \delta > s.$$

Так как обычно $H \gg s$, то

$$\delta \approx \sqrt{2Hs}.$$

Ускорение, вызывающее перегрузку тела, возникает при его движении с замедлением на пути δ . Рассматривая процесс перехода потенциальной энергии в кинетическую, легко доказать, что при свободном падении скорость в момент окончания падения $v^2 = 2gH$. Но при равнозамедленном движении на пути δ скорость в начальный момент $2a\delta$, где a — ускорение на пути δ . Очевидно, что $2gH = 2a\delta$, откуда $a = gH/\delta$.

Перегрузка, возникшая от действия амортизирующего основания, выражается в долях ускорения свободного падения:

$$J_{уд} = \frac{a}{g} = \frac{H\delta}{\delta^2} = \frac{H}{\sqrt{2Hs}}.$$

Таким образом, зная высоту свободного падения H и статическую деформацию $S_{д}$, зависящую от размеров и материала амортизатора и веса тела G_{Σ} , всегда можно вычислить ударную перегрузку, возникающую от удара свободного падающего тела на амортизирующее основание (рис. 45, а) [11].

Принцип свободного падения платформы с испытуемым изделием на амортизирующее основание был использован при конструировании установок для испытания аппаратуры на ударную перегрузку. Схема такой установки показана на рис. 45, б, где 1 — платформа; 2 — амортизирующее основание; 3 — направляющие. Очевидно, что для данной конструкции формула для расчета перегрузки принимает следующий вид:

$$J_{уд} = \frac{2H}{\delta} = \frac{\sqrt{2H}}{\sqrt{2Hs}} = \frac{\sqrt{2Hs}}{s},$$

ибо в этом случае сжатие каждого амортизирующего основания будет в 2 раза меньше.

Схема ударного стенда представлена на рис. 45, в. Платформа стенда 1 закреплена на направляющих штоках 2. От электродвигателя 8 через понижающую систему передач 7 приводится во вращение эксцентриковый кулачок 6, по которому

скользит упор стола 5. При вращении эксцентрикового кулачка стол периодически поднимается и падает вниз на амортизирующие подушки 3 (резиновые прокладки). В зависимости от жесткости прокладок платформа, падая на них с одной и той же высоты, сообщает закрепленному на ней испытываемому изделию различные ускорения и, следовательно, различные перегрузки. Для регулирования расстояния между платформой и резиновыми прокладками служат металлические пластины 4. Стенд оборудуется линейкой для измерения высоты падения платформы и счетчиком числа ударов, соединенным с валом кулачка.

Установки (копры) для испытания на одиночные удары могут быть двух видов: вертикальные и маятниковые.

В вертикальных копрах платформа с аппаратурой падает вертикально на основание из материала с известными механическими свойствами (сталь, свинец и т. п.). В маятниковых копрах изделие, помещаемое на конце вращающегося рычага, ударяется о неподвижное основание, поверхность которого покрыта материалом с известными механическими свойствами [11]. Если известна жесткость материала, покрывающего основание, то можно вычислить параметры удара: перегрузку и продолжительность удара.

Действительно, при падении тела весом G_{Σ} с высоты H справедливо уравнение

$$\frac{C\delta^2}{2} = HG_{\Sigma}. \quad (5)$$

С другой стороны, сила торможения, действующая на аппаратуру в момент удара

$$P_{\tau} = -ma = \frac{G_{\Sigma}}{g} a, \quad (6)$$

а деформация основания

$$\delta = \frac{P_{\tau}}{C} = \frac{G_{\Sigma}}{gC} a. \quad (7)$$

Из уравнения (5) — (7) следует, что

$$\delta^2 = \frac{2HG_{\Sigma}}{C} = \left(\frac{P_{\tau}}{C}\right)^2 = \left(\frac{G_{\Sigma}}{C}\right)^2 \left(\frac{a}{g}\right)^2,$$

откуда

$$J_{уд} = \frac{a}{g} = \sqrt{\frac{2HC}{G_{\Sigma}}}. \quad (8)$$

Продолжительность удара определяется из равенства

$$\delta = at^2,$$

откуда

$$t = \sqrt{\frac{\delta}{a}}.$$

Из уравнения (7) получим

$$a = \frac{C\delta g}{G_{\Sigma}}.$$

Тогда

$$t = \sqrt{\frac{G_{\Sigma}}{gC}}. \quad (9)$$

Пользуясь формулами (6), (8) и (9), можно определить параметры удара, развиваемые как ударным стендом, так и копром.

Основные характеристики отечественных ударных стендов и копров, применяемых для механических испытаний аппаратуры, приведены в табл. 15, а типы ударных установок по грузоподъемности — в табл. 16. Необходимо отметить, что с помощью копров можно создавать 20 000—40 000-кратные перегрузки.

Таблица 15

Основные характеристики ударных стендов и копров

Тип	Марка	Частота ударов в минуту	Коэффициент перегрузки	Потребляемая мощность, кВт	Грузоподъемность, кг
Ударный стенд	СУ-1 СУ-700	100	150	1,5	50
		80	7	3,0	700
Копер	К-100 К-200	Одиночный	1000	0,5	700
		Одиночный	2000	0,6	200

7. УСТАНОВКА УДАРНАЯ СУ-1

Ударная установка СУ-1 предназначена для испытания изделий на воздействие ударных нагрузок и состоит из станины стола, пульта управления, приводного механизма и пьезопреобразователя.

Принцип действия СУ-1 основан на свободном падении стола с испытуемыми изделиями и внезапным прекращением его падения.

Стол поднимается и опускается с помощью кулачка специального профиля, вращающегося приводным механизмом.

Типы ударных установок по грузоподъемности

Тип ударной установки по максимальной грузоподъемности	Максимальная грузоподъемность, кг	Габаритные размеры стола, мм	Тип ударной установки по максимальной грузоподъемности	Максимальная грузоподъемность, кг	Габаритные размеры стола, мм
I	25	300×300	IV	250	700×700
II	50	300×300			1000×1000
		500×500	V	500	1000×1000
III	100	500×500			1400×1400
		700×700	VI	1000	1400×1400
					1700×1700

Свободное падение стола внезапно прекращается, когда стол попадает на специальные упоры.

Основные параметры ударной установки (ГОСТ 5.697—70) приведены ниже

Ускорение ударных нагрузок, м/с ²	10—150
Число ударов в минуту	10—100
Напряжение питания установки, В	200±22
Максимальная электрическая мощность, потребляемая установкой, кВт	1
Размеры стола, мм	280×450
Масса установки, кг	296±10
Масса испытуемых изделий, кг, не более	50
Габаритные размеры, мм:	
ударного стенда	750×520×500
пульта управления	550×330×300
электрометрического каскада	142×115×88

Установка обеспечивает плавную регулировку числа ударов в минуту (от 10 до 100) при нагрузке 500 Н и ускорении 150 g. При нагрузке 25 и 500 Н установка обеспечивает ступенчатую регулировку ускорения от 10 до 150 g со ступенями 10; 15; 25; 35; 50; 75; 100; 150 g при длительности ударного импульса от 2±0,5 до 15±2 мс (2±0,5 мс при 150 g; 15±2 мс при 10 g).

При испытании аппаратуру закрепляют на столе стенда так, чтобы центр тяжести аппаратуры совпадал с осью стенда.

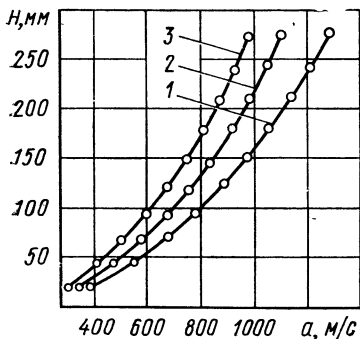


Рис. 46. Тарировочный график максимального ускорения в зависимости от высоты H падения стола:

1 — без нагрузки; 2 — для изделия с массой 3, 6; 3 — для изделия массой 4,5 кг

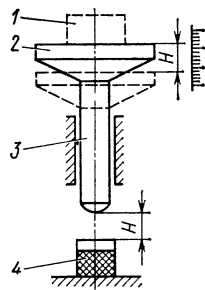


Рис. 47. Схема простейшей установки с падающей под влиянием собственного веса рабочей платформой с испытуемым изделием

В центре стола стэнда крепят пьезопреобразователь. Выход преобразователя подключают к осциллографу, который работает в режиме ждущей развертки.

Испытание проводят путем поочередной смены прокладок и замера ускорений.

Данные тарировки стэнда приведены в табл. 17. Тарировоч-

Таблица 17

Данные тарировки стэнда

Ускорение, g	25 кг		50 кг	
	Высота падения стола-стэнда, мм	Число и толщина резиновых прокладок, мм	Высота падения стола-стэнда, мм	Число и толщина резиновых прокладок, мм
10	11	4×2,5	—	—
15	16	2×2,5	7	5×2,5
25	28	2×2,5	13	3×2,5
35	17,5	1×2,5	25	3×2,5
50	20	1×2,5	17	1×2,5
75	25	1×2,5	23	1×2,5
100	21	1×1,5	19	1×1,5
120	25	1×1,5	23	1×1,5
150	30	1×1,5	25	1×1,5

ный график максимального ускорения в зависимости от высоты H падения стола представлен на рис. 46.

Ускорение в m/s^2 вычисляют по формуле

$$a = \frac{NK}{P},$$

где N — амплитуда ударного импульса, замеренная по осциллографу, мм; K — коэффициент усиления осциллографа, мВ/мм; P — чувствительность преобразователя (амплитудное значение), мВ.

Измеренная величина ускорения должна отличаться от установленной нормативно-технической документацией не более чем на $\pm 20\%$. Допустимый разброс в $\%$ ударных ускорений в зависимости от площади в м^2 рабочего стола приведен ниже.

0,1	± 5	2,0	± 20
0,25	± 10	3,0	± 20
0,5	± 10	5,0	± 10
1,0	± 15		

Комплект прокладок должен соответствовать значениям, указанным в инструкции по эксплуатации установки.

Допускается испытания проводить при различных ускорениях (выборочно).

Длительность ударного импульса вычисляют по формуле

$$\tau = \tau' n,$$

где τ' — длительность временной отметки осциллографа; n — число временных отметок, укладываемых в основании ударного импульса.

В установках со свободно падающей платформой (тип СУ-1, К-200 и др.) зависимость параметров ударного ускорения от массы испытуемого изделия значительно меньше, чем в установках с принудительным движением платформы (тип STT-500 и др.).

Испытательные ударные стенды с вертикальными направляющими получили особенно широкое распространение. Варьируя типы конструкции и размеры, используя различные амортизаторы, удалось создать большой ряд моделей.

На рис. 47 показана схема простейшей установки с падающей под влиянием собственного веса рабочей платформой 2 с испытуемым изделием 1. Платформа укреплена на вертикальном штоке 3, перемещающемся в прямолинейных направляющих (одна степень свободы) параллельно самому себе. Падение происходит с заданной высоты H на подкладку 4 определенной жесткости. Имеет место прямой центральный удар.

Высота падения H в мм в установках со свободным падением платформы определяется как разность максимальной высоты падения H_0 и суммарной толщины прокладок (например, типов СУ-1 и SPS-80).

Применительно к указанной схеме с пружинными амортизаторами для приближенных подсчетов максимального ускорения J справедлива формула

$$J = 20 \frac{H}{X},$$

где X — динамическое сжатие амортизатора, м.

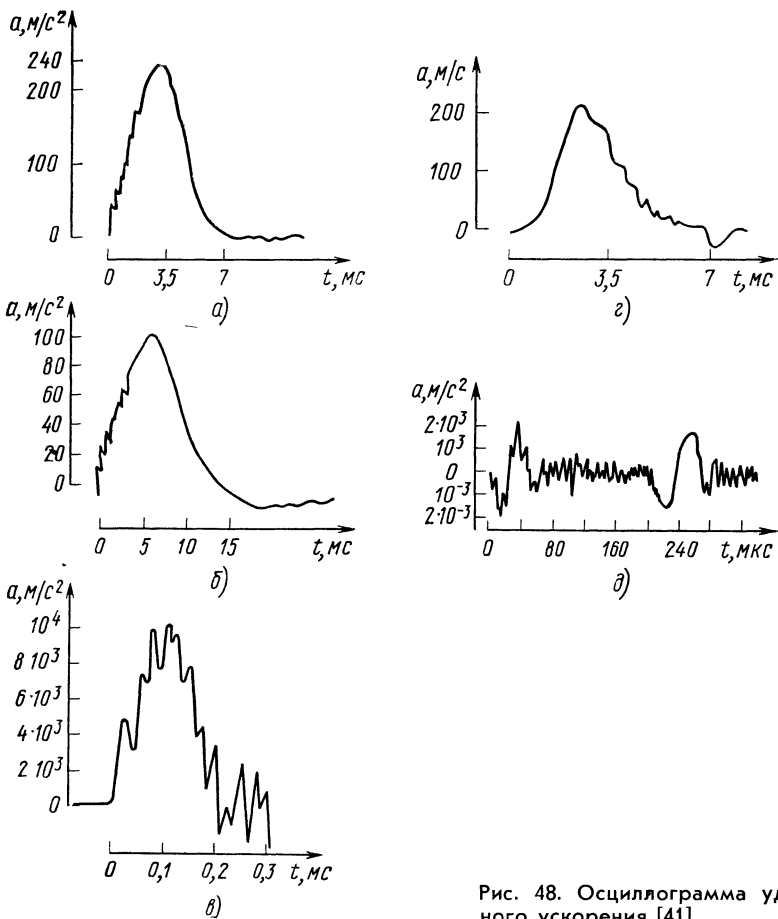


Рис. 48. Осциллограмма ударного ускорения [41]

Коэффициент преобразования акселерометра в $\text{мВ} \cdot \text{с}^2$ (для пиковых значений напряжения и ускорения) вычисляют по формуле

$$K = K_u K_a,$$

где K_u — коэффициент преобразования по напряжению используемого измерительного преобразователя (при значениях емкости кабелей и входа СУ, которые имели место при измерении); K_a — коэффициент преобразования СУ (при том значении частоты среза фильтра, которое было установлено при данном измерении).

На рис. 48, а, б приведены осциллограммы ускорений в центре платформы испытательной ударной установки СУ-1, полученные с помощью акселерометра, практически не вносящего

динамической погрешности. Условия измерений приведены ниже.

	Рис. 48,а	Рис. 48,б
Высота H свободного падения, мм	24	16
Высота h резинового упругого элемента, мм	7	15
Масса платформы, кг	45	45
Площадь S поперечного сечения упругого элемента, мм ²	4560	4560
Расчетное значение длительности, мс	8	12
Расчетное значение пикового ускорения, м/с ²	220	110
Расчетное значение деформации упругого элемента, %	35	30

На рис. 48, в приведена осциллограмма ускорений в точке упругого тела, лежащей на линии соударения. Соударяющиеся поверхности представляют собой пару сфера — плоскость. Условия измерений приведены ниже.

Начальная скорость, м/с	1,0
Радиус поверхности первого тела, м	0,2
Масса первого тела, кг	10
Масса второго тела, кг	3,3
Коэффициент Пуассона	0,3
Модуль сдвига, Па	$8 \cdot 10^{10}$
Расчетное значение длительности, мс	0,23
Расчетное значение пикового ускорения, м/с ²	$8,2 \cdot 10^3$

При падении платформы массой 20 кг с высоты около 1,8 м на свинцовый буфер получена осциллограмма ускорения пилообразной формы (рис. 48, г).

На рис. 48, д представлена осциллограмма ускорения на торце стержня длиной 500 мм и диаметром 15 мм, полученная с помощью измерительного преобразователя с собственной частотой около 80 кГц. На первом импульсе заметны наложенные колебания с указанной частотой; после двукратного прохождения стержня импульс сглажен; в промежутке между ними наблюдаются дисперсионные колебания с нарастающей частотой.

Значительное число примеров осциллограмм, полученных при измерениях параметров ударного движения, приведено в работах [8, 24, 25, 31, 41]. Схема ударного стенда в целом представлена на рис. 45, в. В практических условиях значение статического сжатия амортизирующего элемента, как правило, не измеряется, а стенд рассчитывается на применение определенных плоских резиновых прокладок (обычно толщиной 1,5—2 мм), габариты и сорт материала которых должны строго выдерживаться. В этом случае необходимо, чтобы платформа стенда с грузом имела вполне определенную массу, тогда перегрузка испытываемой аппаратуры будет зависеть только от высоты падения платформы, на которой крепится аппаратура.

Так как перегрузка испытываемой аппаратуры зависит от ускорения, возникающего при торможении движущегося тела амортизирующим элементом, а величина и постоянство торможения, в свою очередь, зависят от массы платформы с испытываемой ап-

паратурой и усталости материала резиновых прокладок, то необходимо всегда догружать стенд до полной расчетной массы (недогрузка может вызвать увеличение ускорения) и менять резиновые прокладки через каждые 200 000 ударов.

В работе, выполненной в институте легких конструкций (ГДР) [55], обосновывается необходимость и целесообразность создания и применения электрогидравлических стендов для исследования изделий, масса которых близка или превышает 100 кг. В табл. 18 приведены основные показатели электродинамических и механических стендов, разработанных и широко применяемых в ГДР.

Таблица 18

Перечень серийно выпускаемых в ГДР испытательных стендов [55]

Стенд	Максимальное значение массы испытуемого изделия, кг	Частотный диапазон виброускорений, Гц	Максимальная амплитуда ускорения при полной нагрузке, g	Максимальное усилие, прикладываемое к изделию, Н	Режим качающейся частоты	Специальный фундамент
Электродинамический вибростенд: ST5000	60	25—5000	2	3000	Есть	Нет
ST10000	10	10— —10 000	2,5	300		
Механический вибростенд: ST80/3	500	3—80	5	25 000	Нет	Есть
ST80	30	20—80	5	1 500		Нет
ST200	30	80—200	12	3 600		Есть Нет
ST-111/200	30	20—200	8	2 400		
Специальный вибростенд с двумя вибраторами	Зависит от значения виброускорения	5—50	Зависит от значения массы изделия	16 000— —18 000		
Ударный стенд: StT500	400	—	5—500	—	—	Есть
SPS80	50	—	150	—	—	—

Сопоставляя действующие в ГДР нормативные требования, устанавливающие частоту и амплитуду при вибрационных испытаниях, с показателями серийно выпускаемых в ГДР испытательных стендов, приходим к следующим выводам.

При массе испытуемого изделия и крепежа $m < 60$ кг виброиспытания практически не ограничены, кроме частот $f < 20$ Гц, при которых требуется применение второго стенда, не имеющего синусоидальной характеристики.

При массе $60 < m < 500$ кг испытания при синусоидальном режиме неосуществимы; наибольшая частота $f < 80$ Гц; часто испытания возможны только в одной плоскости.

При массе $500 < m < 800$ кг испытания при синусоидальном режиме неосуществимы; наибольшая частота $f < 50$ Гц; испытания возможны только в одной плоскости; объекты с $m = 800$ кг могут испытываться при амплитудах не более 2 g.

При массе $m > 800$ кг проведение испытаний невозможно.

При ударных испытаниях при массе $m < 400$ кг испытания не ограничены только для одной плоскости; при $m > 400$ кг испытания осуществимы только при помощи специальных дорожных стоящих стендов.

8. ЦЕНТРИФУГИ

Центрифуги, создающие в горизонтальной плоскости линейные (центробежные) радиально направленные ускорения, характеризуются следующими эксплуатационными параметрами:

- максимальным линейным ускорением;
- скоростью нарастания линейных ускорений;
- допустимой нагрузкой.

По максимальному линейному ускорению различают четыре категории центрифуг:

	I	II	III	IV
Максимальная величина линейного ускорения g	25	50	100	200

По величине допустимой нагрузки и размерам рабочего стола центрифуги делятся на три типа [12] (табл. 19).

С помощью специальных устройств в системе управления центрифуги (тормозном устройстве, при реостатном управлении

Т а б л и ц а 19

Типы центрифуг

Тип центрифуги	Допускаемая нагрузка, Н	Категория центрифуги	Размеры рабочего стола, мм	Скорость разгона рабочего стола, м/с
I	98	I, II, III, IV	200×200 300×300 500×500	До 2,5; 15; 25; 50
II	490	I, II, III	500×500 700×700	До 0,5; 2; 5; 15; 25
III	981	I, II	700×700 1000×1000	До 0,5; 5; 15

и др.) обеспечивается определенное увеличение (при разгоне) или уменьшение (при торможении) скорости рабочего стола. Для каждого типа центрифуг установлены пределы скоростей (табл. 19).

Так как аппаратура и средства измерения имеют, как правило, небольшую массу и сравнительно малые габаритные размеры, то для их испытания целесообразно пользоваться центрифугами I и II типа.

К центрифугам предъявляют следующие основные требования:

наличие токосъемного устройства, позволяющего соединять электрические цепи испытуемых приборов с неподвижной частью электрической схемы;

возможность подвода к испытуемым приборам пневмопитания под заданным рабочим давлением или необходимого вакуума;

возможность измерения величины развиваемых центробежных ускорений и скорости их нарастания с помощью специальных измерительных приборов;

обеспечение динамической уравновешенности вращающихся элементов набором соответствующих балансов;

обеспечение малого аэродинамического сопротивления, снижаемого при помощи специального козырька-обтекателя;

достаточно большой срок службы (до капитального ремонта), обычно не менее 3000 ч.

Зависимость амплитуды ускорения, выраженной в единицах ускорения свободного падения, от интересующих нас факторов можно получить следующим образом.

Если учесть, что $\omega = \pi n / 30$, а амплитуда ускорения $J = R\omega^2/g$, то

$$J = \frac{\pi^2 n^2 R}{900g},$$

откуда $n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{Jg}{R}}$. Номограмма (рис. 49) позволяет найти любую из трех величин (J , n , R) при известных двух [12].

При испытании приборов на центрифуге изменение амплитуды ускорения достигается двумя способами: 1) изменением скорости вращения несущей балки центрифуги; 2) перемещением испытуемого прибора вдоль несущей балки, т. е. изменением радиуса вращения R .

Для нормальной работы центрифуги на диаметрально противоположной стороне платформы крепится груз-противовес массой Q кг. Расстояние от центра вращения платформы до центра тяжести груза-противовеса рассчитывается по формуле

$$r = \frac{G_{\Sigma} R}{Q},$$

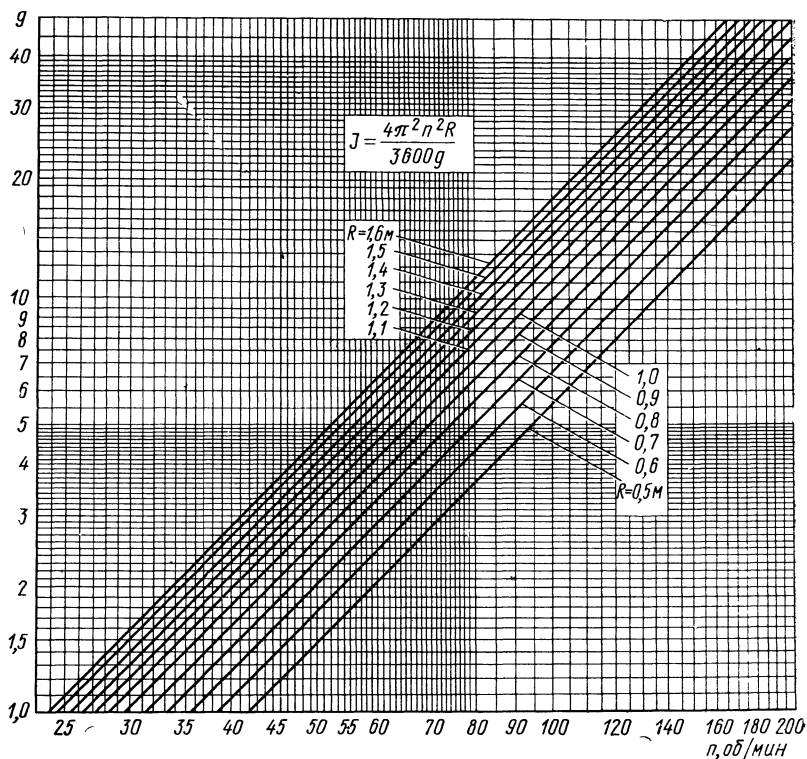
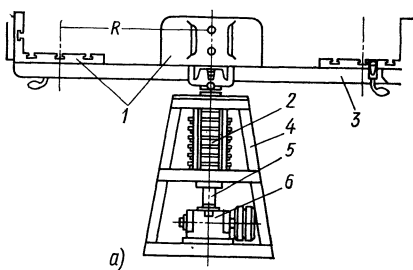


Рис. 49. Номограмма ускорения центрифуги

где G_{Σ} — масса испытуемого изделия с креплением; R — расстояние от центра тяжести изделия до центра вращения платформы.

Общий вид такой центрифуги показан на рис. 50, а.



Через станину 4, сваренную из уголка 50×50 , проходит вал 5, при помощи которого вращается стол 3, представляющий собой крестовину, сваренную из швеллера № 12.

На концах крестовины размещены площадки 1 для крепления испытуемых приборов и грузов-противовесов. Площадки могут перемещаться вдоль

Рис. 50. Центрифуга:

а — общий вид; б — конструкция кольца коллектора

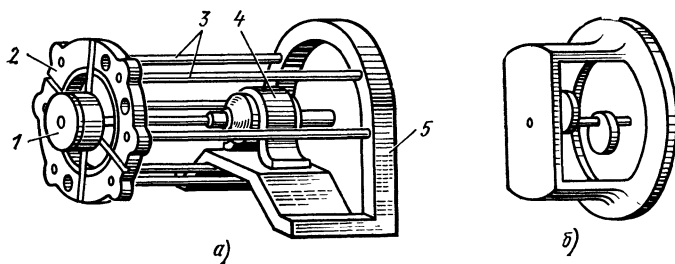


Рис. 51. Двухкомпонентный бигармонический стенд:

а — общий вид; *б* — вибратор

крестовин и закрепляться в любом месте при помощи специальных ручек-зажимов. Вал приводится во вращение от электродвигателя постоянного тока мощностью 1 кВт через редуктор *б* с червячной передачей (передача 1:5). Частота вращения 1480 об/мин.

Испытуемые приборы при помощи штепсельного разъема и коллектора с щетками 2 включаются в испытательные схемы.

Габаритные размеры станины 500×500×650, максимальное расстояние от центра вращения до центра площадок $R=600$ мм; длина крестовины 1640 мм. Общая высота центрифуги 950 мм.

На описанной центрифуге изделиям массой до 50 кг можно сообщить центробежные ускорения до 60 *g*.

Конструкция красномедного контактного кольца коллектора с двумя меднографитными щетками показана на рис. 50, б.

Заслуживает внимания описанная в литературе [6, 20] вибрационная установка, на которой можно получать как плоскостные круговые или эллиптические вибрации, так и прямолинейные — вертикальные, горизонтальные или наклонные (рис. 51).

На массивном литом основании 5 укреплены шесть горизонтальных стальных стержней 3, к концам которых привинчена алюминиевая платформа 2. На этой платформе крепятся испытуемые приборы. В центре платформы находятся два эксцентрика, закрытые кожухом 1. Электродвигатель постоянного тока 4 связан с эксцентриками при помощи карданного вала. Эксцентрики соединены между собой зубчатой передачей, расположенной за плоскостью вибрирующей платформы, и вращаются вокруг общей оси в разные стороны. Каждый эксцентрик двойной, поэтому эксцентриситет у них можно изменять от нуля до некоторого определенного значения. В результате изменения эксцентриситета изменяются и виды вибрации, которые можно получить в плоскости платформы. Если эксцентриситет одного из эксцентриков установить на нуль, то платформа будет давать круговые вибрации, направленные по часовой стрелке, или наоборот. Если эксцентриситет обоих эксцентриков установить оди-

наково, то можно получить прямолинейные вибрации — вертикальные, горизонтальные или наклонные.

Частоту вибраций платформы определяют тахометром, связанным с валом электродвигателя.

При испытании изделий на устойчивость к воздействию центробежных ускорений необходимо помнить, что вращающаяся центрифуга представляет серьезную опасность для обслуживающего персонала и для окружающего оборудования. Если при испытании изделий на вибростенде движение испытуемого изделия происходит по вертикали и поэтому разрушение его не представляет опасности для окружающих, то при испытании на центрифуге отлетающие по горизонтали части и детали разрушающегося изделия могут нанести серьезные повреждения обслуживаемому оборудованию и даже стенам помещения, где находится центрифуга. Кроме того, вращающийся стол, ферма или крестовина центрифуги сами по себе являются опасными для окружающих. Поэтому если при обслуживании вибростендов можно ограничиться мерами безопасности, обычными при обслуживании всякого работающего механизма, то при обслуживании центрифуги необходимо уделять технике безопасности самое серьезное внимание. Центрифугу желательно устанавливать в отдельном помещении, двери которого должны быть заблокированы с пусковым механизмом мотора центрифуги. Центрифугу необходимо окружать надежным ограждением так, чтобы оторвавшиеся части или детали испытуемого изделия не могли вызвать нарушений или повреждений окружающего персонала и оборудования. Центрифугу можно углубить в цементированную яму в полу или, что значительно удобнее, окружить ограждением с галереей наверху, на которой нужно сосредоточить всю пусковую и измерительную аппаратуру. Ограждение, безусловно, должно быть рассчитано таким образом, чтобы выдержать удар, равный массе наиболее тяжелого испытуемого изделия, помноженной на максимальное ускорение, создаваемое центрифугой.

Основные характеристики центрифуг, применяемых для механических испытаний аппаратуры, приведены в табл. 20.

Т а б л и ц а 20

Основные характеристики центрифуг

Радиус балки R , мм	Перегрузка J , g	Потребляемая мощность, кВт	Грузоподъемность, кг
300	25	0,1	2
350	150	0,9	2
1300	50	2,5	20
2000	20	3,2	100

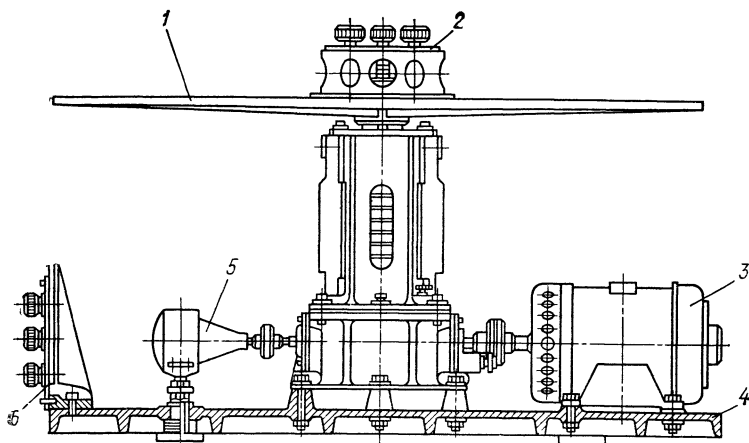


Рис. 52. Малогабаритная центрифуга

Малогабаритная центрифуга, общий вид которой приводится на рис. 52, служит для испытания на воздействие постоянного ускорения, прикладываемое к деталям, узлам и малогабаритной аппаратуре.

Центрифуга представляет собой цилиндрическую конструкцию, кожух которой выполнен из листовой стали. На лицевой стороне кожуха размещены: прибор 5, указывающий частоту вращения диска 1 центрифуги, на котором устанавливаются испытуемые изделия; ручки управления работой центрифуги; сигнальные лампочки.

Основание центрифуги представляет собой литую плиту с приливами, на которых установлен редуктор центрифуги. Червяк редуктора с помощью эластичной муфты соединяется с электродвигателем 3, находящимся на литом основании 4 центрифуги. Имеется плита 2 с зажимами для подключения испытуемых изделий.

Для испытания отдельных узлов и деталей, а также малогабаритной аппаратуры под током, на валу центрифуги помещен коллектор, имеющий восемь изолированных колец. Специальный щиток 6 на основании центрифуги служит для подведения к испытуемой аппаратуре необходимого питания. На верхней части вала установлен диск 1 с платой для подключения узлов или аппаратуры.

Питание центрифуги осуществляется от сети переменного тока 50 Гц 220 В; потребляемая мощность 1000 Вт; развиваемое ускорение — до 25 g при максимальной массе испытуемого изделия до 12 кг.

9. СТЕНД ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ ТРЯСКИ

Испытание на транспортирование обычно проводится непосредственным транспортированием аппаратуры, упакованной в тарные ящики, на автомобиле, движущемся по булыжным и грунтовым (проселочным) дорогам. Если позволяющая масса, габаритные размеры и конструкция аппаратуры, то испытание непосредственным транспортированием можно заменить испытаниями на вибрационных и ударных стендах. Кроме того, можно использовать стенд, имитирующий транспортную тряску. Кинематическая схема такого стенда приведена на рис. 53.

Стенд состоит из станины 11 размером $1500 \times 600 \times 650$ мм, к которой на пружинах 2 подвешена платформа 12, заполненная 200 кг балласта (сухой песок в смеси с металлической стружкой). На платформе укреплен двигатель 1 типа ПН-5 (1,05 кВт; 2000 об/мин), питающийся от сети постоянного тока 110 В. Двигатель через червячную передачу 14 приводит во вращение зубчатые колеса 7 и 9, вращающиеся в разные стороны. На одной оси с зубчатыми колесами сидят звездочки 6 и 8, связанные цепями Галля (5/8) с звездочками 3. Последние приводят во вращение колесные пары 4, вращающиеся, ввиду разного числа зубьев колес 7 и 9, с разными скоростями. Каждое колесо 4 имеет по пять выступов высотой 10 мм. На колесные пары опираются тележки 5, состоящие из двух пар резиновых роликов каждая и связанные со столом 10, к которому крепится испытуемое изделие. Натяжение цепей регулируется специальными натяжными звездочками 13. Для измерения частоты колебаний стола в стенде имеется тахогенератор, сидящий на одном валу с двигателем и связанный с частотомером. Стенд позволяет испытывать изделия массой до 50 кг при ускорении до $3,5 g$.

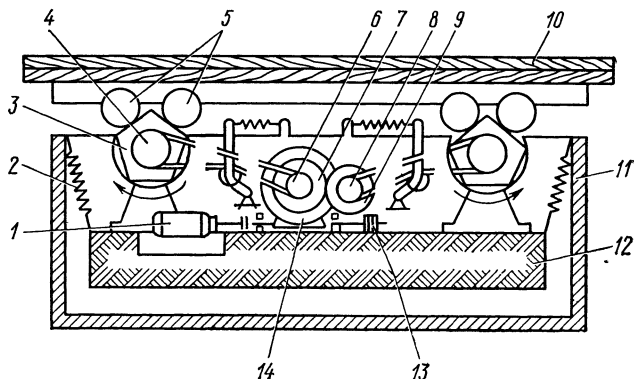


Рис. 53. Кинематическая схема стенда транспортной тряски

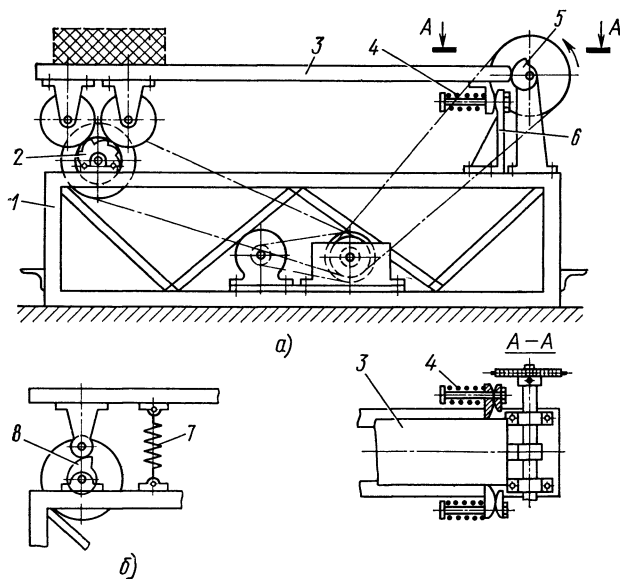


Рис. 54. Схема установки с пружинами для вертикально и горизонтально направленных ударов:

a — сборка с роликами; *б* — со сменным кулачком

Еще одну группу составляют стелы, создающие колебания и ударные сотрясения, различным образом ориентированные в пространстве. Направление ударов в большинстве случаев соответствует двум взаимно перпендикулярным составляющим. Удары в зависимости от регулировки происходят либо одновременно, либо следуют один за другим через малый интервал времени.

Большинство моделей подобных установок представляет собой конструктивное сочетание отдельных элементов, о которых сказано ранее. В частности, используются узлы для осуществления горизонтальных и вертикальных ударов.

Для иллюстрации варианта конструкции с пружинами приведем описание одной модели, предназначенной для лабораторных испытаний. Путем несложных перестановок деталей на ней можно получать различные сотрясения. Принципиальная схема варианта сборки для осуществления ударов в двух направлениях для нагрузки массой до 8 кг показана на рис. 54, *a*. Жесткая сварная станина 1 удерживает кронштейн 6 и систему кулачков 2 и 5. От электродвигателя с редуктором передается вращение на оба кулачка с помощью втулочно-роликовой цепи.

Рабочая платформа 3 с одного конца подбрасывается кулачком 2. При другом случае сборки со сменными кулачками (рис. 54, *б*) она поднимается сменным кулачком 8 и, падая, испытывает удары. Для ускорения падения может применяться

ся пружина 7. Другой конец доски удерживается с помощью двух болтов с пружинами 4, играющими роль шарниров и одновременно обеспечивающих при работе кулачка 5 продольное перемещение платформы на величину до 15 мм. Платформа возвращается в свое исходное положение под действием пружин, при встрече с кронштейном возникает горизонтально направленный удар.

Выбор стенда и его параметров осуществляется в зависимости от условий транспортирования изделий в соответствии с воздействующими механическими факторами, массой упаковки с изделием (до 50 кг) и режимами испытаний (ГОСТ 23216—78):

Режим испытаний					
Пиковое ударное ускорение		Длительность действия ударного ускорения, мс	Число ударов для условий транспортирования, тыс.		
g	м/с ²		Легкие (Л)	Средние (С)	Жесткие (Ж)
При воздействии вертикальных нагрузок					
75	735	2—6	0,04	0,2	2
15	147	2—15	0,4	2	20
10	98,1	2—15	2	8,8	88
При воздействии горизонтальных нагрузок (продольных и поперечных)					
12	118	2—15	0,04	0,2	2

Упаковку выбирают в зависимости от конструктивных особенностей изделий, условий хранения, транспортирования и сроков сохраняемости.

Основные технические данные для различных транспортных средств, определяющие допускаемые габаритные размеры тары и массу груза, выбирают по ГОСТ 23170—78Е.

Для контроля (испытания) упаковки упакованных изделий предусматриваются правила приемки, контроль при приемодаточных испытаниях, методы контроля (испытания) и обработки результатов контроля (испытания).

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Перед народным хозяйством страны поставлена задача дальнейшего повышения эффективности производства и всемерного улучшения качества продукции. В связи с этим значительно возросла и актуальность метрологического обеспечения средств испытаний, наибольший удельный вес среди которых составляют виброиспытательные стенды, предназначенные для испытаний изделий на вибропрочность и виброустойчивость. Достоверность определения количественных показателей зависит от свойства и качества применяемых средств испытаний, которые обеспечиваются периодической метрологической аттестацией виброиспытательных стендов в процессе эксплуатации, а также после ремонта.

Вопросы измерения параметров вибраций и ударных ускорений рассмотрены в работах [4, 8, 16, 30, 33, 41].

Механические воздействия, влияющие на аппаратуру в процессе эксплуатации и имитируемые испытательным оборудованием во время проведения механических испытаний, принято классифицировать на три основные группы: вибрации, удары и центробежные (линейные) воздействия. Механические воздействия той или иной группы имеют свои специфические параметры, подлежащие измерению во время проведения испытаний. Общим параметром для всех групп механических воздействий является вызываемая ими перегрузка аппаратуры.

Разработаны государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема (ГОСТ 8.137—75, ГОСТ 8.138—75) для средств измерений пиковых ускорений при ударном движении. ГОСТы устанавливают эталоны единиц ускорения, скорости и длины при ударном движении, комплекс основных средств измерений, основные метрологические параметры эталонов.

В соответствии с параметрами, характеризующими механические воздействия, выбираются необходимые измерительные приборы.

К средствам, предназначенным для получения, сбора и преобразования первичной информации вибрационных и ударных ускорений, относятся чувствительные элементы, преобразователи.

Преобразователи характеризуются: законом изменения вы-

ходной величины y в зависимости от входного воздействия (входной величины x), пределами изменений входных (x_{\max} — x_{\min}) и выходных величин (y_{\max} — y_{\min}); чувствительностью $S = \Delta y / \Delta x$, порогом чувствительности (значением минимального воздействия, на которое реагирует преобразователь) и временными параметрами (постоянными времени). В соответствии с классификацией, принятой в Государственной системе приборов и средств автоматизации (ГСП), преобразователи относятся к техническим средствам непрерывного действия для контрольно-измерительной информации. Преобразователи являются одним из основных элементов в устройствах измерения вибрационных и ударных параметров.

Выбор методов обработки результатов наблюдений при измерениях часто представляет собой сложную задачу, особенно при метрологических исследованиях высокой точности.

В метрологии методам обработки результатов наблюдений (ГОСТ 8.207—76) при прямых (косвенных) измерениях уделяется большое внимание [21]. Теоретической основой указанных методов является теория вероятностей и математическая статистика.

Существует большое число различных методов обработки результатов наблюдений, и выбор соответствующего метода, как правило, представляет значительные трудности. Кроме того, от метода обработки результатов наблюдений зависит результат измерения и оценка его погрешности. Поэтому для метрологии, где особенно важна согласованность результатов, необходим единый подход.

Для количественного определения (измерения) того или иного параметра, характеристики продукции, процесса, явления (т. е. любого объекта измерения) необходимо:

выбрать параметры, характеристики, которые определяют интересующие нас свойства объекта;

установить степень достоверности, с которой следует определять выбранные параметры, установить допуски, нормы точности и т. д.;

выбрать методы и средства измерения для достижения требуемой точности;

обеспечить высокое качество измерений, т. е. их единство и требуемую точность, для чего результаты измерений должны быть выражены в указанных единицах, погрешность измерений должна быть известна и не превышать пределов установленных значений.

Всякий результат наблюдений, связанных с измерениями, содержит ошибки (погрешности) различного происхождения. По своему характеру ошибки делятся на три группы: грубые, случайные и систематические.

Грубые ошибки возникают в результате просчета, неправильного снятия показаний измерительного прибора.

Случайные ошибки обуславливаются различными случайными причинами, действующими при каждом измерении непредвиденным образом то в сторону уменьшения, то в сторону увеличения результатов.

Частные значения случайных ошибок при заданном измерении нельзя заранее предсказать, их можно установить только в результате специально поставленного опытного исследования. От измерения к измерению эти погрешности изменяются без какой бы то ни было видимой закономерности. Случайные ошибки при повторных измерениях могут иметь разные значения и знак. К случайным ошибкам измерений относятся: погрешность вследствие вариации прибора; погрешность округления при отсчете; погрешность от параллакса; погрешности, вызванные случайными колебаниями напряжения сети, частоты, температуры внешнего магнитного поля и др.

Мы не можем заранее сказать, какова будет случайная ошибка данного измерения. Но из этого вовсе не следует, что случайные ошибки не поддаются оценке или их нельзя уменьшить. Например, применение зеркальной шкалы почти полностью устраняет случайную ошибку, вызванную параллаксом.

Систематическая погрешность измерения остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины (ГОСТ 16263—70). К систематическим ошибкам измерения относятся: погрешность от несоответствия действительного значения меры, с помощью которой выполняют измерения, ее номинальному значению; погрешность вследствие постепенного уменьшения силы рабочего тока в цепи электроизмерительного потенциометра и др.

Систематические ошибки все время либо преувеличивают, либо преуменьшают результаты измерений. Они возникают от определенных причин (неправильной установки измерительных приборов, преобразователей, влияния окружающей среды и т. д.), систематически влияющих на измерения и изменяющих их в одном направлении. Систематические ошибки оценивают при помощи методов, выходящих за пределы математической статистики.

Изучением грубых и случайных ошибок занимается теория ошибок, которая определяет законы распределения случайных ошибок и оценки измеряемых параметров по результатам измерений, на основании которых устанавливаются погрешности таких оценок и устраняются грубые ошибки.

Количественные показатели точности измерений, способы их выражения и формы представления результатов измерений даны в ГОСТ 8.011—72.

В основу ГОСТ 8.009—72 положены статистические методы оценки метрологических характеристик (МХ) средств измерений (СИ) для нахождения систематической и случайных погрешностей. Применительно к информационно-измерительным

системам (ИИС) статистические методы позволяют с высокой степенью достоверности определить МХ ИИС.

Большой объем испытаний и необходимость автоматизации обработки информации при их проведении заставляют отказаться от традиционных методов проверки, присущих отдельным СИ, и требуют перехода к машинным методам определения МХ ИИС с применением теории планирования эксперимента с использованием ЭВМ или спецвычислителей, имеющих в составе самой ИИС, либо специализированных поверочных комплексов на базе мини-ЭВМ.

Метод статистических испытаний, в основе которого лежит вероятностный подход к решению задач, является незаменимым при исследовании проблем, связанных с последовательностью большого числа случайных процессов. Один из методов статистических испытаний основан на методе Монте-Карло.

Первый вопрос, который возникает при использовании метода Монте-Карло, связан с числом испытаний, необходимых для решения задачи с заданной точностью. Точность ответа повышается с увеличением числа испытаний. Ожидаемая ошибка может быть вычислена на основе теории вероятностей. Мы не будем останавливаться на этом вопросе, укажем лишь, что ее относительная величина (т. е. отношение ошибки к самой определяемой величине) обратно пропорциональна квадратному корню из числа испытаний. Иными словами, если мы исследовали N случайных процессов для определения интересующей нас величины A , то последняя будет получена с ошибкой ΔA , наиболее вероятное значение которой определяется из соотношения

$$\frac{\Delta A}{A} \approx \frac{1}{\sqrt{N}}.$$

Приведенная формула позволяет найти и число испытаний, необходимых для получения заданной точности: $N = A^2 / \Delta A^2$.

Таким образом, число испытаний быстро увеличивается при попытке сделать расчеты более точными.

Такое положение дел приводит к тому, что возможность применения методов ручного счета при решении сложных задач совершенно исключается. Без использования ЭВМ метод статистических испытаний может быть полезен только для расчета небольшого числа наблюдений.

Применение ЭВМ позволяет применить метод Монте-Карло в задачах с очень большим числом испытаний.

При расчетах по методу Монте-Карло на быстродействующих электронных вычислительных машинах удастся автоматизировать весь процесс решения задачи — от получения случайных чисел до выведения из машины результатов в виде таблиц.

Статистическую обработку полученных данных проводят по ГОСТ 11.004—74, ГОСТ 11.006—74, оценку аномальности ре-

зультатов измерений — по ГОСТ 11.002—73, ГОСТ 11.008—75. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров экспоненциального распределения Пуассона по совокупности статистических опытных данных, полученных на производстве в процессе измерений, испытаний и анализов, если эти опытные данные подчиняются экспоненциальному распределению или распределению Пуассона, проводят по ГОСТ 11.005—74. Характеристики планов испытаний для восстанавливаемых (невосстанавливаемых) объектов в процессе испытаний, определение суммарной наработки, суммарное число отказов всех объектов за время испытаний см. в табл. 1 к ГОСТ 11.005—74.

Правила выбора средств технологического оснащения процессов технического контроля приведены в ГОСТ 14.306—73, общие правила выбора средств контроля — в ГОСТ 14.301—73 (разд. 3).

Выбор средств контроля должен быть основан на обеспечении заданных показателей процесса контроля и анализе затрат на реализацию процесса контроля в установленный интервал времени при заданном качестве изделия.

Устанавливаются обязательные показатели процесса контроля:

- точность измерений;
- достоверность контроля;
- трудоемкость контроля;
- стоимость контроля.

В зависимости от специфики производства и видов объектов контроля допускается использовать и другие показатели процесса контроля, к которым относятся погрешность измерений, объем, полнота, периодичность, продолжительность контроля и т. д.

При анализе затрат необходимо предусматривать:

а) сравнение вариантов средств контроля (испытания), отвечающих одинаковым требованиям и обеспечивающих решение одинаковых задач в конкретных производственных условиях;

б) выбор вариантов, основывающийся на следующей информации:

плане развития народного хозяйства на соответствующем уровне реализации (общесоюзном, отраслевом и предприятия);
технических требованиях к изделию;
количестве изделий и сроках изготовления;
технических возможностях средств контроля;
затратах на приобретение средств контроля и их эксплуатацию;

в) требования техники безопасности и промышленной санитарии.

При выборе средств контроля должно быть обеспечено при-

менение рациональных для данных условий средств контроля, регламентированных государственными, отраслевыми стандартами и стандартами предприятий и прошедших государственные испытания в соответствии с требованиями ГОСТ 8.001—71.

При выборе средств контроля используют следующие виды документации:

- конструкторскую документацию на изделие;
- технологическую документацию на изготовление и контроль изделия;

- государственные, отраслевые стандарты и стандарты предприятий на средства контроля;

- каталоги средств контроля;

- классификаторы средств контроля;

- картотеки применяемости средств контроля;

- инструктивно-методические материалы по выбору средств контроля.

К применению допускаются средства контроля, признанные годными по результатам метрологического надзора в соответствии с требованиями ГОСТ 8.002—71.

Средства контроля (приборы и средства автоматизации) должны удовлетворять требованиям ГОСТ 12997—76.

Выбор средств контроля необходимо согласовывать с отделом технического контроля в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1502—74 и метрологической службой в соответствии с требованиями ГОСТ 8.054—73.

2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ ВИБРАЦИИ

Нахождение значения физической величины опытным путем при помощи специальных технических средств называется измерением.

Методы измерения параметров устанавливаются в стандартах, ТУ на определенные виды изделий.

К проведению измерений параметров вибрации, ударов предъявляются общие требования, которые следует выполнять:

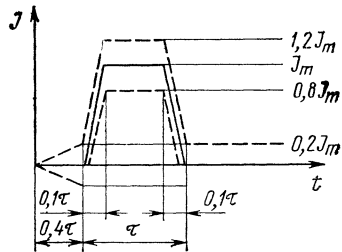
- а) во время текущих, типовых и периодических испытаний, когда проверяются требования стандартов, ТУ или договоров между предприятием-изготовителем и предприятием-потребителем;

- б) во время контрольных испытаний на предприятии-потребителе, при которых проверяют качество изделий или определяют сохранность требуемых характеристик после установки машины или после определенного срока эксплуатации, если это предусмотрено стандартом, ТУ или договором о поставке;

- в) во время экстренных испытаний на предприятии-потребителе, связанных с возникновением нежелательных колебаний

Рис. 55. Осциллограммы трапецеидально-ударного импульса:

— — номинальный импульс; - - - - граница допусков



аппаратуры, для выяснения причин их появления и выработки мер для их устранения;

г) во время проверки, удовлетворяют ли стенды или установки требованиям санитарных норм в отношении вибрации и удара.

При проведении измерений вибрации определяют параметры линейной и угловой вибрации.

К параметрам линейной вибрации относятся: перемещение, скорость, ускорение, максимальный размах, сила, мощность; к параметрам угловой вибрации — угол поворота, угловая скорость, угловое ускорение, момент сил; к параметрам обоих видов вибрации — фаза, частота, коэффициент нелинейных искажений. Измеряются мгновенные, амплитудные (пиковые), эффективные, средние значения параметров вибрации и удара и др.

При измерении параметров вибраций и ударного движения необходимо также регистрировать длительность и форму воздействующих вибраций и ударного импульса (рис. 55).

Для проведения измерений в первую очередь необходимо составить программу измерений, в которой должны быть указаны:

- а) цель испытаний и объект испытаний;
- б) режим и условия работы объекта испытаний;
- в) места, в которых измеряют колебания (точки измерений), точки измерения должны быть указаны на прилагаемой к программе схеме объекта;
- г) параметры измерения;

д) тип измерительной аппаратуры, максимальная суммарная погрешность измерений (для преобразователей, усилителей, записывающего устройства) и, если возможно, допустимый уровень помех в процентах к значению полезного сигнала в основной области измерений;

е) минимальное необходимое число измерений для всех или некоторых оговоренных преобразователей и метод обработки результатов измерений;

ж) дополнительные условия (например, отметка на записи, соответствующая моменту пуска соседнего агрегата, отметка на записях сигналов от нескольких преобразователей в различных записывающих устройствах для синхронизации записей, условия подвески и закрепления изделия).

При типовых испытаниях необходим детальный анализ результатов испытания, соответствующий цепи измерений.

При подготовке к измерениям должны быть известны:

а) чувствительность датчика по данным его калибровки совместно со всем измерительным трактом;

б) рабочий диапазон частот и амплитуд;

в) масса датчика (рекомендуется не более 5% массы исследуемого объекта или при измерении местных колебаний не более 5% массы исследуемого узла или детали).

Жесткость крепления инерционного датчика к объекту (винтами, хомутами, мастикой, клеем) должна обеспечивать такую собственную частоту системы, состоящей из датчика, кронштейна, патрубка с фланцами для крепления, жестких хомутов и других подобных устройств, которая была бы значительно больше (в 2—3 раза) максимальной частоты колебаний, подлежащей измерению.

Перед испытанием необходимо провести калибровку датчиков совместно с измерительным трактом. После испытаний следует выполнить повторную калибровку и поверку устройства, особенно при получении результатов, близких к предельно допустимым.

При измерениях на стендах (на предприятиях) необходимо учесть то обстоятельство, что полученные данные сопоставляются с данными, полученными при эксплуатационных условиях.

Необходимо при испытаниях на предприятии-изготовителе фиксировать на схеме объекта места измерений, чтобы на предприятии-потребителе при составлении программы измерений были использованы те же места измерений.

При многих измерениях на объект накладывают грузы, имитирующие нагрузку. Положение этих грузов необходимо учитывать при выборе места установки датчика (рядом с грузом). При этом отметки на схеме требуется наносить с максимальной точностью (для учета в программах последующих измерений).

Устанавливаются следующие показатели точности измерений (ГОСТ 8.011—72):

интервал, в котором погрешность измерения находится с заданной вероятностью;

интервал, в котором систематическая составляющая погрешности измерения находится с заданной вероятностью;

числовые характеристики систематической составляющей погрешности измерения;

числовые характеристики случайной составляющей погрешности измерения;

функция распределения (плотность вероятности) систематической составляющей погрешности измерения;

функция распределения (плотность вероятности) случайной составляющей погрешности измерения.

Классы точности средств измерений ГСП должны выбираться (ГОСТ 12997—76) из следующего ряда: 0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,04; 0,05; 0,06; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5;

2,0; 2,5; 4,0 (класс точности средств измерения определяется по значению приведенной относительной погрешности, выраженной в процентах).

Метрологические характеристики средств измерений ГСП для нормальных или рабочих условий приведены в ГОСТ 8.009—72.

Измерение проводится в строгом соответствии с заводскими инструкциями и общими рекомендациями, изложенными в литературе [41]. В частности, не рассматриваются погрешности, возникающие вследствие:

применения неисправных измерительных преобразователей (ИП), в том числе с пониженным сопротивлением изоляции, нарушением электрического контакта, заземления и др.;

применения ИП в частотном, амплитудном и температурном диапазонах, не предусмотренных документацией на них;

недостаточной жесткости закрепления ИП на объекте, установки ИП на недостаточно жестких промежуточных прокладках и т. п.

На основании результатов обработки измерений должны быть составлены таблицы и построены графики амплитудных или эффективных значений в зависимости от основных переменных величин испытания, например от частоты возбуждения (числа оборотов), скорости движения (для транспортных машин), частоты ударов (для пневматического инструмента).

Для случайных процессов строят графики спектральных плотностей или средних квадратичных значений для реализации достоверности, оговоренной в программе.

Результаты обработки данных измерения должны служить дополнением к протоколу испытаний, в который должны также входить программа измерений и оценка результатов измерения в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и санитарных норм.

Результаты измерений оформляют по ГОСТ 8.011—72.

3. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Особенностями измерений параметров вибраций и ударных ускорений являются необходимость правильного воспроизведения всеми звеньями измерительного устройства спектральных составляющих в широком диапазоне частот как по амплитуде, так и по фазе; линейность средства измерения в широком амплитудном диапазоне и, наконец, запоминание результатов измерения.

Наибольшее распространение получили средства измерения совокупности частных значений ударного ускорения (аналоговая аппаратура).

Измерительные преобразователи ускорения инерционного действия состоят из инерционного тела, создающего под дей-

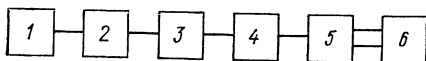


Рис. 56. Структурная схема измерительного канала виброизмерительной аппаратуры:

1 — виброизмерительный преобразователь; 2 — предварительный усилитель, 3 — первый интегратор (может отсутствовать); 4 — второй интегратор (может отсутствовать); 5 — измерительный прибор со стрелочным отсчетным устройством; 6 — фильтр (может отсутствовать)

ствием измеряемого ускорения пропорциональное ему усилие; элемента упругого сопротивления, деформация которого пропорциональна воздействию на него усилию, и элемента, преобразующего деформацию в электрический сигнал или параметр электрической цепи.

Виброизмерительную аппаратуру изготовляют в соответствии с требованиями ГОСТ 20844—75.

Виброизмерительная аппаратура с пьезоэлектрическими виброизмерительными преобразователями подразделяется на два вида:

1) с детерминированными промежуточными преобразователями, содержащими фиксированное число измерительных каналов со сменными или перестраиваемыми фильтрами, определяющими диапазон измерения канала по частоте;

2) с агрегатированными промежуточными преобразователями, содержащими набор произвольного числа сменных измерительных каналов с различными диапазонами измерений по частоте.

Структурная схема измерительного канала виброизмерительной аппаратуры соответствует рис. 56.

Виброизмерительные преобразователи подразделяются:

по принципу действия — механические, оптические, магнитоэлектрические (индукционные), электромагнитные (индуктивные), пьезоэлектрические, резистивные, емкостные, фотоэлектрические, электронные и др.;

по конструктивному исполнению — со встроенным или выносным согласующим устройством; без согласующего устройства;

по числу измерительных осей — однокомпонентные, двухкомпонентные, трехкомпонентные;

по способу крепления к объекту — с клеевым креплением (в одной плоскости и по двум взаимно перпендикулярным плоскостям); с механическим креплением (на шпильке, винтах и резьбе на корпусе); с универсальным креплением (клеевым и механическим); с магнитным креплением.

Наиболее распространены в технике измерения параметров ударного ускорения пьезоэлектрические измерительные преобразователи (ИП) [23, 41]. В них деформация элемента упругого сопротивления преобразуется в электрический заряд с помощью материалов, обладающих прямым пьезоэлектрическим эффектом. Монокристаллические пьезоэлектрики — кварц, турмалин, высокоомный сульфид кадмия [41] — обеспечивают практически безынерционное преобразование деформации в

электрический заряд и обладают линейной амплитудной характеристикой вплоть до напряжений, близких к разрушающим.

В реальных ИП конструктивные детали (корпус, крышка, крепление электрических выводов и др.) образуют сложную связанную механическую систему, имеющую ряд собственных частот, причем рабочий диапазон частот определяется низшей из них ω_{01} .

Отношение изменения сигнала на выходе виброизмерительного преобразователя к вызывающему это изменение параметру вибрации на входе называется *коэффициентом преобразования*.

Коэффициент преобразования определяется по формуле

$$K = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{dE}{dV},$$

где ΔE — изменение величины сигнала на выходе; ΔV — изменение измеряемого параметра вибрации.

При линейной зависимости E и V коэффициент преобразования $K = E/V = \text{const}$.

Действительное значение коэффициента преобразования K_d вибропреобразователя типа Д определяют как среднее арифметическое из трех измерений K_d в мВ·с²/м по формуле (ГОСТ 5.1616—72)

$$K_d = \frac{U}{a},$$

где a — значение ускорения, воспроизводимое виброкалибровочной установкой, м/с²; U — показание электронного вольтметра, мВ.

В рабочем диапазоне частот ИП коэффициент преобразования по ускорению a определяется выражением

$$K_a = \frac{y}{a} = \frac{1}{\omega_0^2},$$

где y — перемещение элемента сопротивления; ω_0 — собственная частота ИП.

В процессе измерения измерительный преобразователь, закрепленный на объекте, образует совместно с ним сложную механическую систему: объект — крепление — корпус ИП — упругий элемент ИП — инерционное тело ИП.

Чувствительный элемент пьезоэлектрического ИП обычно состоит из нескольких самостоятельных деталей, качество механических контактов между которыми сказывается на передаче движения от объекта к инерционному телу. Значения контактных жесткостей различны в конструктивных разновидностях ИП (с магнитным креплением и клееных).

Пьезоэлектрический ИП с магнитным креплением упругого

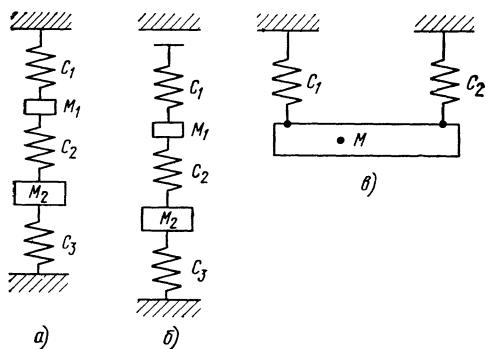


Рис. 57. Примеры модели систем с двумя степенями свободы

элемента представляет собой в первом приближении систему с двумя степенями свободы, образованную двумя массами (инерционного тела M_1 и корпуса M_2) и тремя упругими элементами C_1 , C_2 , C_3 (рис. 57). Жесткость

одного из упругих элементов может быть значительно ниже жесткости других, что снижает низшую собственную частоту системы [44] незначительно. На рис. 57, а, б показаны схемы с силовым возбуждением, на рис. 57, в — с кинематическим.

Коэффициент преобразования клееных ИП рассчитывается по формуле, учитывающей потерю заряда на емкостях соединений [41]:

$$K_u = M_d d_{11} \frac{C_k}{C_k C_{\Pi} + C_k C_{\Sigma} + C_{\Pi} C_{\Sigma}},$$

где $M_d = \frac{1}{2} m_{\Pi} + m_{\text{и}}$ — действующая масса (m_{Π} — масса пьезоэлемента, г; $m_{\text{и}}$ — масса инерционного тела, г); d_{11} — измеренное значение пьезомодуля, пКл/Н; C_{Π} — емкость пьезоэлемента, пФ; C_{Σ} — емкость кабеля и входа согласующего усилителя, пФ; $C_k = \frac{C_{\Pi} C_{\Sigma}}{C_{\Pi} - C_{\Sigma}}$ — эквивалентная емкость клеевых переходов, пФ; C_{Σ} — емкость между инерционным телом и объектом, измеренная до подпайки кабеля.

Значение неравномерности H амплитудно-частотной характеристики вибропреобразователя вычисляют по формуле

$$H = \frac{K_1 - K}{K} 100\%,$$

где K_1 — коэффициент преобразования на частотах 2000, 3000, 4000 Гц, мВ·с²/м; K — на частоте 1000 Гц, мВ·с²/м.

Специальные приборы, предназначенные для измерения параметров вибраций и ударных ускорений, дают возможность либо осуществить непосредственный отсчет по шкалам, либо произвести запись в виде виброграмм.

В зависимости от измеряемого параметра виброизмерительные приборы подразделяются следующим образом:

частотомеры;

измерители смещения — виброметры (измерители мгновен-

ных значений, измерители пиковых, максимальных и амплитудных значений, измерители средних значений);

- измерители скорости — велосиметры;
- измерители ускорения — акселерометры;
- измерители деформации — тензометры;
- фазометры;
- измерители клирфактора.

Средства измерения совокупности частных значений ударного ускорения называют ударными акселерометрами. Они содержат измерительный преобразователь (ИП), согласующий усилитель (СУ), регистрирующее устройство (РУ), градуировочное устройство и схему запуска. В некоторых случаях аппарата может содержать меньшее число элементов.

Применяемые в настоящее время приборы и способы определения частоты и амплитуды колебаний обычно позволяют измерить частоту и амплитуду колебаний платформы станда или скорость вращения вала двигателя (с пересчетом на частоту колебаний платформы). Поэтому при проведении механических испытаний аппаратуры можно судить только о характере колебаний платформы станда и именно о той ее части, где непосредственно проводится измерение (так как отдельные части платформы, ввиду ее недостаточной жесткости, колеблются по-разному). О колебаниях самого изделия, закрепленного на платформе станда, приходится судить относительно, ибо имплитуда и частота вибрации непосредственно самого изделия обычно не измеряются.

Если указанным явлением для мелких изделий, испытываемых на стандах с небольшими платформами, можно пренебречь (так как можно считать, что наиболее жестко закрепленные изделия колеблются вместе с платформой как одно целое), то для крупных изделий необходимо учитывать, что характер их колебаний отличен от характера колебаний платформы станда. Особенно сильно это отличие у амортизированных изделий. Очевидно, что для правильной оценки поведения крупных (особенно амортизированных) изделий необходимо проверять характер колебаний непосредственно на изделии и на отдельных его частях.

4. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ

Измерение вибрации, как и измерение всякого переменного процесса, состоит в измерении каких-либо определенных параметров, характеризующих переменный процесс вибрации. Вибрация исследуемой точки конструкции характеризуется: частотой вибрации, мгновенным значением абсолютного вибрационного смещения точки в пространстве, мгновенным значением скорости изменения и мгновенным значением вибрационного ускорения. На практике интересуются максимальными значени-

ями смещений или ускорений (точнее их компонентами в прямоугольной системе координат), амплитудами смещений или ускорений гармонических составляющих каждого из компонентов и частотами их колебаний.

Измерение частоты вибрации можно выполнять путем измерения частоты вращения вала двигателя вибростенда, либо путем измерения частоты колебаний платформы, либо непосредственно измерением частоты колебаний испытываемой аппаратуры.

Частоту вращения вала двигателя измеряют на механических вибростендах, где для этой цели предусматривается тахометрическая электрическая машина, состоящая из электрического генератора—тахогенератора и измерительного прибора—вольтметра, шкала которого градуирована непосредственно в герцах.

Частота колебаний платформы вибростенда может быть измерена любым вибродатчиком, преобразующим механические колебания платформы в электрические и соединенным с электрическим частотомером любого типа. Применение механических вибрационных частотомеров для непосредственного измерения частоты колебаний платформы целесообразно ввиду их слишком узкого диапазона измерений. Использование для этой цели стрелочных частотомеров (индукционных, логотрических или генераторных) позволяет измерить частоту до 100 000 Гц, т. е. практически любую из частот колебаний, которыми подвергается аппаратура при проведении механических испытаний.

Для измерения частоты колебаний непосредственно самой испытываемой аппаратуры применяют стробоскопы—контрольно-измерительные приборы, принцип действия которых основан на стробоскопическом эффекте. Прибор для измерения скорости частоты или вращения колебаний стробоскопическим методом называют строботахометром.

Вибросмещение можно измерять либо прибором, механически связанным с исследуемым объектом, либо несвязанным с ним прибором, например, оптическим, индукционным и т. п.

Все виброизмерительные приборы можно разделить на приборы прямого измерения и инерционные (сейсмические). Первые измеряют вибрацию относительно неподвижных элементов прибора или предмета вне его (например, на измерительной сетке лупы, установленной на неподвижном фундаменте вибростенда, отсчитывается размах колебаний каких-либо светящихся точек вибрирующей части). Инерционные приборы состоят из колеблющейся массы, связанной пружиной с исследуемой вибрирующей точкой, и измеряют относительные колебания точки и массы прибора.

Измерение вибрации выполняется как неэлектрическими, так и электрическими методами. В первом случае применяются различные оптические, механические и другие неэлектрические

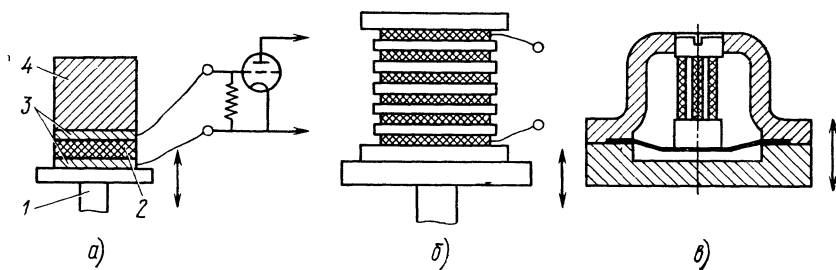


Рис. 58. Пьезоэлектрическая система виброметров:

а — принцип действия; *б* — многоэлементный датчик с продольным пьезоэффектом; *в* — многоэлементный датчик с поперечным пьезоэффектом

системы приборов. Во втором случае используются магнитоэлектрические, электромагнитные, пьезоэлектрические, резистивные и другие системы, преобразующие механические колебания в электрические.

Наиболее удобными в эксплуатации являются *механические* виброизмерительные приборы, преобразующие механические колебания в электрические. В этом случае в точке замера помещается преобразователь, воспринимающий вибрацию, а запись или измерение вибрации осуществляется в пункте, удаленном от точки замера. Преимущества такой дистанционной аппаратуры перед недистанционной очевидны.

Оптические виброизмерительные приборы позволяют регистрировать и изучать быстротекущие процессы визуально или при помощи фотографирования.

Неэлектрические методы виброметрии, в частности механические и оптические, имеют некоторое применение в силу своей простоты [8].

Электрические (*электромагнитные* и *магнитоэлектрические*) виброизмерительные приборы состоят из следующих основных частей: преобразователя, усилителя, измерительного устройства и источника питания. Преобразователь является неотъемлемым устройством системы, обеспечивающей восприятие параметра механического воздействия (смещения, скорости, ускорения и т. д.) и преобразование его в электрическую величину, удобную для дистанционной передачи по линиям связи, усиления, измерения или регистрации измерительным устройством.

В виброизмерительной аппаратуре широко используются *пьезоэлектрические* приборы. Принципиальная возможность использования пьезоэффекта для исследования механических колебаний иллюстрируется рис. 58. Пьезоэлемент 2 находится под действием силы тяжести инерционного элемента 4. При вибрации основания 1 на обкладках 3 будут возникать электрические заряды, пропорциональные действующим силам и, следовательно, ускорениям. Из-за значительной жесткости пьезокристалла, не позволяющей сделать частоту собственных колебаний низ-

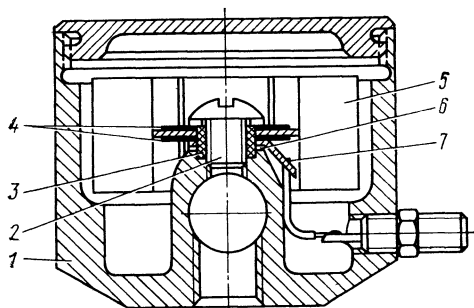
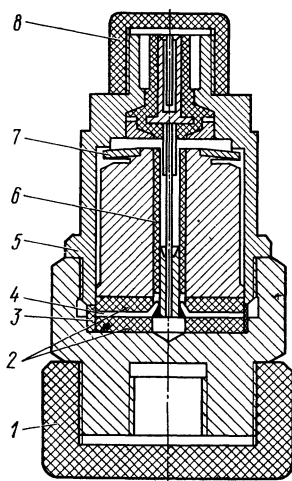


Рис. 59. Конструкция вибропреобразователя типа Д-28

Рис. 60. Конструкция вибропреобразователя Д-19:

1, 8 — предохранительные колпаки; 2 — пьезокерамический элемент; 3 — изоляционное кольцо; 4 — медный контакт с серебряным покрытием; 5 — корпус; 6 — фторопластовая втулка; 7 — пружина



кой, пьезоприборы обычно работают как акселерометры. Пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи Д-13 и Д-14 (ГОСТ 5.1615—72, ГОСТ 5.1616—72) преобразуют механические колебания объекта в электрические сигналы, пропорциональные ускорению. Эти преобразователи используются совместно с виброизмерительными устройствами для измерения параметров вибрации в производственных и лабораторных условиях.

На рис. 59 представлена конструкция вибропреобразователя Д-28. Преобразующим элементом в этом вибропреобразователе служат две пьезокерамические шайбы. Чувствительный элемент состоит из упругого элемента 5 с припаянными на его поверхности пьезоэлементами 4 из пьезокерамики ЦТС-19. Чувствительный элемент крепится в корпусе 1 винтом 2. Заряд с пьезоэлементов снимается через контакт 7, который изолирован от корпуса и пружины шайбой 6 и втулкой 3.

Для получения линейной зависимости между измеряемой величиной и электрическим сигналом на выходе согласующего устройства (СУ) необходимо осуществить операцию интегрирования, используя емкость пьезоэлемента и входа СУ с последующим усилением мощности или операционный интегрирующий усилитель. В соответствии с этим согласующий усилитель выполняется как усилитель пьезотоков или усилитель пьезозаряда [41].

Вибропреобразователь Д-19 (рис. 60) предназначен для преобразования механических колебаний в электрические сигналы, пропорциональные ускорению колеблющегося объекта, на котором установлен преобразователь, и используется сов-

местно с измерительной аппаратурой для измерения параметров вибрации в лабораторных и производственных условиях.

При креплении датчика на колеблющемся объекте на инерционную массу упругого элемента действует сила, прямо пропорциональная ускорению колеблющегося объекта. Под действием этой силы чувствительный элемент испытывает деформацию изгиба, вследствие чего на электродах пьезоэлемента возникает электрический заряд, прямо пропорциональный ускорению колеблющегося объекта.

Чувствительный элемент датчика состоит из упругого элемента с наклеенным на его поверхность пьезоэлементом из керамики ЦТС-19.

Упругий элемент представляет собой круглую и плоскую пружину с инерционной массой (в виде кольца), расположенной по периметру пружины. Чувствительный элемент вворачивается в корпус. Снятие заряда с пьезоэлемента при деформации упругого элемента осуществляется через гибкий проводник, который подпаивается к пьезоэлементу.

В *резистивных* (омических) виброизмерительных приборах омическое сопротивление изменяется в соответствии с механическим колебанием исследуемого изделия, связанного с резистором. При этом измерительное устройство фиксирует изменение тока в электрической цепи и, следовательно, механические колебания исследуемого изделия. К резистивным системам относятся контактные, реостатные, тензоэлектрические и другие системы.

В контактных виброизмерительных приборах используются элементы, у которых механическое воздействие (перемещение или ускорение) вызывает замыкание или размыкание контактов, управляющих измерительным устройством. Надежность и точность контактных датчиков зависит, в первую очередь, от материала и качества изготовления контактов; зона нечувствительности контактных датчиков находится в пределах 1—2 мкм.

В реостатных виброизмерительных приборах используются датчики, у которых механическое воздействие вызывает перемещение движка (линейное или угловое). Соответственно перемещению движка изменяется активное сопротивление провода, намотанного на каркас, или реохорда.

В тензоэлектрических виброизмерительных приборах используются датчики (ГОСТ 21615—76, ГОСТ 21616—76), у которых механическое воздействие вызывает изменение удельного сопротивления материала, длины или площади поперечного сечения проволоки.

Широкому применению тензодатчиков способствуют, в первую очередь, их малые размеры и масса. В настоящее время применяют проволочные, фольговые и полупроводниковые тензодатчики.

Проволочные тензодатчики представляют собой отрезок константановой проволоки диаметром 20—30 мкм, наклеенной на тонкую бумажную или лаковую (пленочную) основу и закрытой сверху тонкой бумагой или пленкой.

Фольговые тензодатчики, в отличие от проволочных, имеют решетку из полосок фольги толщиной и шириной от 4 до 12 мкм, наносимых на лаковую (пленочную) основу. Фольговые тензодатчики по сравнению с проволочными имеют следующие преимущества:

чувствительность фольгового тензодатчика выше, чем у проволочного;

возможность изготовления решеток любого рисунка (прямоугольных, розеточных, мембранных), наиболее полно удовлетворяющих условиям измерения.

Полупроводниковые тензодатчики изготавливаются в основном из кремния и германия. По сравнению с проводниковыми (проволочными и фольговыми) они имеют чувствительность в 50—60 раз больше, малые размеры и высокий уровень выходного сигнала, не требующего применения в виброизмерительном приборе сложных и дорогих усилителей. Изменение величины номинального сопротивления при механических воздействиях у полупроводниковых тензодатчиков может достигнуть 50%.

В емкостных виброизмерительных приборах используется изменение емкости конденсаторного вибродатчика в зависимости от механических воздействий.

Электронные системы виброизмерительных приборов основаны на отклонении или изменении интенсивности потока электронов (или положительных ионов) под действием сил.

Область применения различных систем приборов для измерения параметров вибрационных воздействий приведены в табл. 21. На основании этой таблицы может быть выбран вибропреобразователь для практических измерений. В настоящее время известно огромное число всевозможных вибропреобразователей, различных по своему устройству и назначению. Классификация по их различным признакам, важным в том или другом отношении, принципиальные и конструктивные отличия приводятся в специальных справочниках и стандартах.

Для проверки виброметров в соответствии с ГОСТ 8.246—77 необходим набор установок с широким диапазоном по частоте и динамическому уровню, что не всегда можно обеспечить при проверке в промышленности. У большинства приборов основная погрешность составляет 12%, а у приборов с чувствительными шкалами 25—100%. Частотный диапазон приборов 1—100 Гц; 5—5000 Гц; реже 5—10 000 Гц, поэтому для проверки виброметров желательно использовать вибрационную установку, разработанную во ВНИИМ для воспроизведения и измерения параметров вибраций в диапазоне 1—10 000 Гц.

Значения частот следует выбирать из ряда: 50, 63, 80, 100,

Область применения виброизмерительных приборов различных систем

Виброизмерительные приборы	Измеряемый параметр	Область применения		Погрешность измерения, %
		Частота, Гц	Смещение, мкм	
Оптические: мерный клин стробоскоп микроскоп фотоаппарат	Смещение Частота, смещение	Выше 8—10	500—3000	—
		10—500	—	—
	Смещение	0—1000	0,01—2	± 1
	Частота, смещение	В зависимости от скорости съемки и разрешающей способности фотоматериалов и оптики		—
Механические: виброграф язычковый частотомер	Смещение, частота	15—300	10—20 000	—
		40—60	—	—
Электрические: магнитоэлектрические электромагнитные (индуктивные) пьезоэлектрические резистивные емкостные фотоэлектрические электронные	Смещение	1—500 1—20 000	2—2000 1—2000	$\pm (5-20)$ $\pm (4-20)$
		5—20 000 1—300 0—2000	1—20 000 100—106 2—500	$\pm (5-10)$
		0—1000 0—800	— 1—100	— $\pm (1-5)$

125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10 000 Гц с интервалом не более одной октавы.

Виброизмерительные приборы, отсчетное устройство которых градуировано в единицах смещения, скорости и ускорения, должны иметь следующие классы точности: 6, 10, 15, 20, 25 (ГОСТ 16826—71).

Основная погрешность виброметра, вычисленная по формулам (1)—(4) (ГОСТ 8.246—77), не должна превышать значений, указанных в ГОСТ 20844—75, ГОСТ 25.06.1903—79.

Нормативно-технические характеристики пьезоэлектрических виброизмерительных преобразователей 1ПА-6, 1ПА-9, 1ПА-10В, Д-13, Д-14, ДН-3, ДН-4, ДН-5, прошедших государственные испытания, см в приложении 4 к ГОСТ 8.246—77.

Виброизмерительные приборы, отсчетное устройство кото-

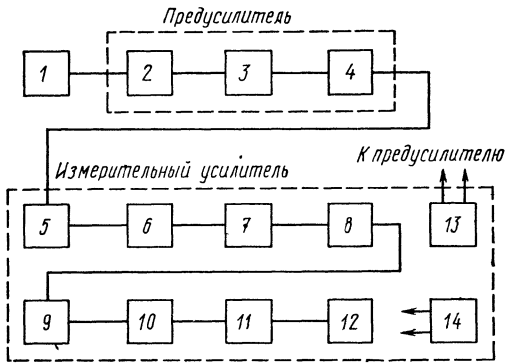


Рис. 61. Блок-схема измерителя вибраций типа ИВ-67 с одним виброприемником:

1 — виброприемник; 2 — входной каскад; 3 — усилительный каскад; 4 — выходной каскад предусилителя; 5 — входной делитель; 6 — фильтр верхних частот; 7 — фильтр нижних частот; 8 — усилитель; 9 — делитель; 10 — выходной усилитель; 11 — детектор средних квадратических значений; 12 — стрелочный прибор; 13 и 14 — источники питания

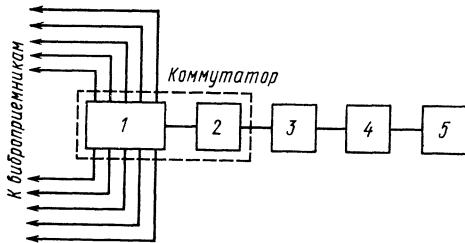


Рис. 62. Блок-схема измерителя типа ИВ-67 с десятью виброприемниками:

1 — входное устройство коммутатора; 2 — предварительный усилитель; 3 — катушка с кабелем 50 м; 4 — блок управления; 5 — измерительный усилитель

рых градуировано в децибелах, должны иметь классы точности 0,5; 1; 1,5; 2.

Для определения действительного значения коэффициента преобразования преобразователя и основной погрешности виброметра используют образцовую и вибрационную установку 2-го разряда (ГОСТ 8.138—75).

Классы точности виброизмерительных приборов характеризуются основными погрешностями по ГОСТ 13600—68.

Шкалы виброизмерительных приборов градуируют в следующих единицах: в мкм — для измерения вибросмещения; в мм/с — для измерения виброскорости; в м/с² — для измерения виброускорения. Допускается градуировать шкалы виброизмерительных приборов в децибелах.

Виброскорость в децибелах определяют по формуле

$$v_d = 20 \lg \frac{v}{v_0},$$

где v — виброскорость, мм/с; v_0 — нулевое значение уровня виброскорости, равное $5 \cdot 10^{-5}$ мм/с.

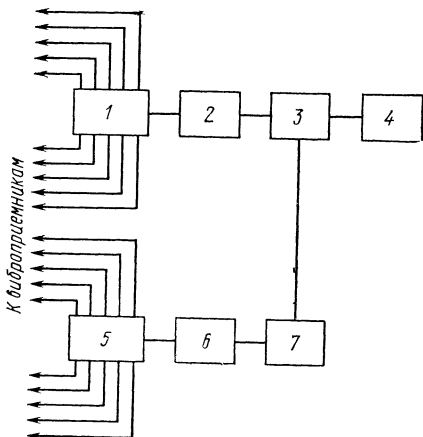
Виброускорение в децибелах определяют по формуле

$$\omega_d = 20 \lg \frac{\omega}{\omega_0},$$

где ω — виброускорение, м/с²; ω_0 — нулевое значение виброускорения, равное $3 \cdot 10^{-4}$ м/с.

Рис. 63. Блок-схема измерителя типа ИВ-67 с двадцатью виброприемниками:

1 — коммутатор; 2 — кабель; 3 — блок управления; 4 — измерительный усилитель; 5 — коммутатор; 6 — кабель; 7 — блок управления



Переносной измеритель ИВ-67 предназначен для измерения колебательных ускорений, вибрации машин, механизмов и различных конструкций. Рассчитан для работы в лабораторных и цеховых условиях, а также на различных транспортных средствах.

Измерение колебательных ускорений вибрации основано на усилении и измерении среднего квадратического значения уровня электрических сигналов, снимаемых с виброприемника, который преобразует механические колебания в электрические сигналы, пропорциональные ускорению колеблющегося объекта.

При помощи ИВ-67 можно измерять вибрацию: одним виброприемником, удаленным на расстояние до 5 м от прибора (рис. 61); десятью виброприемниками, удаленными на расстояние до 50 м от прибора (рис. 62), и двадцатью виброприемниками в радиусе до 50 м (рис. 63).

Методы измерения вибрационных параметров и методика статистической обработки результатов измерения даны в ГОСТ 16519—78.

5. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УДАРА

Измерение параметров удара (ГОСТ 8.127—74) необходимо для реализации ударных воздействий при механических испытаниях. Возможны три принципа измерения ударов:

- 1) определение зависимости параметров удара от времени (анализ удара во временной области);
- 2) определение зависимости параметров удара от частоты (анализ удара в частотной области);
- 3) определение режима работы ударного стенда.

Анализ удара во временной области обычно проводят при помощи системы объективных характеристик, включающих форму кривой, пиковое значение ускорения a_n и длительность удара (например, удар полусинусоидальной формы длительностью 10 ± 1 мкс с ускорением 50 g). Эта система обладает рядом существенных недостатков. Так, форма кривой ударного процесса не всегда может быть выражена аналитической функ-

цией, а если это и удастся, то погрешность такой характеристики оценить трудно. Кроме того, непосредственное измерение длительности τ ударного процесса представляет значительные трудности, а пиковое значение a_n точно определяется лишь для простых форм удара.

Анализ удара в частотной области является наиболее перспективным способом измерения параметров удара. Этот способ по сравнению с анализом удара во временной области характеризуется существенно большей точностью, позволяет применять ударные стенды меньшей мощности и исключает необходимость подбора заданной формы ударного ускорения, что упрощает технику подготовки испытаний. Основной трудностью на пути внедрения этого перспективного способа измерения параметров удара при проведении механических испытаний на удар является отсутствие серийной аппаратуры для измерения ударного спектра или определения его по результатам непрерывного измерения ускорения.

Задание определенного режима работы ударного стенда (например, числа и размеров амортизирующих прокладок ударного стенда) является наиболее простым с точки зрения организации испытаний. Однако существующие ударные стенды не обеспечивают постоянство характеристик удара в процессе эксплуатации вследствие влияния на них массы и механической структуры испытуемого изделия, появления наклепа на соударяющихся поверхностях и т. п.

При измерении параметров удара (ГОСТ 8.049—73) необходимо учитывать искажение формы кривой удара при распространении его по реальной механической системе платформа ударного стенда — испытуемое изделие, причем изменяется не только форма удара, но также его длительность τ и пиковое ускорение a_n . Эти изменения тем больше, чем больше число частот собственных колебаний элементов конструкции испытуемой аппаратуры. Отсюда следует, что жесткость закрепления испытуемой аппаратуры на платформе ударного стенда должна быть настолько высокой, чтобы низшая собственная частота закрепленной аппаратуры

$$f_{0\text{min}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{m}} \geq \frac{X}{\tau},$$

где C — жесткость системы платформа ударного стенда — испытуемое изделие; $m = m_n + m_{\text{п}}$ — суммарная масса платформы ударного стенда и испытуемого изделия; X — величина, характеризующая форму кривой процесса (для полусинусоидальной кривой $X=0,53$, для косинусоидальной кривой $X=0,65$, для всех простых форм удара можно считать $X=0,8$); τ — длительность удара.

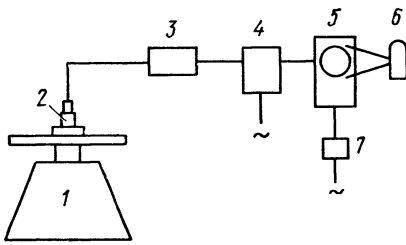


Рис. 64. Структурная схема соединения приборов при измерении параметров ударного ускорения:

1 — ударная установка; 2 — преобразователь ударных ускорений; 3 — транзисторный точный согласующий усилитель, 4 — переносной источник образцовых напряжений; 5 — электронно-лучевой осциллограф, 6 — фотоприставка; 7 — стабилизатор

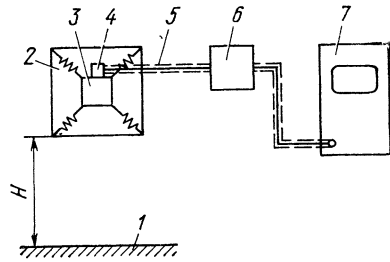


Рис. 65. Схема измерений при испытании на удар при свободном падении:

1 — ударная площадка; 2 — транспортная тара; 3 — изделие; 4 — акселерометр; 5 — кабельные линии; 6 — усилительное или согласующее устройство, 7 — регистрирующее устройство

Если удар содержит высокочастотные составляющие с частотой f_1 , то необходимо также соблюдать условие

$$f_{0\min} \geq (1,2 \div 1,5) f_1.$$

Большое значение имеет выбор правильного соотношения масс $m_{\text{п}}$ и $m_{\text{и}}$. Наименьшее искажение формы удара имеет место при $m_{\text{и}} \ll m_{\text{п}}$, однако увеличение $m_{\text{п}}$ усложняет конструкцию ударного стенда. Во всяком случае, следует выдерживать соотношение

$$m_{\text{п}} > (3:5) m_{\text{и}}.$$

Измерительный преобразователь удара следует крепить не на платформе стенда, а на самом изделии либо на крепежных приспособлениях поближе к наиболее ответственным элементам испытываемого изделия. При измерениях параметров удара следует также учитывать свойства самих ударных стендов.

При измерении параметров удара необходимо регистрировать ускорение (амплитуду ударного импульса), длительность и форму ударного импульса. Рекомендуется также регистрировать время нарастания ударного ускорения.

Структурная схема соединения приборов при измерении параметров ударного ускорения представлена на рис. 64. Схема измерений при испытании на удар при свободном падении изображена на рис. 65.

Согласующие усилители или согласующие устройства (СУ) ударных акселерометров представляют собой измерительные усилители, основным назначением которых является согласование входного сопротивления регистрирующих устройств с выходным сопротивлением ИП, частичная динамическая коррек-

Основные показатели согласующих устройств

Согласующее устройство (усилитель)	Страна-изготовитель	Входное сопротивление, МОм	Входная емкость, пФ	Нижняя граничная частота, Гц	Верхняя граничная частота, кГц	Частота среза, кГц	Коэффициент преобразования по напряжению	Максимальное входное напряжение, В	Выходное сопротивление, Ом	Напряжение шумов, мкВ	Усилительный элемент	Число каналов
7007	СССР	70—100	10—6800	2	200	12	1,5 и 10	0,25 и 1	400	10	Лампы	2
ИС-943		5	2000	20	10	0,3—10	24,80	1	100	50000	Транзистор	1
2623	Дания	2000	3,5	0,12	500	—	1	7	40	15	Полевой транзистор	1
2616		1200	10	0,13	500	—	1; 0,01	1; 100	100	20		
9333	СССР	500	10—1000	2	100	—	0,7	2	300	50—100	Полевой транзистор	2
9333Б		300	30—2000	2	50	2; 8	6—10	1	2000	50—100		
9336		500	30—2000	2	100	2; 16	2—16	0,75	2000	50—100		

ция, ограничение рабочего диапазона частот с целью снижения влияния помех и сглаживание в необходимой степени получаемой зависимости. Общие вопросы расчета и проектирования измерительных усилителей освещены в работах [16, 41].

Основные показатели нескольких типов СУ приведены в табл. 22.

Фильтр необходим для снижения уровня шумов согласующего усилителя, исключения влияния резонанса измерительного преобразователя и уменьшения амплитуды паразитных колебаний на кривой ударного импульса.

Регистрирующий прибор служит для непосредственного наблюдения формы ударного импульса и отсчета его параметров.

Для регистрации мгновенных значений ударных процессов наиболее часто применяют электронно-лучевые и светолучевые осциллографы.

Т а б л и ц а 23

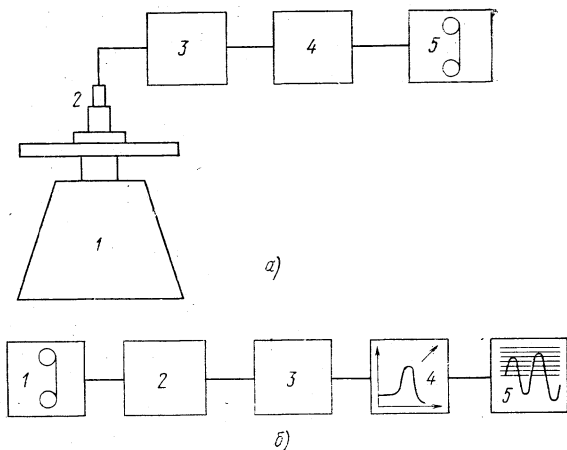
Характеристика рекомендуемых электронных осциллографов

Осциллограф	Число лучей	Максимальный коэффициент преобразования, м/В	Допустимое отклонение по вертикали, мм	Нелинейность по вертикали	Качество фокусировки
C1-37 (C8-1)	1	1	60	10	Удовлетворительное
C1-51 (C8-11)	2	1			
C1-47a	1	5			
C1-4	1	0,3	± 35	3	
C1-8	1	0,2	± 20		
C1-33	5	1	± 18	10	
ОК-17М	2	0,35 (1-й луч); 0,1 (2-й луч)			± 23
ОК-24М	2	0,7	± 60 или —60	3	Хорошее
Е01/130 (ГДР)	1	0,2	± (15—45)		
Е02/130 (ГДР)	2	0,2			Удовлетворительное

Электронно-лучевые осциллографы используют в режиме ждущей развертки, запускаемой измеряемым процессом или от специального упреждающего сигнала. Большое значение имеют линейность отклонения луча как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях и качество фокусировки луча [40].

Рис. 66. Анализ эксплуатационных нагрузок:

a — с последующей обработкой: 1 — установка; 2 — датчик; 3 — согласующий усилитель; 4 — частотный модулятор; 5 — ЗУ на магнитной ленте; *б* — с непосредственным измерением и регистрацией: 1 — ЗУ на магнитной ленте; 2 — частотный детектор; 3 — согласующий усилитель; 4 — анализатор ударного импульса; 5 — амплитудный анализатор измерительных приборов



Недостатком осциллографических методов регистрации является трудоемкость дальнейшей обработки информации. Иногда фотографическую запись осциллограммы переводят на перфоленту (например, при помощи аппаратуры «Силуэт»). Полученная перфолента обеспечивает непосредственный ввод данных в ЭВМ типа «Минск», «Наири» и др.

Более перспективным направлением является создание быстросействующих преобразователей аналог — код с записью кода в устройствах памяти ЭВМ.

Наиболее удобны для регистрации однократных процессов запоминающие осциллографы, из которых лучшие характеристики имеют приборы С1-37 и С1-51. В табл. 23 приведены характеристики рекомендуемых электронных осциллографов [41].

При экспериментальном определении спектра распределения эксплуатационных нагрузок воздействие $f(t)$ оценивают путем нахождения амплитуд колебаний некоторого ряда резонирующих деталей, собственные частоты которых отличаются одна от другой.

При этом возможны два метода измерения:

измерение и регистрация параметров воздействия $f(t)$ с последующей обработкой (рис. 66, *a*);

непосредственное измерение и регистрация воздействия $f(t)$ (рис. 66, *б*).

При подборе комплекта приборов для анализа эксплуатационных нагрузок весьма важным является согласование параметров отдельных измерительных устройств.

Для документационного оформления результатов измерения параметров удара рекомендуется фотографировать осциллограммы ударного импульса или переводить их с экрана осциллографа на прозрачную бумагу.

6. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ УСКОРЕНИЙ

Наиболее распространены в технике измерения параметров ударного ускорения пьезоэлектрические измерительные преобразователи (ИП) [25, 40, 52]. В них деформация элемента упругого сопротивления преобразуется в электрический заряд с помощью материалов, обладающих прямым пьезоэлектрическим эффектом. Монокристаллические пьезоэлектрики (кварц, турмалин, высокоомный сульфид кадмия) обеспечивают практически безынерционное преобразование деформации в электрический заряд и обладают линейной амплитудной характеристикой вплоть до напряжений, близких к разрушающим.

На рис. 67 показана конструкция образцового пьезоэлектрического преобразователя ударных ускорений типа ПИ 93-1, разработанного Н. К. Ерофеевым при участии автора [22]. Особенностью конструкции является обеспечение заданного усилия поджатия пружины 6 за счет индивидуального подбора длины винта 5.

Конструкция образцового ИП высоких ударных ускорений типа ПИ 93-3 показана на рис. 68. В качестве пьезоматериала

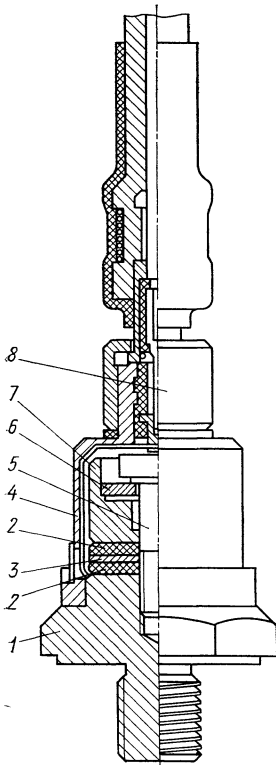
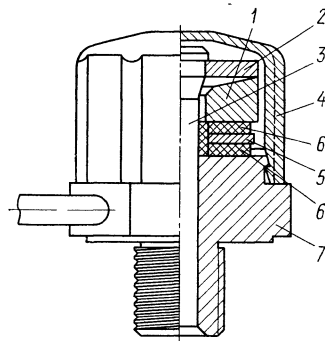


Рис. 67. Образцовый пьезоэлектрический преобразователь ударного ускорения ПИ 93-1:

1 — основание; 2 — пьезоэлементы; 3 — лепесток; 4 — крышка; 5 — винт; 6 — пружина; 7 — инерционное тело; 8 — разъем

Рис. 68. Образцовый пьезоэлектрический преобразователь ударного ускорения ПИ 93-3:

1 — инерционное тело; 2 — пружина; 3 — винт; 4 — крышка; 5 — лепесток; 6 — пьезоэлементы; 7 — основание



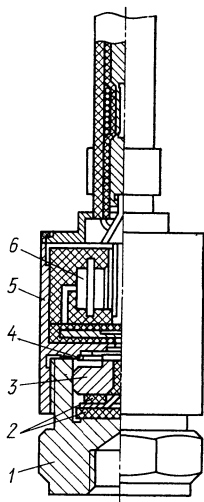
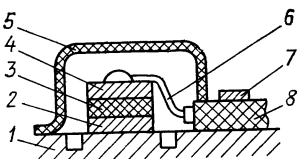


Рис. 69. Образцовый пьезоэлектрический преобразователь ударного ускорения ПИ 93-2:

1 — корпус; 2 — пьезоэлементы, 3 — инерционное тело; 4 — пружины, 5 — стакан; 6 — согласующий усилитель

Рис. 70. Измерительный преобразователь ускорения, монтируемый на объекте измерения



в нем используется синтетический кварц, обладающий большей прочностью и однородностью, чем естественный. Инерционное тело 1 выполнено из материала с малой плотностью.

Конструкция образцового измерительного преобразователя ПИ 93-2, совмещенного с транзисторным согласующим усилителем (СУ), показана на рис. 69. В нем используются пьезоэлементы высокоомного монокристаллического сульфида кадмия, обладающего большей пьезоэлектрической активностью, чем кварц и турмалин. СУ представляет собой сложный эмиттерный повторитель, собранный на полевом и обычном транзисторах в миниатюрном исполнении.

Наряду с приведенными конструкциями для измерения параметров ударных ускорений могут быть применены и другие измерительные преобразователи (табл. 24) [41].

При лабораторных исследованиях применяют ИП, монтируемый непосредственно на объекте (рис. 70). На поверхность объекта 1 эпоксидным клеем горячего отверждения приклеивают латунную прокладку 2 толщиной 1,5—1 мм. На нее наклеивают кварцевый пьезоэлемент 3, пьезомодуль d_{11} которого предварительно измеряют. К пьезоэлементу приклеивают инерционное тело 4 с припаянным заранее выводом, к которому после измерения емкости подпаивают центральную жилу 6 антивибрационного кабеля 8. Кабель крепят с помощью хомутка 7 непосредственно к объекту измерения, причем его оплетка электрически соединяется с объектом. Все элементы ИП закрывают экранирующим коллаком 5, изготовленным из полиэтилена с проводящим покрытием или из латунной фольги. Экран соединяют с объектом. Диаметры деталей 2, 3, 4, выбираемые из условий размещения конструкции, обычно составляют 6—10 мм.

Измерительные преобразователи для измерения параметров ударных ускорений

Измерительный преобразователь	Страна-изготовитель	Предел измерения ударных ускорений, m/s^2	Нижняя стоимость закреплённого ИП, кгЦ	Коэффициент преобразования, $MБ.с^2/м$	Максимальный относительный коэффициент влияния поперечного ускорения, %	Коэффициент демпфирования	Масса ИП, г	Длина кабеля, м	Вид пьезоматериала	Посадочное место на объекте
Пиковое ускорение до $2 \cdot 10^5 m/s^2$										
ПИ 93-1 КД-14	СССР ГДР	$5 \cdot 10^4$ $2 \cdot 10^5$	70—80 45	0,2—0,7 1	1,5—10 5	0,5 0,2	6,6 18	10 1,5	ЦТС-19 На базе цирконата-титаната свинца	Резьбовое гнездо М4 Резьбовое гнездо или шпилька М5
4344	Дания	$1,4 \cdot 10^5$	70	0,17—0,25	4	0,2	2	1,2	—	Резьбовое гнездо или шпилька М3
4-274	Англия	$5 \cdot 10^4$	60	1	3	0,2	6	—	—	Резьбовое гнездо или шпилька 10—32 NF
2222	США	10^5	50	0,1	10	0,05	0,5	—	—	Плоскость под приклеивание
225	США	$2 \cdot 10^5$	80	0,06	5	0,03	13	—	—	Резьбовое гнездо, шпилька 10—32 NF
AQ5	Англия	10^5	60	0,35	5	0,1	21	—	—	То же
ПИ 93-4	СССР	10^4	35	0,1 и 1	1,5—10	0,5	15	3,5	Синтетический кварц	Резьбовое гнездо, шпилька М5
Пиковое ускорение до $10^6 m/s^2$										
ПИ 93-3	СССР	10^6	75—85	0,003—0,005	3—10	0,06	7	10	Синтетический кварц	Резьбовое гнездо или шпилька М5
QZE	Англия	$5 \cdot 10^5$	115 (незакрепленного)	2,4	5	—	20	—	—	Резьбовое гне до 2BA
2225MS	США	10^6	80	0,006	10	0,02	32	—	—	Резьбовое гнездо или шпилька 10—32 NF
8QA100	Англия	10^6	100	2	—	—	16	—	Кварц	Резьбовое гнездо М12
Преобразователи с встроенным предусилителем										
ПИ 93-2	СССР	$3 \cdot 10^3$	3 Гц—12 кгЦ	0,25	2—10	—	30	10	—	Резьбовое гнездо или шпилька М5
AT-1189	США	$2 \cdot 10^3$	5 Гц—10 кгЦ	3	—	—	28,3	—	Кварц	—
818	США	$2,5 \cdot 10^3$	2 Гц—5 кгЦ	1	5	—	45	—	—	—
4-281	Англия	$5 \cdot 10^3$	4 Гц—10 кгЦ	3	3	—	28	—	—	Резьбовое гнездо

Кольцевая канавка на объекте снижает влияние деформаций объекта [41].

Наиболее чувствительными измерительными приборами являются тензометрические вибропреобразователи.

В табл. 25 приведены характеристики некоторых тензометрических ИП. Улучшение характеристик тензометрических ИП

Т а б л и ц а 25

Характеристики некоторых тензометрических ИП

Измерительный преобразователь	Изготовитель	Предел измерения для ударных ускорений, m/c^2	Низшая собственная частота закрепленного ИП, кГц	Коэффициент преобразования	Масса ИП, г
ТДУ2М-4	СССР	$5 \cdot 10^3$	4	6	100
ТДУ2М-16		$1,2 \cdot 10^5$	11	0,25	160
ТДУЗМ-6		$3 \cdot 10^4$	6	2,5	150
ТДУЗМ-30		10^6	16	0,07	150
4-202-001	Consolidated Electrodynamics (Англия)	$5 \cdot 10^3$	2,9	3,2	85

ударных ускорений возможно путем применения полупроводниковых тензорезисторов, чувствительность которых в десятки, а в некоторых случаях в сотни раз превышает чувствительность проволочных тензорезисторов. Однако в связи с определенными технологическими трудностями ИП этого типа применения не нашли.

Наряду с пьезоэлектрическими и тензометрическими ИП в отдельных случаях применяют емкостные, токовихревые, индуктивные преобразователи.

Широко распространенные индуктивные ИП типа ДУ-5 допускают измерение параметров ударных ускорений с длительностью фронта не менее 15 мс (модификация ДУ-5В — не менее 1 мс).

В случаях, когда необходима высокая надежность результатов, полезно устанавливать в одной точке измерения два и более разнотипных ИП (например, пьезоэлектрический и тензометрический).

7. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ И УДАРА

Ставя своей целью изложение инженерной методики оценок погрешности результата измерения пикового значения ударного ускорения, за основу возьмем работы [21, 38], ГОСТ 8711—78, ГОСТ 13600—68, ГОСТ 16263—70, ГОСТ 22211—76.

Погрешность результата измерения

$$\Delta = X_{\text{изм}} - X,$$

где $X_{\text{изм}}$ — измеренное, а X — истинное значение параметра.

За действительное принимают значение, настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Ту же погрешность можно выразить в относительных единицах:

$$\delta = \frac{\Delta}{X},$$

или

$$\delta = \pm \frac{100\Delta}{X} = \pm \left[C + d \left(\frac{X_{\text{к}}}{X} - 1 \right) \right],$$

где $X_{\text{к}}$ — конечное значение диапазона измерений или диапазона значений сигнала на входе преобразователя; C, d — постоянные числа.

Относительная погрешность в децибелах определяется по формуле

$$\delta = A \lg \left(1 + \frac{\Delta}{X} \right),$$

где $A=10$ — при измерении энергетических величин; $A=20$ — при измерении силовых величин.

Погрешность результата измерения зависит как от уровня измеряемого параметра, так и от уровня влияющих величин, поэтому рассчитать ее заранее для всех конкретных случаев невозможно.

Пределы допускаемых основных погрешностей в перегрузочной части шкалы амперметров в процентах должны быть равны значениям, определяемым по формуле (ГОСТ 8711—78)

$$\gamma_{\text{п}} = \frac{K}{2} \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{р}}} \frac{l}{l_{\text{п}}},$$

где K — числовое обозначение класса точности прибора; $I_{\text{п}}$ — конечное значение перегрузочной части шкалы, А; $I_{\text{р}}$ — конечное значение диапазона измерений, А; l — длина всей шкалы, мм; $l_{\text{п}}$ — длина перегрузочной части шкалы, мм.

Существует два способа оценки погрешности результата измерения, выполненного многозвенной системой при наличии ряда влияющих величин.

Первый способ заключается в экспериментальном определении погрешности с помощью образцовой аппаратуры при разных сочетаниях влияющих величин и измеряемого параметра. Обработка результатов серии подобных измерений, в принципе, позволяет найти многомерную зависимость искомой погрешно-

сти от влияющих величин. Ограниченность применения этого способа обусловлена отсутствием образцовой аппаратуры, способной работать вне области нормальных значений влияющих величин, и чрезвычайной сложностью эксперимента при числе звеньев более 1—2 и числе влияющих величин более 2—3.

Другой способ заключается в определении опытным или расчетным путем частных погрешностей с последующим суммированием их по правилам математической статистики. Форма представления частотных погрешностей должна быть одинаковой.

Частные погрешности, которые могут относиться к одному или нескольким звеньям, приводят ко входу средств измерения путем деления значения погрешности на выходе на соответствующий коэффициент преобразования, определяемый по формуле

$$K = \frac{dX_i}{dX_0},$$

где X_i — сигнал на выходе рассматриваемого звена; X_0 — измеряемый параметр.

В общем случае каждую частную погрешность следует рассматривать как случайную величину, т. е. множество, для которого нельзя предсказать заранее точное значение некоторой его реализации.

Случайные величины наиболее полно характеризуются законом распределения, указывающим, как часто встречаются те или иные из возможных значений. Однако во многих случаях достаточно знать среднее значение случайной величины и степень рассеяния ее отдельных реализаций относительно среднего значения.

Частные погрешности обуславливаются следующими факторами, присущими измерительному преобразователю [41]: несовершенством градуировки; нестабильностью коэффициента преобразования во времени; кабельным эффектом; нелинейностью амплитудной характеристики; наличием регулярной динамической составляющей; влиянием поперечных составляющих ускорения; деформацией поверхности объекта; наличием электромагнитных полей и токов в объекте; изменением окружающей температуры; наличием акустических полей; неоднородностью поля ускорения; соизмеримостью масс ИП и исследуемой детали объекта; неточностью установки ИП.

Согласующий усилитель вносит погрешности, обусловленные: несовершенством градуировки; нестабильностью коэффициента преобразования; шумами и наводками; перекрестными помехами; наличием регулярной динамической составляющей; колебаниями напряжения питания; микрофонным эффектом; изменением окружающей температуры.

Электронно-лучевой осциллограф вносит погрешность из-за

нестабильности коэффициента преобразования во времени и отсчета.

После вычисления частных погрешностей их разделяют на три группы. В первую входят систематические составляющие δ_{Σ} , не зависящие от уровня измеряемой величины при выражении их в относительной форме.

Во вторую группу входят средние квадратические значения σ_{Σ} случайных составляющих, не зависящие от уровня измеряемой величины при выражении их в абсолютной форме.

В третью группу входят средние квадратические значения $\sigma_{r,\Sigma}$ случайных составляющих, не зависящие от уровня измеряемой величины при выражении их в относительной форме.

При суммировании внутри каждой из групп частные погрешности, отвечающие критерию ничтожности, опускают.

Доверительный интервал погрешности результата измерения в абсолютной форме в м/с² вычисляют [41] по формуле

$$\gamma = \frac{1}{100} \delta_{\Sigma} a_{\Pi} \pm 3 \sqrt{\sigma_{\Sigma}^2 + \left(\frac{\sigma_{r,\Sigma} a_{\Pi}}{100}\right)^2}.$$

Та же величина в относительной форме (в %) выражается как

$$\gamma_r = \sigma_{\Sigma} \pm 3 \sqrt{\left(\frac{100\sigma_{\Sigma}}{a_{\Pi}}\right)^2 + \sigma_{r,\Sigma}^2}.$$

Полученные в результате вычислений оценки систематической погрешности позволяют уточнить результат измерения путем введения в него поправки $n = -\delta_{\Sigma} a_{\Pi}$. Наряду с нахождением пределов, в которых с заданной вероятностью лежит действительное значение измеряемой величины, результаты вычислений представляют основу для выбора направлений совершенствования методики и характеристик измерительных устройств. Для этого выделяют доминирующие погрешности для некоторых типовых условий и рассматривают возможности их уменьшения. Постановка измерительного эксперимента будет наиболее совершенной в том случае, когда большинство частных погрешностей близки друг к другу, а доминирующими являются лишь такие, уменьшение которых принципиально не представляется возможным.

Погрешность средства измерения наиболее целесообразно оценивать по его основной погрешности (ГОСТ 13600—68, ГОСТ 8711—78, ГОСТ 22261—76) при условии, что уровень измеряемого параметра соответствует пределу измерения.

При испытании технических устройств сопоставляют случайные значения параметров, объединенные в связанную систему, с их эталонными значениями, которые также представляют собой определенную систему номинальных координат, и определяют, укладывается ли каждый анализируемый параметр в пределы допустимых отклонений.

Сопоставлять можно абсолютные или относительные величины погрешностей. В последнем случае, который является более общим, система анализируемых неравенств имеет вид [46]

$$\left. \begin{aligned} \delta X_{нi} < \delta X_i < \delta X_{вi}; \\ \delta X_{нi} < \delta X_i < \delta X_{вi}; \\ \delta X_{нk} < \delta X_k < \delta X_{вk}; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где δX_i — относительная погрешность i -го контролируемого параметра; $\delta X_{ни}$ — нижнее допустимое отклонение относительной погрешности i -го контролируемого параметра $\delta_{ни} = -\frac{\Delta X_i}{X_{эти}}$; $\delta X_{ви}$ — верхнее допустимое отклонение относительной погрешности i -го контролируемого параметра $\delta_{ви} = \frac{\Delta X_i}{X_{эти}}$; ΔX_i — абсолютная величина допустимого отклонения контролируемых параметров; $X_{эти}$ — эталонное значение i -го контролируемого параметра.

Соблюдение системы неравенств (10) свидетельствует об исправности технического устройства в данный момент времени. В противном случае объект испытаний неисправен.

Способы оценки величины контролируемого параметра в зависимости от требуемой достоверности могут быть различными: от простейшего, когда о величине δX_i судят по результатам одноразового измерения, до более достоверного, когда величина δX_i является результатом обработки ряда измерений. Например, для определения δX_i при нормальном законе распределения ошибок измерений можно воспользоваться выражением

$$\delta X_i = \sqrt{\frac{(\delta X_{i1})^2 + (\delta X_{i2})^2 + \dots + (\delta X_{im})^2}{m-1}}, \quad (11)$$

где m — число измерений параметра.

Номинальные значения параметров установлены ГОСТ или ТУ на конкретные типы технических устройств. Этими же документами определены и значения допустимых отклонений параметров от номинальных.

Независимо от метода измерения контролируемого параметра о состоянии технического устройства в данный момент времени судят на основании анализа системы неравенств (10). Предположим, что все контролируемые параметры измеряют одновременно или последовательно через малые интервалы времени. При этом каждый параметр проверяется независимо от других параметров (допустим, самостоятельными измерительными приборами). В этом смысле систему контролируемых

параметров можно считать независимой (независимой), а процесс контроля — как совокупность самостоятельных операций, соответствующих такому же числу параметров.

8. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

Результаты определения характеристик оформляют в виде протоколов (или формуляров), в которых должны быть отражены:

- объект испытаний;
- цель испытаний;
- место и время испытаний;
- программа испытаний с указанием соответствующих пунктов стандарта;
- применяемая аппаратура с указанием технических характеристик;

результаты испытаний в виде таблиц и графиков, представленных на бланках в соответствии с требованиями ГОСТ 13731—68, ГОСТ 19118—73, ГОСТ 8.011—72, ГОСТ 8.049—73, ГОСТ 1.5—68;

заключение по испытаниям;

должность и фамилия лица, проводившего измерения, а также лица, утвердившего результаты измерений.

Если измерения выполняют на дискретных частотах, то полученные значения заносят на бланк в виде точек, через которые проводят кривую.

При оформлении результатов обработки данных измерения в виде таблиц и графиков указывают, какое значение измеряемой величины приводится: пиковое (амплитудное), средневыпрямленное или эффективное. Если проводится гармонический анализ, то кроме данных анализа указывают и полуразмах анализируемой кривой.

Записи необходимо выполнять в масштабе, обеспечивающем при обработке требуемую точность считывания.

Если обрабатываются данные измерений случайных процессов, то кроме определения спектральной плотности или средних квадратических значений измеряемой величины в диапазоне наблюдаемых частот следует выделить частоты и пики гармонических колебаний, входящих в данные измерений случайного процесса.

На основании результатов обработки должны быть составлены таблицы и построены графики амплитуд (полуразмахов) или эффективных значений в зависимости от основных переменных параметров испытания, например от частоты возбуждения (числа оборотов), скорости движения (для транспортных машин), частоты ударов (для пневматического инструмента).

Для случайных процессов представляются графики спектральных плотностей или же средние квадратические значения для реализации достаточной длины (оговоренной в программе).

Результаты обработки данных измерения должны служить дополнением к протоколу испытаний, в который должны также входить:

- программа измерений;
- оценка результатов измерения в соответствии с требованиями стандартов ТУ и санитарных норм.

При типовых испытаниях необходимо делать анализ результатов испытания, соответствующий цели измерений.

Правила оформления документов на испытания приведены в ГОСТ 3.1506—75, правила оформления документации контроля — в ГОСТ 3.1503—74.

9. ПОДГОТОВКА К АТТЕСТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Вопросы испытания изделий в процессе производства, хранения и эксплуатации очень тесно переплетаются с вопросами испытаний этих же устройств при государственной аттестации их качества.

Аттестация промышленной продукции предусматривает проведение комплекса организационно-технических и экономических мероприятий, направленных на своевременное внедрение в производство научно-технических достижений и планомерное повышение качества выпускаемой продукции.

Цель государственной аттестации продукции — стимулирование разработки и внедрения прогрессивных процессов, обеспечивающих выпуск изделий высшего качества, и кроме того создание основы для стандартизации и типизации оптимальных процессов.

Основными задачами аттестации являются:

- увеличение объемов производства продукции, соответствующей лучшим отечественным и мировым достижениям или превосходящей их, для полного удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения страны;

- расширение производства прогрессивных конкурентоспособных машин, оборудования и приборов;

- ускорение модернизации производства.

Аттестация продукции является основой для:

- планирования объемов производства промышленной продукции по категориям качества;

- повышения технического уровня и качества промышленной продукции;

- оценки деятельности предприятия, объединения, отрасли в повышении технического уровня и качества промышленной продукции;

- стимулирования преимущественного производства промышленной продукции с государственным Знаком качества.

Вновь разработанная продукция аттестуется с начала серий-

ного производства с учетом рекомендаций ГОСТ 15.001—73, ГОСТ 15.003—79 о постановке данной продукции на производство.

В соответствии с рекомендациями ГОСТ 15.001—73 (приложение 3 к стандарту) приемочная комиссия дает предложения об отнесении продукции к категории качества и указывает ориентировочные сроки проведения ее аттестации.

Ориентировочные сроки аттестации вновь разработанной продукции устанавливаются с учетом анализа производственных возможностей производственного объединения, предприятия, организации-изготовителя.

При анализе учитываются: сложность конструкции изделия; тип производства; технологическая оснащенность производства; уровень механизации и автоматизации технологических процессов; метрологическое обеспечение; культура производства.

Годовые планы аттестации составляются с учетом рекомендаций приемочной комиссии по вновь разработанной продукции.

Аттестация вибрационных ударных испытательных установок заключается в исследовании параметров ударного ускорения, воспроизводимого установкой в предусмотренных технической документацией режимах, и определении соответствия частоты следования ударов установки паспортным данным.

К параметра ударного ускорения, подлежащим определению, относятся: пиковое ускорение; максимальное ускорение по усредненной кривой; длительность ударного ускорения; ориентировочная оценка формы кривой ускорения.

К параметрам вибрации, подлежащим определению, относятся: диапазон частот, максимальное ускорение, амплитуда колебаний.

Разработка и проведение мероприятий по подготовке продукции к аттестации возлагается на производственные объединения, предприятия и организации.

Для реализации утвержденных планов аттестации продукции производственные объединения, предприятия и организации должны обеспечить проведение следующего комплекса мероприятий по повышению качества выпускаемой продукции:

систематическую оценку технического уровня и качества изделий в сопоставлении с лучшими отечественными и зарубежными образцами;

совершенствование конструкции;

совершенствование технологии изготовления, методов контроля и испытаний на основе использования современных достижений науки и техники;

удовлетворение взаимоувязанных требований к качеству сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий;

проведение работ по комплексной механизации и автоматизации производства;

мероприятия по метрологическому обеспечению;

поддержание стабильности показателей качества, основанной на соблюдении технологической дисциплины, ритмичности и высокой культуры производства;

повышение уровня специализации производства;

проведение комплекса работ по стандартизации;

мероприятия по соблюдению действующих стандартов, ТУ;

сбор и анализ технико-экономических показателей качества продукции по данным эксплуатации;

определение оптимальной потребности в запасных частях на установленный ресурс изделия;

внедрение ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП, СППП (системы поставки продукции на производство);

проведение заводской аттестации качества изготовления деталей, сборочных единиц, производимых предприятием для комплектации продукции собственного производства.

Установка, представляемая к аттестации, должна удовлетворять следующим требованиям:

каждая установка должна иметь техническое описание, инструкцию по монтажу, инструкцию по эксплуатации, в которой должны быть представлены данные по пиковому ускорению и длительности ударного ускорения на расчетных режимах установки;

установка должна быть смонтирована на бетонированном полу, непосредственно связанном с грунтом, и закреплена с помощью фундаментных болтов;

крепление установки должно соответствовать технической документации на данный тип установки;

установки со свободно падающей платформой должны быть укомплектованы сменными прокладками (не менее трех комплектов);

грузы, устанавливаемые на платформе, должны быть сплошными металлическими телами с отношением высоты к наибольшему размеру в горизонтальной плоскости не более 1,0; грузы должны быть плотно прижаты к платформе через резиновую прокладку толщиной до 1 мм.

Перед проведением аттестации необходимо выполнить следующие подготовительные работы:

проверить отсутствие зазоров при работе моментного ключа;

проверить емкость и сопротивление изоляции ИП на соответствие паспортным данным;

определить емкость и сопротивление изоляции, а также проводимость центрального провода и экранирующей оплетки соединительных кабелей;

проверить функционирование переносного источника образцовых напряжений совместно с электронно-лучевым осциллографом;

проверить срок годности используемой фотопленки;
при включенном стенде проверить отсутствие не предусмотренных конструкцией зазоров между деталями.

Измерительный преобразователь следует закрепить на платформе по правилам, предусмотренным технической документацией на ИП. К ИП должен быть присоединен соединительный кабель, закрепляемый прижимами, входящими в комплект измерительного преобразователя.

Для аттестации испытательных установок сначала необходимо установить первый из режимов установки, предусмотренных документацией. Дальнейшая аттестация испытательных установок и испытательного оборудования проводится в соответствии с требованиями МИ 24—74, МИ 49—75 и ГОСТ 20497—75.

Так как большая часть виброиспытательных установок является стационарными, то аттестация их должна проводиться на месте эксплуатации.

Образцовые вибрационные установки 2-го разряда требуют периодической поверки и аттестации по образцовым средствам 1-го разряда согласно ГОСТ 8.138—75.

Для вибрационных установок ОВУ-1М и ОИВУ-2М Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Менделеева разработал образцовый виброметр, с помощью которого удалось уменьшить погрешность поверки до $\pm 5\%$ в диапазоне частот 1—10 000 Гц.

Процесс аттестации весьма трудоемок и занимает много времени. Кроме того, при аттестации используется большое число различных приборов, что снижает воспроизводимость измерений.

Устранить указанные недостатки позволяет использование передвижной поверочной виброизмерительной лаборатории (ППВЛ). С ее помощью можно проводить метрологическую аттестацию испытательных виброустановок непосредственно на месте их эксплуатации; при этом отпадает необходимость оснащения виброустановки дорогостоящим комплексом измерительных средств, требующихся для аттестации.

Использование ППВЛ позволяет периодически и планомерно проводить аттестацию испытательных виброустановок на различных объектах, упрощает контроль за современным выявлением и аттестацией вновь установленных виброустановок; обеспечивает оперативное метрологическое обслуживание предприятий, имеющих виброиспытательные установки.

Регистрация частот и ускорения вибрации осуществляется с помощью цифropечатающего устройства. Результаты измерений обрабатываются на ЭВМ «Минск-32», «Наири-3» и др.

Результаты аттестации оформляют протоколом по форме, приведенной в справочном приложении МИ 49—75 и ГОСТ 20497—75.

Установку считают пригодной к эксплуатации, если при аттестации установлено ее соответствие требованиям технической документации.

Для дальнейшего повышения качества продукции и эффективности производства, кроме аттестации средств и условий измерений, требуется соответствующая метрологическая аттестация средств испытаний и прецизионного технологического оборудования, а также создание межотраслевых центров испытаний качества продукции.

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ**1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ**

При механизации и автоматизации процессов контроля и испытания приборов особое внимание должно быть уделено выполнению специфических требований: сокращению зависимости результатов испытания от субъективных особенностей проверяющего и особенностей поверочного оборудования, обеспечению идентичности условий проверки и повышению надежности. Следует иметь в виду, что даже незначительные изменения в режиме проверки приводят к несопоставимости результатов двух проверок одного и того же прибора.

Механизация и автоматизация операций контроля и испытания дает возможность в случае применения программных устройств приблизить режим испытания к реальным условиям работы прибора и более полно выявить его точность, быстродействие и надежность. Особенно это важно для средств измерений, работающих в сложных условиях при быстрых и весьма резких изменениях входных величин, что далеко не всегда может быть воспроизведено в контрольно-испытательных установках ручного действия [12].

Решение вопроса о механизации и автоматизации операций контроля и испытания должно быть связано с организацией производства. Эффективность той или иной установки для механизации операции контроля, особенно в мелкосерийном производстве, в значительной степени определяется тем, ведется ли процесс вне потока либо осуществляется на одно- или многопредметной поточной линии, степенью механизации других операций, выполняемых на линии (уровня автоматизации поточной линии в целом).

В настоящее время существует сравнительно мало полностью автоматизированных контрольно-испытательных установок, работающих в основном в составе автоматических линий.

Наиболее важными составными частями автоматических и механизированных контрольно-испытательных установок являются механизмы, выполняющие следующие функции [12]:

- подачу аппаратуры к месту контроля (испытания);
- ориентацию и закрепление аппаратуры;
- включение в измерительную и контрольную схему;
- выполнение заданной программы испытания (контроля);
- фиксацию (печатаение) результатов испытания;

выключение испытуемого прибора из измерительной, контрольной схемы;

открепление прибора;

съем прибора с места испытания;

транспортировку прибора на следующую операцию.

В соответствии с этим в блок-схему автомата или полуавтомата для контроля (испытания) прибора обычно входят следующие функциональные узлы:

механизм перемещения, ориентации, закрепления и включения прибора в измерительную, контрольную схему;

блок задания испытательных режимов по принятой программе;

преобразователь и усилительно-измерительное устройство для измерения показаний прибора при его контроле (испытании);

записывающее устройство, фиксирующее результаты испытания;

отбраковывающее устройство;

счетчик числа испытаний;

блокировочное устройство;

устройство для транспортирования прибора на следующую операцию.

Задача механизации и автоматизации операций контроля аппаратов должна решаться в комплексе с операциями общей сборки и регулировки аппаратуры и выполняться, как правило, на поточной линии.

Имеется, однако, ряд случаев (серийная сборка, большая трудоемкость контрольно-испытательной операции и др.), когда механизированная или автоматизированная контрольно-испытательная установка предназначается для работы вне потока. Техничко-экономическая целесообразность этого должна быть обоснована.

Автоматизация процессов, связанных с контрольными испытаниями аппаратов, измеряющих параметры вибрации и ударов, имеет целью: сокращение зависимости результатов испытания от субъективных особенностей поверочного оборудования, применения в каждом отдельном случае; повышение производительности процесса и снижение себестоимости испытания; обеспечение идентичности условий проверки и ее надежность.

Одной из прогрессивных конструкций перестраиваемой контрольно-испытательной установки является такая, в которой применяются типовые блоки, позволяющие преобразовывать команды от образцового средства измерения или преобразователя в цифровой код. В этом случае установка состоит из типовых блоков, которые не меняются при переходе от контроля аппаратуры одного типа к контролю аппаратуры другого типа, если только сигналы могут быть выданы в виде электрических сигналов или преобразованы в них. Сменяется или перестраивает-

ся только один или два блока — задающий программу испытаний и имитирующий работу аппаратуры. Преимуществом установки такого вида является ее универсальность и возможность применения цифropечатающих измерительных устройств.

При испытаниях продукции подтверждается соответствие ее параметров требованиям технической документации и обнаруживаются дефектные изделия. Испытательные системы в этом случае должны обеспечивать максимально возможную скорость проведения испытаний. Соблюдение требований универсальности и осуществление диагностики здесь необязательно, так как испытывается множество изделий одного типа.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Повышение надежности, долговечности и качества функционирования сложной аппаратуры автоматики, информационно-измерительных систем и приборов вызывает необходимость проведения разнообразных испытаний на воздействие окружающей среды. Среди них важнейшими являются вибрационные испытания.

Требования, предъявляемые к современным механическим испытаниям, настолько сложны, что их комплексное выполнение возможно только при использовании автоматизированных систем управления.

Теории и практике построения таких систем посвящено значительное число публикаций, освещающих некоторые частные вопросы виброиспытаний. Систематическое описание систем силовозбуждения и измерения параметров вибраций содержится в монографии А. А. Кузнецова [28]. Из зарубежных источников можно указать справочник *Shock and Vibration Handbook* [61].

Для повышения надежности, долговечности и качества функционирования устройств используется моделирование внешних воздействий в лабораторных условиях. Разработке средств и методов такого моделирования уделяется в последнее время большое внимание [2].

Создание средств моделирования комплексных воздействий на испытываемую систему является исключительно сложной задачей. В настоящее время делаются только первые попытки создания установок, одновременно моделирующих воздействия вибрации и тепла, вибрации и шума и т. п. Существующие же установки моделируют лишь какое-либо одно воздействие. Наиболее значительное число отказов аппаратуры, установленной на различного рода подвижных объектах, вызывает воздействие интенсивных механических вибраций. Схема, отражающая проведение испытаний изделий на воздействие окружающей среды, представлена на рис. 71.



Рис. 71. Схема проведения испытания изделий при моделировании механических воздействий

Исходными данными для формирования режимов испытаний могут быть записи временных реализаций перегрузок в контролируемых точках изделия. Другим возможным путем получения исходных данных является математическое моделирование. На основании этих исходных данных решается вопрос о том, какой тип сигналов необходимо подавать на входы вибраторов для того, чтобы получить вибрационное состояние изделия, наиболее адекватное режимам эксплуатационных вибраций.

Развитие систем управления вибрационными испытаниями началось с разработки и применения систем, использующих детерминированные моно- и полигармонические сигналы возбуждения. При испытаниях простых механических систем с одной или несколькими степенями свободы замена исходного процесса моно- или полигармоническими сигналами с частотами, соответствующими резонансам, является вполне адекватной. Однако развитие техники привело к появлению сложных механических конструкций, у которых формы колебаний проявляются на близких частотах. С другой стороны, интенсификация эксплуатационных режимов изделий приводит не только к увеличению мощности вибраций, но и к расширению и усложнению их спектра частот.

Структура систем управления виброиспытаниями определяется целями, которые ставятся при проведении виброиспытаний. Основной задачей систем управления моногармоническими процессами является обеспечение заданного уровня первой гармоники или эффективного значения одного из параметров вибрации (ускорения, перемещения или тока катушки вибратора, пропорционального развиваемому усилию) при сканировании частоты возбуждения. В других случаях указанные параметры должны изменяться по заданной программе как функции времени или частоты [2].

В соответствии с целями, которые ставятся перед системами управления, будем рассматривать структуры систем по мере сложности решаемых ими задач.

Разомкнутая система управления моногармоническими испытаниями. Система состоит (рис. 72, а) из генератора синусоидальных колебаний $ZГ$, усилителя мощности $УМ$, вибратора $В$, изделия $И$, измерительных преобразователей $ИП1$ и $ИП2$, регистратора $Р$. В дальнейшем звено, состоящее из усилителя, вибратора, изделия и преобразователей, будем именовать трактом усилитель — вибратор — изделие ($УВИ$). Сканирование частоты вибрации в заданном диапазоне осуществляется с постоянной скоростью. Амплитуда колебаний устанавливается в этом диапазоне частот вручную.

Аналогичным образом устроены разомкнутые системы управления полигармоническими вибрациями с той разницей, что вместо $ZГ$ применяют генераторы сложных полигармонических колебаний с фиксированными частотами. Амплитуды и фазы отдельных гармоник регулируются вручную.

Разомкнутая система испытаний на широкополосную случайную вибрацию. Система состоит (рис. 72, б) из генератора белого шума $ГБШ$ и формирующих фильтров $ФФ$ резонансного типа, с помощью которых вручную формируют заданный спектр процесса на выходе $УВИ$. Спектральная плотность определяется с помощью анализатора спектра $АС$ и фиксируется регистратором $Р$.

Замкнутая система испытаний при моногармоническом возбуждении со сканированием частоты. Кроме элементов, представленных на рис. 72, а, в систему входят (рис. 72, в) анализаторы $A1$ и $A2$, определяющие первые гармоники или эффективные значения выходных сигналов y_1 и y_2 , устройство управления $УУ$ и регулятор сканирования $РС$. Устройство управления предназначено для поддержания измеряемого параметра на заданном уровне a_{y1} при помощи воздействия на амплитуду сигнала, генерируемого $ZГ$. Регулятор сканирования $РС$ управляет скоростью сканирования $ZГ$ в зависимости от амплитудно-частотной характеристики изделия. В многоканальных системах этого типа можно одновременно измерять и регистрировать частные характеристики по сигналам других преобразователей.

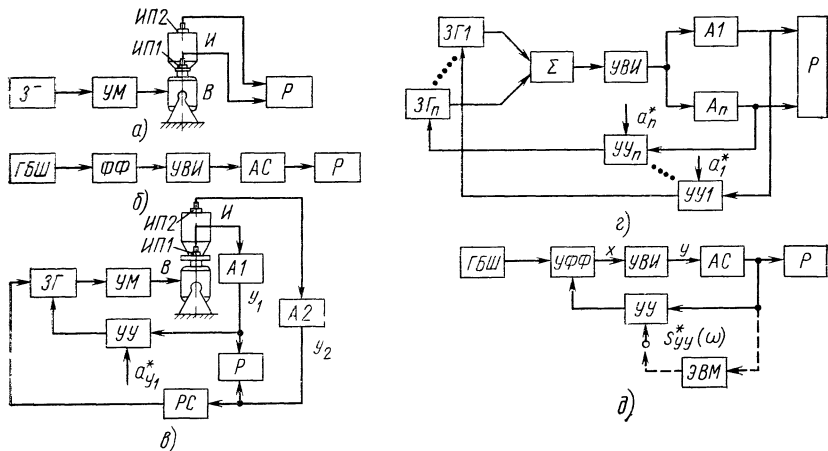


Рис. 72. Структурные схемы систем управления механическими испытаниями

Замкнутая система управления при полигармоническом возбуждении. Система состоит (рис. 72, *з*) из нескольких генераторов ZG_1, \dots, ZG_n , сумматора, $УВИ$, анализаторов A_1, \dots, A_n амплитуд соответствующих гармоник и управляющих устройств $УУ_1, \dots, УУ_n$, которые управляют амплитудами гармоник ZG_1, \dots, ZG_n таким образом, чтобы амплитуды гармоник выходного сигнала $УВИ$ поддерживались на заданном уровне.

Замкнутая система управления однокомпонентной широкополосной случайной вибрацией. Система состоит (рис. 72, *д*) из генератора белого шума $ГБШ$, управляемого формирующего фильтра $УФФ$, $УВИ$, анализатора спектра $АС$, регистратора P и управляющего устройства $УУ$, которое воздействует на регулируемые параметры так, чтобы добиться соответствия измеренного спектра заданному.

Следующим уровнем сложности таких систем являются гибридные цифроаналоговые системы, включающие цифровую $ЭВМ$ (на рис. 72, *д* эта связь представлена штриховой линией). $ЭВМ$ используется для автоматической коррекции аналоговой системы управления при наличии нелинейных искажений.

Заметим также, что на базе замкнутых и разомкнутых систем управления однокомпонентной широкополосной случайной вибрацией можно легко построить системы управления узкополосной случайной вибрацией с автоматической разверткой средней частоты.

Для расчета механических процессов конструкцию представляют в виде некоторой модели, которую можно условно разбить на две части: физическую модель и расчетную схему. Физическую модель представляют в виде дискретной модели-сетки, определяющей конфигурацию и взаимное расположение деталей

конструкции. Расчетная схема является математическим описанием процессов в модели-сетке.

При разработке расчетной модели нужно, по возможности, стремиться к тому, чтобы не вносить никаких принципиальных упрощений в рассматриваемые физические явления с тем, чтобы избежать неконтролируемых погрешностей. Это не относится к погрешностям дискретизации среды, которые являются неизбежными и могут быть в принципе оценены.

Для примера рассмотрим моделирование внешних механических воздействий на радиоэлектронную аппаратуру (РЭА).

Несмотря на большое разнообразие конструкций РЭА, по методу механического расчета их можно разделить на две группы.

1. Монолитные блоки. К ним относятся блоки, в которых промежутки между радиодеталями заполнены компаундом, пенопластом, резиной и т. п. В таких блоках почти нет пустот и модель-сетка для них трехмерна.

2. Конструкции, в которых деталями, несущими механическую нагрузку, являются пластины и стержни. Для таких конструкций возможно упрощение модели-сетки с целью сокращения числа узлов. Для пластин возможно построение двумерных сеток, а для стержней — одномерных.

В работе [32] рассматривается методика расчета механических процессов в конструкциях РЭА с помощью ЭВМ на основе развития метода конечных разностей. Такую методику называют цифровым моделированием вибраций в конструкциях. Метод цифрового моделирования является достаточно универсальным и позволяет проводить расчеты для разнообразных сложных конструкций. Однако следует заметить, что расчет на ЭВМ выполняется в числах и не позволяет получить аналитические зависимости. Поэтому цифровое моделирование не исключает точных методов расчета в тех случаях, когда они могут быть применены.

3. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К АВТОМАТИЧЕСКИМ ИСПЫТАТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ

Требования, предъявляемые к автоматическим испытательным системам (АИС), имеют чрезвычайно широкий диапазон, что обусловливается разнообразием задач испытаний даже в пределах одной и той же отрасли промышленности.

Если не рассматривать точной модели той или иной испытательной ситуации и ограничиться самыми общими характеристиками будущих АИС, то основные требования можно сформулировать следующим образом [52, 54, 55]:

АИС должны быть укомплектованы программируемым оборудованием, которое исключает отрицательные свойства, присущие современному программному обеспечению;

- АИС должны обладать мощными диагностическими возможностями для существенного сокращения больших затрат времени на поиски повреждений;

надёжность АИС должна быть высока.

Математическое обеспечение. Характер современных систем математического обеспечения является весьма существенным фактором, тормозящим более широкое применение автоматизированных испытаний. Многообразие новых языков программирования, формально различных, но по существу аналогичных, не способствует решению проблемы. Во многих случаях часы, затраченные ранее одним оператором на проведение испытаний, тратятся теперь программистом на написание программы. Все это оправдывается только при испытаниях массовой продукции. Поэтому математическое обеспечение АИС будущего должно быть совершенно специфическим и эффективным.

Разработка методики испытаний. При составлении программы испытаний необходим перевод описания испытаний, составленного на обычном языке, в последовательность машинных команд, т. е. то же, что и в обычном программировании. В то время как математическое описание является точным и полным, описание испытаний на обычном языке не содержит всех необходимых составляющих. Однако даже тщательно написанная испытательная программа может не разработать, например, из-за несогласованности импедансов устройств или из-за того, что высокая скорость работы АИС не позволяет испытываемому объекту достигнуть установленного режима. Поэтому отладка испытательной программы — это не привычный для программистов путь исправления ошибок; а разработка методики испытаний, которая в значительной мере опирается на специальные знания и умение разработчика.

Дополнительная трудность состоит в том, что разработать методику испытаний независимо от АИС, на которой они должны реализовываться, чрезвычайно трудно, так как многие из факторов, которые необходимо учитывать при разработке, являются специфическими функциями структуры конкретной системы.

Существенной частью общей задачи программирования является проектирование и модификация специальных приспособлений для сопряжения испытываемого изделия с АИС. Многие из них должны иметь дополнительные блоки, не входящие в состав АИС (если речь идет об испытаниях электронных устройств средств измерений, то такими блоками могут быть, например, источники напряжения или согласующие нагрузки).

Наконец, программисту приходится иметь дело с такими действиями, автоматизация которых, на первый взгляд, представляется экономически не целесообразной. Всегда существует компромисс между увеличением времени испытаний, связанным с ручным вмешательством оператора, и применением дорогого и сложного приспособления.

Таким образом, даже когда имеется достаточно деталей и набор испытательных процедур, позволяющий формально написать испытательную программу, остается выполнить еще большой объем эволюционной работы, прежде чем программа сможет функционировать. Если это выполняется с помощью какой-либо из систем прямого последовательного программирования, то на переписывание программ тратится, чрезвычайно много времени. Необходима такая система, которая позволяла бы немедленно проверять варианты испытательных программ в рабочей ситуации. Так же быстро должны проводиться изменения, запись и стирание процедур.

В связи с этим требованием проверки испытательных процедур в процессе программирования и трудностями использования при этом реальной аппаратуры встает вопрос о моделировании.

Диагностика. Эффективность и качество АИС резко возрастает, если удается переложить на них основную долю работы по отысканию неисправностей в испытуемом объекте и испытательной системе. Несмотря на ценность автоматического определения функциональной пригодности или непригодности испытуемого устройства, получающийся выигрыш во времени может оказаться незначительным по сравнению с потерями времени на последующее выявление причин неисправности - с помощью дедукции и испытаний, проводимых вручную.

Автоматическая диагностика достигла значительно больших успехов в области цифровых, чем в области аналоговых устройств. Это объясняется тем, что поведение цифрового устройства точно моделируется с помощью легко проверяемых таблиц истинности. Однако прямолинейный подход применительно к современным сложным логическим системам оказывается слишком громоздким. Диагностика таких систем должна проводиться автоматически, поскольку выполнить это вручную со сколько-нибудь высокой степенью надежности практически невозможно. Однако это представляет одну из труднейших задач в области автоматических испытаний.

Препятствием для развития автоматической диагностики служит отсутствие доступа ко многим точкам испытуемого объекта (если речь идет об испытаниях электронного оборудования). Поэтому приходится и дальше полагаться на искусство испытателя при ручной диагностике. Однако и в этом случае машина может оказать помощь в виде графических и текстовых инструкций и сэкономить время, требуемое на просмотр справочников и схем.

Однако даже такая машина, обеспечивающая полуавтоматическую диагностику, все-таки потребует сложной операционной системы и, следовательно, больших первоначальных затрат на разработку математического обеспечения АИС.

Аппаратура. Опыт применения АИС [53] показывает, что в настоящее время при разработке новых АИС упор делается не

на аппаратное, а на математическое обеспечение. Причина состоит в том, что существующая аппаратура, поскольку ее построение базируется на практике ручных испытаний, считается вполне удовлетворяющей всем требованиям. С другой стороны, системы программного обеспечения далеки от совершенства, и на них обычно расходуется много времени и затрачиваются значительные средства.

Практически стандартным стало построение АИС из лабораторных приборов с дистанционным управлением. Преимуществами такого метода являются законченность каждого блока, простота замены и возможность использования в неавтоматизированных испытательных устройствах.

В современных АИС используется большое число различных программируемых измерительных устройств возбуждения. Нестандартные сигналы возбуждения формируются специальными источниками сигналов, механическими решающими устройствами и сервосхемами.

Автоматическая испытательная система состоит из двух основных частей — автоматического исполнительного обеспечения (аппаратуры) и системного программного обеспечения (исполнительных и прикладных программ). Исполнительная программа определяет язык АИС, а также правила и иерархию событий, в соответствии с которыми действует система. Иначе говоря, исполнительная программа содержит все существительные, глаголы и модификаторы языка, его синтаксис или грамматику и структуру.

Вторая часть программного обеспечения АИС — прикладная, или тестовая программа (ТП). Она направляет АИС на выполнение конкретной испытательной процедуры. Для решения этой задачи ТП выбирает определенные слова и правила исполнительного языка.

Процесс подготовки ТП разбивают на три этапа:
анализ плана испытаний и составление программы;
кодирование программы и ее коррекция (программирование);
отладка программы.

Чем выше уровень языка, тем меньше суммарное время, затрачиваемое на программирование, причем существенная экономия достигается не только на втором, но и на третьем этапе. Поскольку почти половина времени тратится на отладку, программное обеспечение АИС должно включать средства, помогающие инженеру-испытателю в этом процессе.

Применение языка высокого уровня дает, с точки зрения испытателя, следующие преимущества:

уменьшение расхода времени и средств на разработку программы;

повышение качества программной документации;
повышение надежности программы.

В целом при выборе для АИС языка высокого или низкого

уровня авторы рекомендуют учитывать следующие факторы [59]:

число, тип и сложность ТП, подлежащих разработке; если число программ невелико и они достаточно просты, разработка сложного компилятора может оказаться нецелесообразной, состав, подготовку и обязанности группы разработчиков ТП; важнейшим преимуществом компилятора высокого уровня является то, что он освобождает проектировщика испытаний от необходимости детально знать состав и работу АИС;

необходимость в изменениях программы после ее окончательной проверки; необходимость привлечения к работе других лиц, помимо тех, кто разрабатывал ТП; язык высокого уровня и улучшенная документация упрощают эту проблему;

необходимость в изменении конфигурации АИС при переходе к другому испытываемому изделию; каждое такое изменение может потребовать соответствующего изменения в компиляторе; при использовании языков высокого уровня эти изменения вносить сложнее, но сами ТП оказываются более независимыми от изменений (язык высокого уровня разрешает при изменении испытательного оборудования напечатать или вывести на дисплей соответствующее сообщение);

необходимость добавления диагностической части ТП — «НЕ ИДЕТ»; эта часть испытаний связана с анализом типов повреждения исполнительного механизма, при котором устанавливается форма проявления этих повреждений; кроме того, определяется характер тестов, необходимых для выявления мест повреждения;

необходимость тщательной проверки всех разработанных к данному моменту схем, планов и документации.

Исполнительная программа. Она должна отражать тип испытаний, выполняемых АИС. Например, язык АИС для испытания электронных устройств должен включать термины по электронике, а для испытаний механических или пневматических устройств — термины, применяемые в механизмах и пневмосистемах. Кроме того, задачи, решаемые АИС, отражаются также самим уровнем языка.

Под уровнем языка понимаем степень его близости к обычному разговорному языку. Примерами языков высшего уровня являются ATLAS (Abbreviated Test Language for Avionic Systems) — сокращенный язык для испытаний авиационных систем), БЭЙСИК, ФОРТРАН, ЯСК, МИНСК-22.

Взаимодействие человека с машиной. Для того чтобы система человек — машина могла функционировать, необходимо иметь не только чрезвычайно сложную операционную систему, но и общий язык, позволяющий человеку и машине общаться в диалоговом режиме. Этот режим состоит в том, что программист вводит инструкцию, машина проверяет ее правильность,

превращает в машинный код и немедленно выполняет, передавая результат обратно программисту.

При использовании системы человек — машина необходимо учитывать следующие специфические черты человека-оператора:

сложный характер зависимости надежности его работы от режима работы машины (наивысшая надежность — при умеренном режиме; чрезмерное повышение или снижение режима существенно снижает надежность);

значительные флюктуации точности и надежности работы человека в зависимости от его физического и морального состояния;

снижение надежности и точности при длительной работе из-за утомления;

возможность самовосстановления утраченных по какой-либо причине деловых качеств.

Все эти факторы вызывают значительные трудности при оценке надежности человека как элемента системы и оценки надежности АСУ в целом.

В общем случае эргатическая система (любая физическая система с участием человека) состоит из технической системы (технических объектов), системы исполнителей (для технического обслуживания, подготовки к работе, ремонта и т. д.) и системы операторов (для целей управления объектами). Обычно можно выделить два периода эксплуатации эргатических систем: подготовка к работе и работа. В последнем случае несвоевременность действий оператора можно рассматривать как его ошибки, так как и ошибочное и несвоевременное действие могут привести к одинаковому результату — невыполнению задания (отказу АСУ).

В процессе проверки оператор оценивает состояние испытуемого объекта с помощью информации, выдаваемой проверочной аппаратурой. Он не ощущает непосредственно тех явлений, которые проверяет. Поэтому оператор должен создать некоторую мысленную модель процесса, которая, как и все модели, не охватывает полностью реальных событий, но позволяет оператору эффективно действовать в различных ситуациях.

Измерение глубины и интенсивности умственной работы оператора при наблюдении за автоматической работой аппаратуры контроля и испытания является важной задачей инженерной психологии.

Система человек — машина. Общие эргономические требования рассматриваются по следующим государственным стандартам: ГОСТ 20921—75, ГОСТ 21480—76, ГОСТ 21829—76, ГОСТ 21837—76, ГОСТ 21958—76, ГОСТ 22613—77, ГОСТ 22614—77, ГОСТ 22615—77; правила составления и текст пояснительных надписей и команд для радиоэлектронной аппаратуры — по ГОСТ 23090—78, передача данных — по ГОСТ 17657—79.

4. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Создание мощных систем для контроля и испытаний различных объектов требует разработки комплексного и удобного в пользовании математического обеспечения [50, 57].

Общая блок-схема автоматического испытательного устройства показана на рис. 73, где 1 — внешнее запоминающее устройство; 2 — управляющая ЭВМ; 3 — устройство ввода; 4 — устройство вывода; 5 — переключающая матрица; 6 — источники сигналов; 7 — измерительные приборы; 8 — объект испытания. Принцип работы заключается в подаче на объект заданных сигналов и получении выходных данных, которые могут выдаваться, сравниваться с эталонными или накапливаться. Процесс испытания проходит совершенно автоматически и с большой скоростью.

Большая сложность объектов испытаний предъявляет высокие требования к языкам описания процессов контроля и испытания. Язык описания должен удовлетворять следующим условиям:

написанная на нем программа должна одновременно служить и инструкцией по проведению испытания;

язык должен иметь лексикон, охватывающий обширную техническую область;

на языке должны реализоваться все возможности испытательной системы;

язык должен быть легко изучаемым и не сложным, позволяющим быстро написать программы.

В качестве минимального требования к языку выдвигается условие, чтобы он позволял инженеру-испытателю готовить испытательную программу без обращения к программисту.

Наиболее приемлемыми для получения объективной оценки параметров следует признать автоматические испытательные установки, где почти полностью исключено участие человека в процессе проверки.

Относительно легко поддаются автоматизации операции проверки параметров, характеризующих качество подобия, которые моделируются эквивалентными значениями электрических величин (ток, частота, фаза, напряжение, сопротивление, индуктивность и т. д.). К числу изделий с такими параметрами относятся, например, элек-

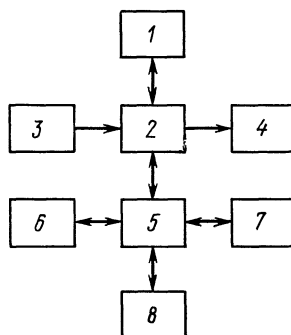


Рис. 73. Блок-схема автоматического испытательного устройства.

тронные и радиотехнические устройства (телевизоры, радиоприемники, средства измерений, электронные вычислительные и управляющие машины, электронные моделирующие установки и т. п.).

В ряде случаев возникает необходимость иметь вторичные преобразователи, предназначенные для преобразования контролируемых неэлектрических величин в электрические величины, более удобные для использования в автоматической испытательной аппаратуре (например, преобразователи виброускорения, ударного импульса, напряжения постоянного тока, частоты в двоичный код импульсов и т. п.).

Подобные преобразователи могут частично входить в состав изделия, а частично являться неотъемлемой принадлежностью автоматической испытательной установки. Информация с этих преобразователей поступает в автоматическую испытательную установку для дальнейшей обработки.

Как уже было отмечено, для имитации внешних воздействий на изделия при их испытаниях необходимы специальные стенды (вибростенды, ударные стенды и т. п.), для которых должно быть предусмотрено дистанционное управление и регулирование. Управление и регулирование параметров стендов также должно осуществляться автоматической испытательной установкой.

Структура автоматической испытательной установки и последовательность выполняемой ею операции определяется алгоритмами (10) и (11) при соответствующих начальных условиях.

Совершенно очевидно, что число параметров, условия и порядок их измерения для различных изделий будут различными. Это приводит к тому, что для каждого типа изделий должна быть составлена своя программа испытаний. Однако структура самой автоматической испытательной установки может оставаться при этом неизменной. Следовательно, можно представить себе универсальный автоматический стенд, пригодный для аттестации не одного, а целого ряда родственных типов изделий, например радиоприемников.

Переход от испытания одного типа изделий к другому будет связан со сменой программы испытаний, которая может быть записана на легко заменяемом носителе, и перестыковкой соединительных линий от испытательной установки к объекту испытаний.

Испытательные программы могут быть записаны на любом носителе (перфоленте, перфокартах, магнитной ленте, магнитных дисках) в оперативной памяти машины. В качестве управляющей может быть использована ЭВМ общего назначения или же специальная ЭВМ. При этом испытательная установка в своем составе должна иметь необходимое число преобразователей. Структурная схема универсальной АИС, представленная на рис. 74, поясняет основные принципы работы такой установки [46].

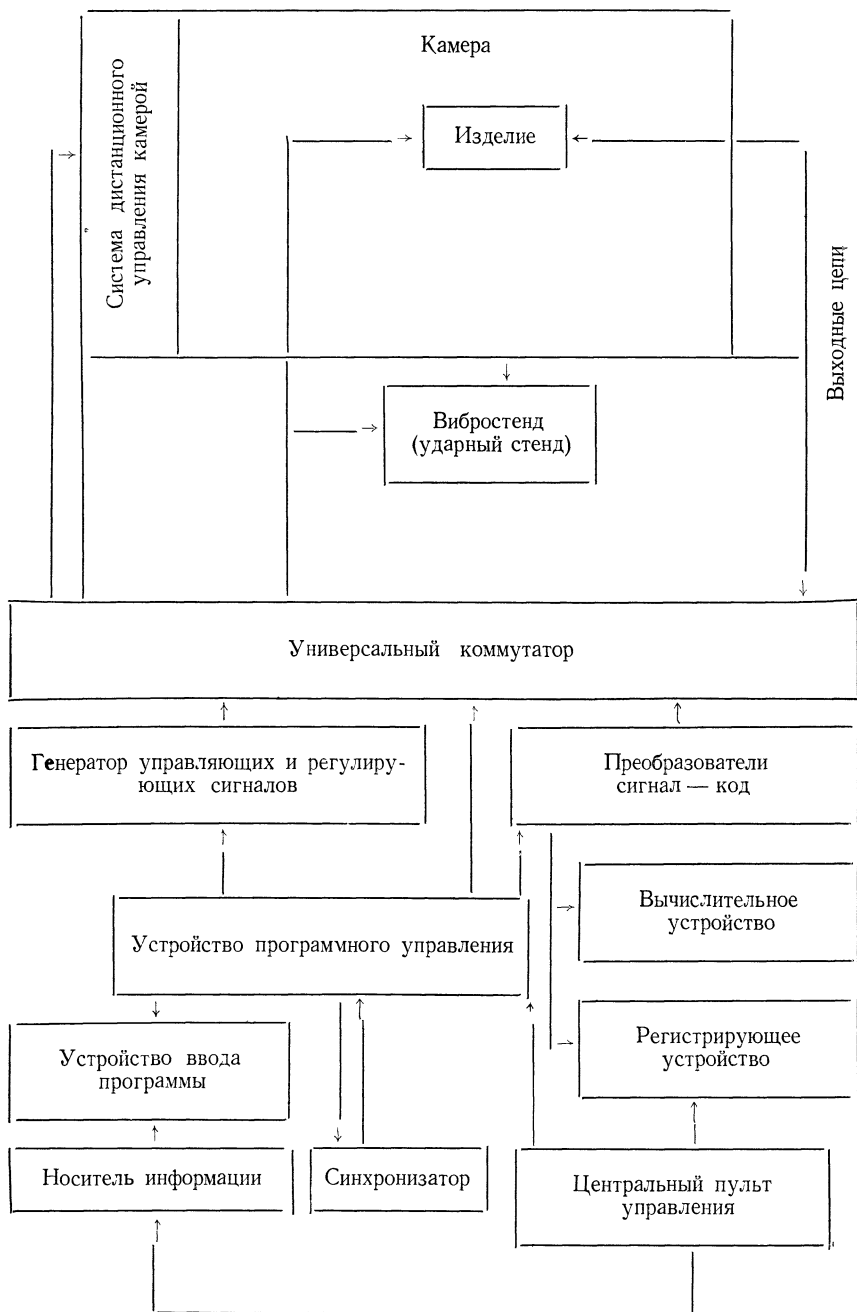


Рис. 74. Структурная схема универсальной автоматической испытательной установки

На носителе информации, который может быть выполнен в виде перфоленты, магнитной ленты, перфокарт и т. п., одним из дискретных кодов записываются следующие данные [46]:

- отличительные признаки (адреса) параметров;
- номинальные значения параметров;
- допустимое отклонение значений контролируемых параметров;
- значения весовых коэффициентов и коэффициентов степени соответствия экономических и эстетических характеристик изделий эталонным значениям (при аттестации качества изделий);
- признаки управляющих сигналов;
- значения управляющих сигналов;
- адреса ~~цепей~~ связи между изделием и испытательной установкой;
- продолжительность испытания параметров или время (момент) начала проверки параметров;
- дата испытаний.

При помощи устройства ввода программы информация поступает в устройство программного управления. Здесь осуществляется дешифрация информации и вырабатываются команды управления всеми устройствами установки.

В соответствии с запрограммированными адресами универсальный коммутатор производит в нужные моменты времени соединения цепей связи между автоматом и объектом испытаний, а также ~~цепей~~ управления специальными стендами.

Контроль параметров изделия осуществляется последовательно. Последовательность проверок закладывается в программе испытаний.

В требуемые моменты времени генераторы вырабатывают и подают на соответствующие входы изделия и специальных стендов управляющие и стимулирующие сигналы, виды и значения которых для каждого параметра записаны в программе.

В редких случаях могут использоваться различные вспомогательные программы, такие, как программы для локализации ошибок в объекте (особенно цифрового типа), что сберегает время и затраты на поиск неисправностей. К ним относят также разного рода программы статистической оценки результатов.

Программа, записываемая на легкоъемном носителе, содержит ~~информацию~~, которая в принципе изменяется при переходе от испытаний одного типа изделий к испытаниям другого типа. Последовательность же операций, которые должен выполнить автомат при контроле каждого параметра, известна заранее; она является «жесткой» для определенных типов параметров и поэтому может быть запрограммирована в некотором внутреннем долговременном запоминающем устройстве. Таким устройством может быть синхронизатор, который в совокупности с устройством программного управления обеспечивает требуемую работу всех устройств АИС.

Значения параметров с соответствующих выходов изделия через универсальный коммутатор поступают на входы преобразователей типа сигнал — код. Как правило, для каждого параметра имеется свой преобразователь, который приводит соответствующую величину к виду, удобному для использования в вычислительном устройстве (например, напряжение постоянного тока в двоичный код, сопротивление в двоичный код и т. п.).

Вычислительное устройство оценивает качество используемой продукции по формуле

$$K = a_1A + a_2B + a_3C + a_4D,$$

где A — коэффициент степени соответствия совокупности технических характеристик конкретного изделия совокупности эталонных технических характеристик ($0 < A \leq 1$); B — коэффициент степени соответствия совокупности эксплуатационных характеристик конкретного изделия совокупности эталонных эксплуатационных характеристик ($0 < B \leq 1$); C — коэффициент степени соответствия совокупности экономических характеристик конкретного изделия совокупности эталонных экономических характеристик ($0 < C \leq 1$); D — коэффициент степени соответствия совокупности эстетических характеристик конкретного изделия совокупности эстетических требований на современном уровне ($0 < D \leq 1$).

В свою очередь, коэффициент A может быть представлен в виде

$$A = \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}A_j)^2}.$$

где m — число технических характеристик; A_j — коэффициент степени соответствия значения j -й технической характеристики эталонному значению данной технической характеристики; a_{ij} — весовой коэффициент j -й технической характеристики изделия в комплексе технических характеристик изделия.

При аттестации качества изделий определяют, находится ли испытуемое изделие в работоспособном состоянии (кондиционное изделие) или некоторые его параметры не укладываются в пределы допустимых отклонений (брак), либо вычисляют значение показателя качества K .

Как видно из системы неравенств (10), состояние испытуемого изделия оценивают по совокупности состояния каждого параметра. Результат контроля параметра получается при этом в виде однозначной оценки — «годен» или «не годен».

Результаты испытаний фиксируются регистрирующим устройством на бланке в виде бумажной ленты, перфокарты и т. п. Одновременно на этом же бланке фиксируются все необходимые сведения (номер изделия, дата испытаний и т. п.), поступающие из блока программного управления.

Имея бланк с результатами испытаний, аттестационная комиссия может всегда установить, по каким именно параметрам изделие не выдержало испытания.

Разработка и оснащение подобными автоматами испытательных центров позволит проводить объективную оценку качества изделий и обеспечит единство испытаний.

5. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ ЭВМ

При выборе метода и уровня автоматизации приходится руководствоваться следующими факторами:

- отношением рабочего к автоматизации;
- возможной экономией, которая позволила бы компенсировать затраты на автоматизацию;
- возможностью применения автоматических испытательных систем в других технологических линиях [56].

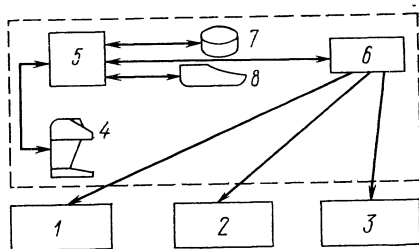
Структура АИС естественным образом распадается на две части — аппаратную и программную. Аппаратная часть наиболее существенно влияет на начальные капитальные вложения; программное обеспечение влияет также и на текущие затраты, связанные с выполнением программ испытаний и с приспособлением АИС к новым задачам.

Первоначально в электронной промышленности ЭВМ использовались как управляющие устройства АИС. Каждая АИС имела встроенную вычислительную машину, единственным назначением которой было управление этой системой. Позже появились мини-ЭВМ с программной операционной системой, предназначенной для одновременного управления несколькими испытательными установками. При таком типе управления каждая испытательная установка или секция должна быть оборудована устройством (так называемым блоком данных), при помощи которого группа приборов взаимодействует с вычислительной машиной как один обычный цифровой терминал.

Этот принцип успешно реализован в целом ряде АИС. Однако введение локального вычислительного устройства в каждый испытательный терминал позволяет получить ряд преимуществ. К ним относятся:

- исключение зависимости каждого испытательного терминала от центральной ЭВМ в реальном масштабе времени;
- уменьшение нагрузки на центральную ЭВМ, что дает возможность одновременно обслуживать большее число терминалов;
- непрерывность работы терминала даже при отключенной центральной ЭВМ;
- использование центральной ЭВМ для развития системы программ;
- использование центральной ЭВМ в качестве устройства для хранения испытательных программ.

Рис. 75. Общая блок-схема испытательной системы



Развитие микропроцессоров чрезвычайно упрощает задачу оборудования испытательного терминала собственным «разумом». В простейшем случае удобно иметь микропроцессор с соответствующей микрооперационной системой в виде

«вставки» между обычным блоком данных и центральной ЭВМ.

На рис. 75 представлена общая блок-схема испытательной системы. Здесь 1, 2, 3 — испытательные терминалы; 4 — пульт центральной ЭВМ; 5 — центральный процессор; 6 — многоканальный последовательный интерфейс; 7 — дисковое запоминающее устройство (ЗУ); 8 — устройство печати.

Успех или неудача в деле создания АИС зависят не столько от аппаратного, сколько от программного обеспечения. В математическом обеспечении АИС следует четко различать три уровня:

- 1) системное обеспечение;
- 2) обслуживающие программы;
- 3) прикладные программы.

Системное обеспечение включает в себя некоторую общую операционную систему и один или несколько трансляторов. Кроме того, оно выполняет некоторые служебные функции, облегчающие общение с вычислительной системой.

Обслуживающие программы фактически являются частью прикладного математического обеспечения. Каждая такая программа позволяет пользователю быстро и просто обратиться к некоторому часто повторяющемуся действию вычислительной машины. Например, такая программа может по короткой директиве вызвать передачу содержимого одного дискового файла в другую.

Третья и наиболее непосредственно используемая часть математического обеспечения — это прикладные программы: первые две части служат лишь для сокращения затрат времени и средств на создание прикладных программ.

Прикладные программы пишутся на одном из машинных языков — от кодов машины и языка АССЕМБЛЕР до языков высокого уровня (ФОРТРАН, МИНСК-22). Существуют и специальные узко направленные языки, облегчающие подготовку программ определенного класса, например язык АТЛАС, применяемый при программировании АИС для электронной аппаратуры.

В качестве удобного принципа программирования испытаний предлагается использовать программы с табличным управлением. Все существенные данные, необходимые для реализации

испытательной процедуры, заносят в испытательную таблицу. Каждая строка таблицы соответствует определенному единичному шагу испытательной процедуры. Таблица может содержать произвольное число строк — от единиц до нескольких сотен.

Обычно каждая строка испытательной таблицы содержит следующую информацию:

номер шага;

сообщение оператора;

наборы символов, необходимые для включения каждого прибора, участвующего в данном шаге (последний из этих наборов обычно определяет характер выполняемого на данном шаге измерения);

контрольное поле, определяющее характер действий, которые должны быть предприняты после того, как будет проведено сравнение измеренного значения с заданными пределами;

верхний и нижний пределы;

следующий шаг, который должен быть выполнен после получения каждого результата сравнения измеренного значения с пределами.

Строка таблицы может содержать и любую другую информацию, соответствующую тем функциям, которые выполняет данный терминал.

После определения формата таблицы пишется интерпретирующая программа, которая преобразует каждую строку таблицы в определенные действия терминала. Эта программа может выполняться либо центральной ЭВМ, либо, если терминал снабжен локальным вычислительным устройством, собственной аппаратурой терминала. В последнем случае центральная ЭВМ служит для разработки новых и хранения существующих испытательных таблиц и используется терминалами как быстродействующее ЗУ.

Благодаря появлению микропроцессоров и недорогих полупроводниковых ЗУ становится экономически целесообразным оборудование каждого испытательного терминала собственным вычислительным устройством. Кроме того, для повышения надежности испытательной системы в целом рекомендуется прибегать к дублированию центральной ЭВМ.

Технические характеристики вычислительных машин (клавишных, перфорационных) даны в ГОСТ 13318—73, ГОСТ 15816—70, ГОСТ 16300—70, ГОСТ 16346—70, ГОСТ 18727—73, ГОСТ 15098—77.

Технические характеристики электронных вычислительных машин даны в ГОСТ 16325—76, ГОСТ 19767—74, ГОСТ 20446—75, ГОСТ 21776—76, ГОСТ 5.1555—72, ГОСТ 21461—76, ГОСТ 21460—76.

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1. НЕИСПРАВНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ОТКЛОНЕНИЯМИ ОТ НОРМ ТУ

Испытательное оборудование считается неисправным, если хотя бы один из его основных или дополнительных параметров не соответствует требованиям, обусловленным технической документацией (ГОСТ, ОСТ, НТД, ТУ).

Неисправное состояние устройства является следствием отказа или повреждения. Отказ приводит устройство в неработоспособное состояние, так как при этом по крайней мере один из основных параметров не соответствует техническим требованиям, предъявляемым к устройству. Повреждение может и не приводить к потере работоспособности, если в результате повреждения устройство перестает соответствовать техническим требованиям только по дополнительным параметрам.

При проведении виброиспытаний или испытания на удар необходимо проявлять осторожность и большое внимание к установлению того режима испытаний, который предусмотрен методикой испытаний. Крепление блока к приспособлению или непосредственно к платформе стенда должно проводиться без поломок и без создания остаточных деформаций в блоке и в местах крепления.

При испытании крупногабаритных блоков на стендах необходимо регулировать положение центра тяжести испытуемого блока так, чтобы центр тяжести блока лежал на линии действия возбуждающей силы вибратора, т. е. лежал на оси, вдоль которой колеблется подвижная часть стенда. Несоблюдение этого условия приводит к повышенным значениям боковых составляющих ускорений и может вызвать неисправность аппаратуры и стенда [19].

Испытания аппаратуры на вибропрочность и виброустойчивость лучше проводить на электродинамических стендах. Но при этом необходимо учитывать, что электродинамический стенд имеет достаточно сильное магнитное поле на уровне платформы вибростенда, которое при испытании на виброустойчивость необходимо экранировать. Если во время испытания возникают резонансные вибрации элементов конструкции, то они снижают амплитуды колебаний платформы вибростенда, несмотря на увеличение мощности возбуждения [14]. На резонансное явление следует обращать внимание, иначе вибростенд (особенно механический) может быть испорчен.

При испытании на удар конструктивные детали (узлы) стенда возбуждаются колебательным, ударным воздействием, в результате которого могут возникнуть неустановившиеся вибрации на частотах собственных колебаний элементов стенда. На это явление следует обращать внимание, иначе стенд может быть испорчен.

Ударные стенды, в отличие от вибростендов, не имеют органов управления параметрами ударного импульса в процессе удара. Так, например, если на электродинамическом вибростенде можно установить требуемую частоту вибрации и нужное виброускорение в процессе испытаний, то на ударном стенде нельзя изменить параметры ударного импульса. Поэтому ударные стенды необходимо периодически тарировать, т. е. экспериментально определять основные параметры ударного импульса: максимальное ускорение, длительность, форму [26].

Экспериментальное определение параметров удара является трудоемкой работой и требует применения сравнительно сложной измерительной аппаратуры. Поэтому при испытании на удар параметры не контролируются, а испытательный режим устанавливается по тарировочным данным стенда, определяющим зависимость ударного ускорения от высоты падения, нагрузки платформы стенда, числа и материала прокладок. Общие рекомендации по методике тарирования стендов и измерения параметров импульса удара приведены в соответствующих нормалях.

Общие рекомендации по обнаружению и устранению неисправностей испытательного оборудования (в вибрационных установках и ударных стендах) приведены в соответствующих отраслевых нормалях и ТУ.

2. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ АППАРАТУРЫ К ПЛАТФОРМЕ СТЕНДА

Стендовые испытания аппаратуры следует проводить в условиях, имитирующих эксплуатационные. Аппаратуру необходимо крепить к платформе стенда тем же способом, что и при эксплуатации. Так как не каждый блок можно укрепить непосредственно на платформе (столе) стенда, то применяют дополнительное промежуточное приспособление, при помощи которого блок жестко скрепляется с платформой вибростенда.

Конструкция приспособлений во многих случаях определяет точность воспроизведения значений воздействующих факторов в местах крепления изделий при испытаниях на воздействие вибрации и удара. Вследствие этого необходимо обращать особое внимание на правильный выбор конструкции приспособлений.

Проектирование приспособлений рекомендуется проводить с учетом массы и размеров испытываемых изделий, а также числа одновременно испытываемых изделий.

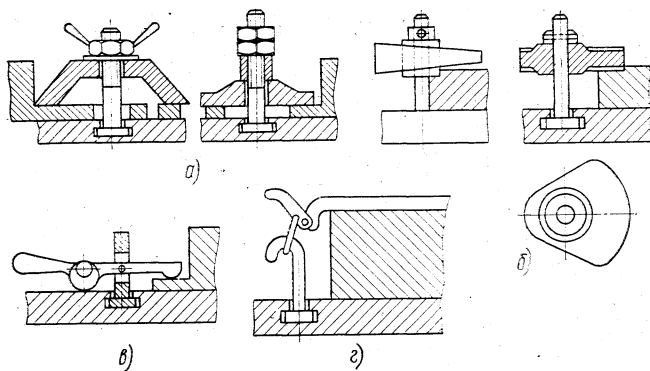


Рис. 76. Крепежные приспособления:

а — накладная планка, *б* — поворотный сектор, *в* — рычаг с эксцентриком, *г* — крепежный хомут

Сконструировать приспособление, передающее вибрации от вибростенда к испытуемому блоку без искажений в широком диапазоне частот, очень трудно, а иногда и невозможно. Задача усложняется еще тем, что вибрации в направлениях, отличных от заданного, должны быть ограничены. В противном случае результаты испытаний будут значительно превышать заданные. Кроме того, что все точки крепления должны иметь определенные амплитуды, в заданном направлении не должно возникать скрытых резонансов в местах крепления.

Рассмотрим различные варианты крепежных приспособлений и способы крепления блока к платформе вибростенда.

Из самых распространенных способов закрепления наиболее удобным и весьма надежным является способ закрепления при помощи накладных планок, притягиваемых к платформе болтами, головки которых входят в Т-образные пазы в платформе (рис. 76, *а*). Кроме этого, можно рекомендовать закрепление при помощи повторных секторов (рис. 76, *б*), рычагов с эксцентриками (рис. 76, *в*) и крепежных хомутов (рис. 76, *г*). Последний способ особенно удобен при испытании аппаратуры, не закрепляемой в процессе эксплуатации.

Максимальная перегрузка, которая может быть получена на данном вибростенде,

$$J_m = \frac{g}{g_0} = \frac{P}{G_0 + G}$$

при частоте колебаний

$$\omega = \sqrt{\frac{J_m}{X_{1m}}},$$

где P — сила, действующая на аппаратуру во время вибрации; G — вес аппаратуры; G_0 — вес подвесной части вибростенда

(платформа с вибратором и т. п.), X_{1m} — максимальная амплитуда колебаний.

При других частотах амплитуда колебаний будет определяться выражением

$$X_1 = \frac{Pg_0}{(G_0 + G) \omega^2},$$

где g_0 — ускорение свободного падения.

Рекомендации по проектированию приспособлений для испытания в широком диапазоне частот малогабаритных изделий на воздействия вибраций даются в ГОСТ 16962—71. Приспособления для таких изделий рекомендуется изготавливать из алюминиевых сплавов в виде сплошных кубов или квадратных пластинок, прикрепляемых к столу вибратора в одной или четырех точках.

К указанным рекомендациям необходимо добавить, что приспособление для малогабаритных изделий (резисторы, конденсаторы, полупроводниковые приборы, лампы накаливания, интегральные, гибридно-интегральные, большие интегральные схемы и др.), масса которых не превосходит 100 г, рекомендуется изготавливать из сплавов с высокими демпфирующими свойствами. Такие приспособления можно применять для крепления изделий и при испытании на ударные нагрузки.

Наиболее предпочтительна конструкция приспособления в виде куба, который позволяет крепить испытываемые изделия сразу в трех плоскостях. Длину ребра куба определяют исходя из размеров и числа испытываемых изделий, размещаемых на одной грани. Резонансную частоту куба в кГц определяют по формуле

$$f_0 = \frac{800}{l},$$

где l — длина ребра куба (стороны квадрата пластинки), мм.

Для того чтобы допустимое отклонение ускорения в любой точке куба не превышало $\pm 25\%$ от заданного, резонансная частота куба должна удовлетворять условию

$$f_0 \geq (1,5 \div 2,0) f,$$

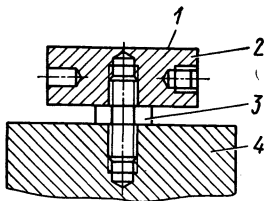
где f — верхняя частота заданного диапазона, Гц.

Если масса приспособления в виде куба получается чрезвычайно большой, рекомендуется изготавливать приспособление в виде квадратной пластинки.

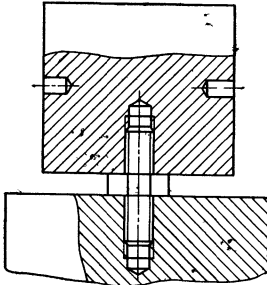
Длину стороны квадрата определяют исходя из числа и размеров испытываемых изделий.

Толщину пластинки в мм, закрепленной в одной точке, определяют по формуле

$$h = \frac{b^2 h}{2500}.$$



а)



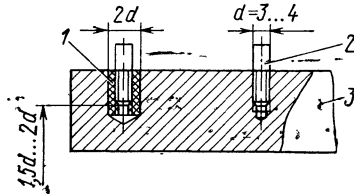
б)

Рис. 77. Способы крепления приспособления к столу вибратора:

1 — рабочая площадка; 2 — приспособление; 3 — резьбовой штуцер; 4 — корпус вибратора

Рис. 78. Способы крепления монтажных стоек к приспособлению:

1 — изоляционная втулка; 2 — стойка; 3 — приспособление



Толщину пластинки, закрепленной в четырех точках, определяют по формуле

$$h = \frac{b^2 f_0}{4500},$$

где f_0 — резонансная частота пластинки, кГц; b — сторона квадрата, мм.

Для того чтобы допустимое отклонение ускорения в любой точке пластинки не превышало $\pm 25\%$ от заданного, резонансная частота пластинки должна удовлетворять условию

$$f_0 > (2 \div 3) f,$$

где f — верхняя частота заданного диапазона. Гц.

Крепление приспособления к столу вибратора рекомендуется выполнять так, как показано на рис. 77, при этом следует применять резьбу диаметром 14—25 мм (рис. 77, а) и шагом 1—1,5 мм (рис. 77, б).

Крепление приспособления в четырех точках рекомендуется выполнять при помощи болтов (винтов).

Приспособления в виде пластинки можно закреплять в вертикальном положении при помощи прижимов или болтов, пропущенных через отверстия пластинки.

Крепление изделий на приспособлении рекомендуется производить непосредственно к стойкам приспособления или на монтажных платах, изготовленных из металла или изоляционного материала.

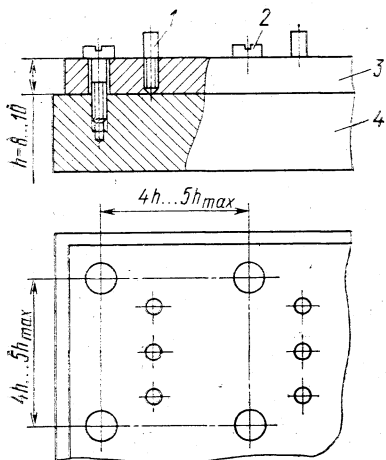


Рис. 79. Рекомендуемый способ крепления монтажной платы к приспособлению:

1 — монтажная стойка; 2 — винт М3-М5; 3 — монтажная плата; 4 — корпус приспособления

Для размещения выступающих частей изделий допускается делать местные сверления и выемки в корпусе приспособления. Рекомендуемые способы крепления монтажных стоек и промежуточных плат показаны на рис. 78 и 79.

Монтажные стойки и изоляторы следует крепить при помощи клея на основе эпоксидной смолы или клея, равноценного

ему. Изделия на печатных платах, изготовленных из текстолита, стеклотекстолита или гетинакса, рекомендуется крепить аналогично монтажной плате (рис. 79). Толщину печатной платы и расстояние между монтажными отверстиями в этом случае подбирают экспериментально так, чтобы резонансная частота ячейки печатной платы вместе с изделием была выше верхней частоты заданного диапазона. Для защиты от замыкания монтажа на корпус приспособления под печатную плату на каждое монтажное отверстие следует ставить шайбы из текстолита или другого изолирующего материала толщиной 1—2 мм. Шайбы рекомендуется приклеивать к корпусу приспособления или к печатной плате.

При размещении изделий на приспособлении должно быть предусмотрено место для установки измерительного преобразователя (контрольная точка). Контрольную точку выбирают на приспособлении по возможности ближе к точке крепления его к платформе вибратора.

При установке приспособления в вертикальном положении допускается выбирать контрольную точку на верхней горизонтальной грани пластинки (куба).

При испытании одного-двух изделий рекомендуется выбирать контрольную точку по возможности ближе к месту крепления одного из изделий.

После изготовления приспособление должно быть аттестовано на правильность передачи воздействия. Для этого достаточно снять частотную характеристику приспособления. Для снятия частотной характеристики приспособление необходимо закрепить предусмотренным для него способом на платформе вибрационного стенда. При плавном изменении частоты по преобразователю, установленному в контрольной точке, поддерживают постоянное ускорение, а по преобразователю, установленному в

точке приспособления, наиболее удаленной от контрольной, проводят измерение ускорения.

Крепление приспособлений к столу вибратора в одной точке можно выполнять в горизонтальном и вертикальном положениях.

Если в заданном диапазоне частот ускорение в точке крепления отличается от ускорения в контрольной точке не более чем на $\pm 25\%$, то приспособление можно считать пригодным для одновременного испытания нескольких изделий.

Если масса изделий превышает 10% массы приспособлений, то снятие частотной характеристики рекомендуется проводить в местах установки всех изделий, причем на приспособлении должны быть установлены эквиваленты изделий по массе, изготовленные из алюминиевого сплава.

При выявлении отклонений ускорения, превышающих допустимые, конструкция приспособления должна быть скорректирована в направлении повышения жесткости (увеличения f_0).

При снятии частотных характеристик приспособлений рекомендуется не учитывать выбросы отклонений ускорений, превышающие допустимые в одной-трех полосах частот, суммарная ширина которых не превышает $5\text{--}10\%$ рабочей полосы частот.

3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ САМОКОНТРОЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Качество АИС возрастает, если кроме автоматизации испытаний они позволяют отыскивать неисправности в испытательной системе.

Несмотря на усилия изготовителей АИС, направленные на повышение надежности систем, имеют место выходы из строя отдельных элементов систем. Представляется весьма перспективным, с точки зрения развития возможностей систем, придание им способностей определения собственного состояния (осуществления самоконтроля).

Основным принципом построения системы самоконтроля является выбор элемента системы, функционирование которого определяет правильность работы испытательной системы. При выборе такого элемента следует исходить из следующего: характеристики выбранного элемента системы должны позволять осуществить проверку других частей системы; выбранный элемент системы должен быть небольшим и максимально надежным.

При разработке алгоритма самоконтроля необходимо рассматривать три его разновидности: проверку правильности функционирования системы, диагностику причин выхода системы из строя и проверку ее характеристик (выявление погрешностей калибровки). Отсюда вытекает второй, основной принцип построения системы самоконтроля — выбор области, на которой будет концентрироваться внимание.

При проверке правильности функционирования системы решается задача типа «да—нет» (находится система в исправном состоянии или нет). Этот случай представляет собой случай последовательного анализа, когда одна за другой проверяются все потенциальные неисправности, до первого отрицательного результата. При второй разновидности самоконтроля — диагностике причин выхода системы из строя — применяется метод параллельного анализа.

В качестве примера построения системы самоконтроля рассмотрим цифровые вольтметры [56]. Построение системы самоконтроля в этом случае делится на два этапа: на первом этапе проводится самоконтроль общего состояния и диагностика причин неисправностей логической части прибора, на втором этапе проверяется характеристика преобразования его аналоговой части. Для наибольшей эффективности и удобства самоконтроля используется цифровое устройство, выдающее в виде таблиц состояние логики в любой выбранный момент времени: какие элементы сработали, что происходит в схеме и куда осуществляется переход. Если при самоконтроле данные, полученные в виде таблиц, соответствуют друг другу, то система находится в исправном состоянии. Если в полученных числах имеют место сбой, то это свидетельствует о неисправности интегральной схемы прибора. Определив место сбоя по последовательности цифр в таблицах, можно соответственно найти место в схеме, где возникла неисправность, т. е. провести диагностику неисправности.

При получении положительных результатов на первом этапе самоконтроля переходят ко второму этапу — проверке характеристики преобразования аналоговых цепей прибора (например, контроль нелинейности характеристики усилительных устройств и правильности работы инверторного усилителя).

Рассмотренный пример показывает, как применение метода самоконтроля позволяет получить отдельные характеристики прибора, которые не могут быть определены при обычной эксплуатации прибора или без проникновения внутрь прибора.

Этапы выбора средств контроля и испытания при разработке процессов самоконтроля представлены в табл. 26.

При анализе характеристик объекта контроля и показателей процесса самоконтроля необходимо учитывать:

вид объекта самоконтроля;

вид контролируемого признака (амплитуда смещения, частота, ускорения вибрации, удара, форма импульса и т. п.);

номинальные значения и допуски на контролируемые параметры.

При технико-экономическом обосновании выбора средств контроля используется показатель экономической эффективности выбираемого средства самоконтроля.

Этапы выбора средств контроля при самоконтроле

Этапы выбора средств контроля	Решаемые задачи	Используемая документация
Анализ характеристик объекта контроля и показателей процесса контроля (испытания)	Выявление характеристик объекта контроля, показателей процесса контроля, определяющих выбор средств контроля, уточнение метода контроля и схемы измерений	Конструкторская документация на изделие. Технологическая документация на изготовление и контроль изделия. Документы, содержащие сведения о количестве, сроках изготовления изделий и испытаний. Методика расчета показателей контроля и испытания
Определение предварительного состава средств контроля и испытания	Определение состава средств контроля, использование которых обеспечивает заданные показатели процесса контроля с учетом метрологических и эксплуатационных характеристик средств контроля (испытания)	Классификатор средств контроля и испытания. Каталоги средств контроля и испытания по ГОСТ 3.1302—74, ГОСТ 3.1105—74. Государственные, отраслевые стандарты и стандарты предприятий на средства контроля и испытания
Определение окончательного состава необходимых средств контроля и испытания	<p>Экономическое обоснование выбираемого средства контроля и испытания. Составление ведомости оснастки, оборудования.</p> <p>Определение недостающих средств контроля и испытания.</p> <p>Определение исходных данных для проектирования средств контроля и испытания. Выдача технических заданий на разработку новых конструкций средств контроля.</p> <p>Оформление технологической документации по результатам выбора средств контроля и испытания</p>	<p>Методика расчета экономической эффективности выбираемых средств контроля (испытания) по ГОСТ 3.1105—74, ГОСТ 14.307—73</p> <p>Картотека применяемости средств контроля по ГОСТ 3.1302—74</p> <p>По ГОСТ 15.001—73, ГОСТ 15.003—79; ГОСТ 12997—76, ГОСТ 16962—71, ГОСТ 22261—76, ГОСТ 14.318—77</p> <p>По ГОСТ 3.1502—74, ГОСТ 3.1105—74, ГОСТ 14.317—75</p>

Методика расчета экономической эффективности выбираемых средств контроля устанавливается предприятием по рекомендуемым формулам (см. приложение 2 ГОСТ 14.306—73, ГОСТ 14.307—73, ГОСТ 14.318—77).

КОНСЕРВАЦИЯ, ХРАНЕНИЕ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ УПАКОВКИ

1. УСЛОВИЯ КОНСЕРВАЦИИ И УПАКОВКА ИЗДЕЛИЯ

Повреждения в аппаратуре и средства испытания при транспортировании изделий к месту назначения и хранения на складах могут быть весьма значительными [4].

Механическое повреждение резко возрастает при увеличении перегрузок аппаратуры. Повреждения от коррозии растут при транспортировании и хранении изделий во влажных областях. Роль упаковки заключается не только в предохранении изделия от механических повреждений, но и в создании дополнительного препятствия, ослабляющего воздействие окружающей среды на изделие.

Эту вторую роль упаковки называют консервацией, понимая под ней совокупность мер, обеспечивающих на длительное время сохранение облика изделия (первоначального или к моменту поступления на консервацию), механической прочности и инертности окружающей среды в состоянии его бездействия, длительного хранения или перевозки.

Таким образом, конструкция упаковки и степень консервации зависят от внешней среды.

Успех консервации зависит от соблюдения режима хранения, определенного для каждого рода изделия. При необходимости обеспечиваются оптимальные условия хранения: постоянная температура, освещенность, влажность, состав воздуха.

Консервация изделий ГСП должна выполняться по ГОСТ 9.014—78 (СТ СЭВ 992—78).

В зависимости от условий транспортирования и хранения изделия могут быть упакованы различным образом. Для упаковки изделий следует применять потребительскую и транспортную тару. Вид тары устанавливает изготовитель аппаратуры.

В качестве потребительской тары следует применять коробки из коробочного картона по ГОСТ 7933—75, гофрированного картона по ГОСТ 7376—77, пенополистирола и других подобных материалов, а также металлические ящики и чехлы из полиэтиленовой пленки по ГОСТ 10354—73 или других полимерных пленок, не вызывающих коррозию изделий.

В качестве транспортной тары применяют:

ящики дощатые типов II, III, V по ГОСТ 2991—76; ящики типа III, усиленные двумя поясными планками, следует применять для транспортирования изделий водным путем;

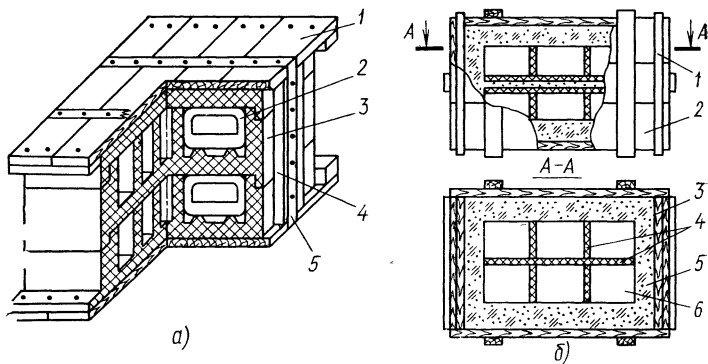


Рис. 80. Схема упаковки изделий:

a — в тару, сочетающую транспортную и потребительскую: 1 — щит деревянный; 2 — изделие; 3 — потребительская тара; 4 — планка деревянная; 5 — стальная лента; *б* — в дощатый ящик; 1 — стальная лента; 2 — дощатый ящик; 3 — водонепроницаемый материал; 4 — гофрированный картон; 5 — древесная стружка; 6 — изделие в потребительской таре

ящики фанерные типов II и VI по ГОСТ 5959—71; ящики типа II следует применять только при пересылке почтой;

ящики многооборотные фанерные по ГОСТ 9395—76 и дощатые по ГОСТ 10198—78;

ящики из гофрированного картона для измерительных приборов по ГОСТ 22852—77;

ящики, футляры деревянные для продукции на экспорт, в том числе и в районы с тропическим климатом по ГОСТ 17532—77Е;

тару на амортизаторах, разработанную для конкретных изделий.

Пример упаковки изделия в тару, сочетающую потребительскую и транспортную, указан на рис. 80, *a*, *б* (по ГОСТ 9181—74, ГОСТ 14225—77).

Способ упаковки изделий ГСП должен обеспечивать их сохранность при транспортировании в контейнерах, закрытых железнодорожных вагонах и самолетах, а также при перевозке автомобильным транспортом с защитой от дождя и снега. Расстановка и крепление в транспортных средствах ящиков с изделиями ГСП должны исключать возможность их смещения и ударов друг о друга (ГОСТ 12997—76).

Для транспортирования изделий в отдаленные районы и районы Крайнего Севера упаковка должна соответствовать ГОСТ 15846—79.

Упаковку изделий следует выполнять в закрытом помещении с температурой воздуха не ниже 15°С и относительной влажностью до 80%, а для изделий, подвергающихся консервации, согласно ГОСТ 9.014—78.

Перед упаковкой наружные металлические поверхности установок и стендов, не защищенные от коррозии, должны быть покрыты слоем консервационной смазки ПВК по ГОСТ 10568—63 (ГОСТ 19537—74) толщиной 0,5—1,5 мм по ГОСТ 13168—68; условия хранения ОЖ или Л по ГОСТ 15150—69.

Упаковку вибропреобразователей следует выполнять по технической документации, утвержденной в установленном порядке.

Детали и сборочные единицы изделий, которые при транспортировании могут перемещаться в результате механических воздействий, должны быть закреплены, а изделия, имеющие арретир, должны быть заарретированы.

Во время упаковки в качестве амортизационных материалов применяют гофрированный картон (ГОСТ 7376—77), вату одежную (ГОСТ 5679—74), войлок (ГОСТ 6418—67), обрезки бумаги (ГОСТ 8273—75), пенополистирол, пенополиуретан и губчатую резину. Допускается применение других материалов, обладающих амортизационными свойствами и не вызывающих коррозию изделий.

В качестве влагопоглотителя применяют мелкопористый силикагель (ГОСТ 3956—76).

При необходимости контроля величины допустимой относительной влажности воздуха внутри чехла используют силикагель-индикатор (ГОСТ 8984—75). Нормы закладки силикагеля приведены в ГОСТ 9.014—78 и ГОСТ 23216—78.

Ингибированная бумага должна быть пропитана ингибиторами Г-2, Г-3, Г-4 и П-4 (ГОСТ 16295—77).

Маркировка транспортной тары осуществляется по ГОСТ 14192—77.

Условия транспортирования изделий в части механических воздействий установлены в стандартах и ТУ на конкретные изделия.

Транспортирование установки в упаковках осуществляется любым видом транспорта, за исключением морского, при условии защиты ящиков от прямого воздействия атмосферных осадков и механических повреждений.

Установки в упаковках следует хранить в закрытых помещениях при температуре от 5 (278° К) до 40° С (313° К), относительной влажности не более 80% при отсутствии в окружающей среде паров кислот, щелочей и других вредных примесей.

Условия хранения изделий ГСП должны соответствовать ГОСТ 15150—69 и указываться в стандартах или ТУ на изделия ГСП конкретных групп и видов согласно ГОСТ 12997—76. Хранение государственных эталонных средств измерений должно соответствовать ГОСТ 8.057—73.

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ УПАКОВКИ

Определение виброзащитных свойств упаковки осуществляется следующим образом:

воздействием на упаковку с изделием гармонической или случайной вибрации с заданными параметрами (ГОСТ 19089—73);

воздействием на образцы тары гармонической вибрацией с заданными параметрами (ГОСТ 21236—75).

При испытании определяют: способность упаковки предохранять изделие от повреждения при воздействии на нее вибрации с заданными параметрами; вибрационные свойства упаковки, которые характеризуют ее способность изменять воздействующую вибрацию при передаче ее на изделие.

При этом определяют следующие показатели:

а) при воздействии на упаковку гармонической вибрации — коэффициент передачи упаковки по среднему квадратическому ускорению на фиксированной частоте;

частотную функцию коэффициента передачи упаковки по ускорению в заданном частотном интервале;

б) при воздействии на упаковку случайной вибрации — коэффициент передачи упаковки по средней мощности, определяемой по ускорению, при заданном воздействии случайной вибрации;

значение усредненного в диапазоне частот квадрата модуля передаточной функции упаковки;

ступенчатую функцию квадрата модуля передаточной функции упаковки в заданном частотном интервале.

Для проведения испытания применяют вибростенд, обеспечивающий воспроизведение вертикальных гармонических колебаний синусоидальной формы; установку и регулирование частоты колебаний в пределах от 1 до 80 Гц в диапазоне ускорений 0,5—10 g; воспроизведение случайных прямолинейных вибраций, воздействующих на упаковку в диапазоне ускорений 1—50 м/с² (0,1—5 g) в заданном частотном интервале.

Предельные отклонения частоты колебаний не должны превышать $\pm 0,5$ Гц. Коэффициент нелинейных искажений должен быть не более 10%.

В процессе испытания на случайную вибрацию следует стремиться к тому, чтобы распределение вероятностей мгновенных значений ускорений вибростола соответствовало нормальному распределению. Отклонение от нормального распределения не должно превышать границ допустимых отклонений, указанных на рис. 81.

Необходимо, чтобы аппаратура обеспечивала измерение среднего квадратического значения ускорения на вибростоле $\sigma_{вх}$ и на изделии $\sigma_{вых}$ с погрешностью не более $\pm 20\%$ ($\pm 1,6$ дБ).

Рис. 81. Отклонение от нормального распределения:

— интегральная функция нормального распределения; — — — границы допустимых отклонений распределения мгновенных значений ускорений

Схема установки образцов тары на столе вибростенда (ГОСТ 21136—75) приведена на рис. 82.

Аппаратуру и средства измерений в упакованном виде испытывают следующим образом:

образец устанавливают на вибростоле так, чтобы вектор воздействующего ускорения был перпендикулярен к поверхности \bar{z} упаковки (см. ГОСТ 18106—72), и жестко закрепляют;

после подготовки аппаратуры системы управления и измерения приводят в движение вибростол и устанавливают параметры, заданные в стандартах или другой нормативно-технической документации на упаковку конкретного вида изделий;

среднее квадратическое ускорение $\sigma_{вх}$ и частота при испытании на гармоническую вибрацию или усредненные в диапазоне частот Δf значения спектральной плотности мощности по ускорению $\bar{S}(\Delta f)_{вх}$ при испытании на случайную вибрацию должны быть такими, чтобы при формировании воздействия вибрации значение среднего квадратического ускорения на любой частоте или значение спектральной плотности мощности ускорения в любом диапазоне не превышали заданных допусков. Этот момент считается началом испытания. Для гармонической вибрации среднее квадратическое ускорение $\sigma = g_{max}/\sqrt{2}$.

После установления заданного режима вибрации вибростола (параметров входа) определяют способность упаковки предохранять изделие от повреждения при воздействии на нее вибрации или определяют параметры вибрации, измеренные на изделии (параметры выхода). По известным параметрам входа

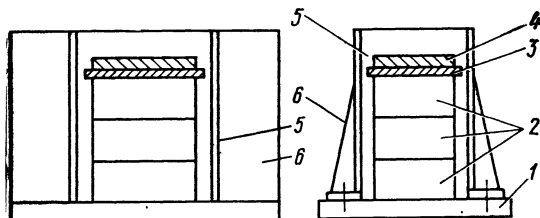
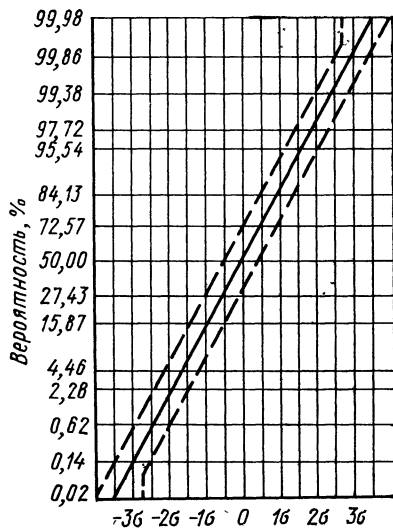


Рис. 82. Схема установки образцов тары на столе вибростенда:

1 — стол вибростенда; 2 — испытываемые образцы; 3, 4 — плиты, создающие нагрузку; 5, 6 — барьеры, ограничивающие перемещение образцов и плит

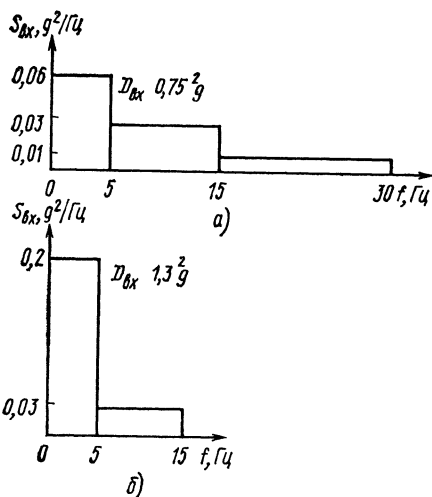


Рис. 83. Спектр плотности мощности по ускорению вибростола:

a — при транспортировании по дорогам с асфальтированным или цементобетонным покрытием; *б* — при транспортировании по грунтовым дорогам с булыжным покрытием

и выхода оценивают показатели, характеризующие виброзащитные свойства упаковки.

При воздействии на упаковку гармонической вибрации снимают показания приборов, позволяющие определить среднее квадратическое ускорение $\sigma_{\text{вых}}$ на каждой из фиксированных частот, указанных в стандартах

или другой нормативно-технической документации.

Если в стандартах или нормативно-технической документации не имеется других указаний, то показания приборов снимают последовательно на фиксированных частотах 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 26; 30 Гц при среднем квадратическом ускорении поверхности вибростола, равном 7 м/с^2 ($0,7 \text{ g}$).

При воздействии на упаковку случайной вибрации снимают показания приборов, позволяющие определить дисперсию ускорений вибрации $D_{\text{вых}}$ и усредненные в диапазонах Δf_k значения спектральной плотности мощности $\bar{S}(\Delta f)_{\text{вых}}$ по ускорению.

Если в стандартах или нормативно-технической документации не указаны параметры входа при испытании, то виброзащитные свойства упаковки определяют по отношению к вибрации, возникающей при транспортировании автомобилями, и спектр плотности мощности по ускорению вибростола при этом должен соответствовать установленным требованиям (рис. 83).

Виброзащитные свойства упаковки определяют по ГОСТ 19089—73:

а) значением коэффициента передачи упаковки по среднему квадратическому ускорению на фиксированной частоте при воздействии гармонической вибрации, вычисляемым по формуле

$$W_f = \frac{\sigma_{\text{вых}}}{\sigma_{\text{вх}}},$$

где $\sigma_{\text{вх}}$ — среднее квадратическое значение ускорения, измеренное на поверхности вибростола; $\sigma_{\text{вых}}$ — среднее квадратическое значение ускорения, измеренное на изделии;

б) частотной функцией коэффициента передачи $W(f)$ упаковки по среднему квадратическому ускорению в заданном ча-

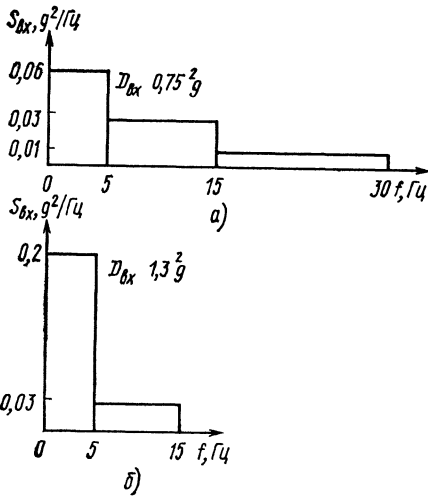


Рис. 83. Спектр плотности мощности по ускорению вибростола:

а — при транспортировании по дорогам с асфальтированным или цементобетонным покрытием; б — при транспортировании по грунтовым дорогам с булыжным покрытием

и выхода оценивают показатели, характеризующие виброзащитные свойства упаковки.

При воздействии на упаковку гармонической вибрации снимают показания приборов, позволяющие определить среднее квадратическое ускорение $\sigma_{вых}$ на каждой из фиксированных частот, указанных в стандартах

или другой нормативно-технической документации.

Если в стандартах или нормативно-технической документации не имеется других указаний, то показания приборов снимают последовательно на фиксированных частотах 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 26; 30 Гц при среднем квадратическом ускорении поверхности вибростола, равном $7 m/c^2 (0,7 g)$.

При воздействии на упаковку случайной вибрации снимают показания приборов, позволяющие определить дисперсию ускорений вибрации $D_{вых}$ и усредненные в диапазонах Δf_k значения спектральной плотности мощности $\bar{S}(\Delta f)_{вых}$ по ускорению.

Если в стандартах или нормативно-технической документации не указаны параметры входа при испытании, то виброзащитные свойства упаковки определяют по отношению к вибрации, возникающей при транспортировании автомобилями, и спектр плотности мощности по ускорению вибростола при этом должен соответствовать установленным требованиям (рис. 83).

Виброзащитные свойства упаковки определяют по ГОСТ 19089—73:

а) значением коэффициента передачи упаковки по среднему квадратическому ускорению на фиксированной частоте при воздействии гармонической вибрации, вычисляемым по формуле

$$W_f = \frac{\sigma_{вых}}{\sigma_{вх}},$$

где $\sigma_{вх}$ — среднее квадратическое значение ускорения, измеренное на поверхности вибростола; $\sigma_{вых}$ — среднее квадратическое значение ускорения, измеренное на изделии;

б) частотной функцией коэффициента передачи $W(f)$ упаковки по среднему квадратическому ускорению в заданном ча-

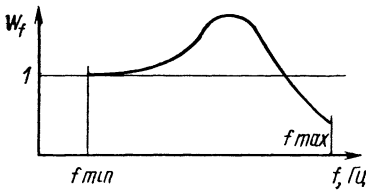


Рис. 84. Частотная функция коэффициента передачи упаковки по среднему квадратическому ускорению

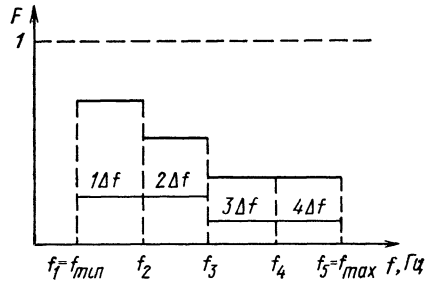


Рис. 85. Вычисление значения усредненных квадратов модуля передаточной функции упаковки

стотном интервале $f_{\max} - f_{\min}$, которая строится по определенным при испытании коэффициентам передачи упаковки по среднему квадратическому ускорению на фиксированных частотах; частотную функцию коэффициента передачи упаковки по среднему квадратическому ускорению представляют в виде графика, по оси абсцисс которого откладывают значения частот f , а по оси ординат — вычисленные значения коэффициентов передачи W_f (рис. 84);

в) значением коэффициента передачи упаковки по средней мощности, определяемой по ускорению \bar{Z} при заданном спектре воздействия случайной вибрации, которое вычисляется по формуле

$$\bar{Z} = \frac{D_{\text{вых}}}{D_{\text{вх}}},$$

где $D_{\text{вых}} = \bar{\sigma}_{\text{вх}}^2$ — среднее значение дисперсии ускорений случайной вибрации, измеренное на изделии; $D_{\text{вх}} = \sigma_{\text{вх}}^2$ — значение заданной дисперсии ускорений случайной вибрации на поверхности вибростола;

г) значением усредненного в диапазоне частот Δf квадрата модуля передаточной функции упаковки, вычисляемым по формуле

$$|\varphi_{(if)}|_{\Delta f}^2 = \frac{\bar{S}(\Delta f)_{\text{вых}}}{\bar{S}(\Delta f)_{\text{вх}}},$$

где $\bar{S}(\Delta f)_{\text{вх}} = \frac{1}{\Delta f} \int_{f_{\text{н}}}^{f_{\text{в}}} S(f)_{\text{вх}} df$ — значение усредненной в диапазоне

частот Δf заданной спектральной плотности мощности по ускорению на поверхности вибростола;

$$\bar{S}(\Delta f)_{\text{вых}} = \frac{1}{\Delta f} \int_{f_{\text{н}}}^{f_{\text{в}}} S(f)_{\text{вых}} df \text{ — значение усредненной в диапазоне}$$

частот Δf спектральной плотности мощности по ускорению, измеренной на изделии; $\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}$ — заданный диапазон частот, ограниченный верхним и нижним значениями частоты;

д) ступенчатой функцией $F\{|\Phi_{(if)}|^2\}$ квадрата модуля передаточной функции упаковки в заданном частотном интервале $f_{\text{max}} - f_{\text{min}}$, которую строят по определенным при испытании значениям усредненных в заданных диапазонах частот Δf_k квадрата модуля передаточной функции упаковки $|\Phi_{(if)}|^2 \Delta f_k$.

Ступенчатую функцию модуля передаточной функции упаковки представляют в виде графика, по оси абсцисс которого откладывают значения диапазонов частот Δf_k , а по оси ординат — вычисленные значения усредненных квадратов модуля передаточной функции упаковки (рис. 85).

Виброзащитные свойства упаковки считают удовлетворительными, если отвечают заданным в стандартах или другой нормативно-технической документации следующие параметры:

коэффициент передачи упаковки по среднему квадратическому ускорению на фиксированной частоте;

частотная функция коэффициента передачи упаковки по среднему квадратическому ускорению в заданном частотном интервале;

коэффициент передачи упаковки по средней мощности, определяемой по ускорению случайной вибрации;

усредненный в диапазоне частот квадрат модуля передаточной функции упаковки;

ступенчатая функция квадрата модуля передаточной функции упаковки (хотя бы на одном диапазоне частотного интервала).

Упаковка считается обеспечивающей сохранность изделия, если число образцов, выдержавших испытания, соответствует установленному в стандартах или другой нормативно-технической документации на упаковку конкретного вида изделий.

3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДАРОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ УПАКОВКИ

Ударозащитные свойства упаковки определяют двумя способами:

воздействием удара на изделие в упаковке, помещенное на платформе ударного стенда;

воздействием на изделие в упаковке удара, возникающего при свободном падении на ударную площадку.

При испытании на ударном стенде определяют следующие показатели (ГОСТ 18424—73):

максимальную перегрузку, действующую на упакованное изделие в момент удара;

длительность действия перегрузки на упакованное изделие;

максимальную перегрузку, действующую на упаковку;

длительность действия перегрузки на упаковку;

коэффициент передачи удара упаковкой изделию.

При испытании на удар при свободном падении определяют только первые два показателя.

Испытания упаковки ударом (толчком) проводят на ударном стенде, обеспечивающем воспроизведение ударов длительностью 1—150 мс с перегрузками до 20 000 м/с².

Форма ударного импульса должна быть близкой к полусинусоиде.

Образец, испытываемый на удар при свободном падении, закрепляют в захватах подъемного механизма (ГОСТ 18425—73), поднимают на заданную высоту в заданном положении и сбрасывают на ударную площадку с одновременным измерением параметров ударной перегрузки, действующей на упакованное изделие.

При испытании на удар, воспроизводимый ударным стендом, образец устанавливают на платформе ударного стенда в положении, определенном стандартом или другой нормативно-технической документацией на упаковку конкретного вида изделий, и задают необходимый режим работы ударного стенда. При включении стенда одновременно измеряют параметры ударных перегрузок на платформе стенда и на упакованном изделии.

Перегрузку вычисляют по формуле

$$G_{\text{н}} = \frac{G_{\text{н1}} + G_{\text{н2}} + G_{\text{н3}}}{3},$$

где $G_{\text{н1}}$, $G_{\text{н2}}$, $G_{\text{н3}}$ — перегрузки, замеренные на упакованном изделии.

Длительность перегрузок

$$\tau_{\text{н}} = \frac{\tau_{\text{н1}} + \tau_{\text{н2}} + \tau_{\text{н3}}}{3},$$

где $\tau_{\text{н1}}$, $\tau_{\text{н2}}$, $\tau_{\text{н3}}$ — длительности замеренных перегрузок.

За результат измерения перегрузки и ее длительности принимают среднее арифметическое результатов трех измерений в каждом из направлений на каждом из выбранных образцов.

При испытании упаковки на ударном стенде определяют коэффициент передачи

$$K_{\text{п}} = \frac{G_{\text{н}}}{G_{\text{у}}},$$

где $G_{\text{н}}$ — перегрузка на упакованное изделие; $G_{\text{у}}$ — перегрузка, действующая на упаковку.

Упаковку считают выдержавшей испытания при свободном

падении, если параметры ударной перегрузки, действующей на упакованное изделие, не превышают допустимых значений, предусмотренных нормативно-технической документацией на изделие.

Упаковку считают выдержавшей испытания на ударном стенде, если коэффициент передачи $K_{\text{п}}$ не превышает коэффициента передачи, конструктивно заложенного в упаковку, и упаковка не имеет повреждений, влияющих на сохранность продукции.

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ

Четкая, качественная и продуктивная работа возможна лишь в том случае, когда она полностью безопасна. Мероприятия по обеспечению техники безопасности бывают профилактические (предупреждающие несчастный случай) и направленные на ликвидацию опасности. Нужно всегда помнить, что легче не допустить несчастный случай, чем ликвидировать его последствия. Классификация средств защиты работающих приведена в ГОСТ 12.4.011—75.

Профилактические мероприятия, проводимые на предприятии, включают [37]:

инструктаж работника;

подготовку рабочего места;

проверку квалификации работника;

периодическую проверку исправности профилактических средств (противопожарного оборудования, защитных сеток, электрического оборудования и т. п.).

Помещение, в котором проводят испытания аппаратуры и средств измерений, должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией или местными отсосами воздуха, которые не допускают концентрации вредных веществ, превышающей предельно допустимые.

Нагреваемые и подвижные части испытательных установок должны быть снабжены защитными устройствами.

К мероприятиям, необходимым для ликвидации начавшейся опасности (несчастного случая), можно отнести следующее:

изучение способов оказания первой помощи как себе, так и окружающим;

изучение расположения средств противопожарной, противохимической, противозлектрической защит, средств связи и овладение навыками пользования ими;

распределение мест при ликвидации опасности.

При несчастном случае, следует действовать энергично, инициативно, быстро, без паники. От паники можно пострадать гораздо больше, чем от несчастного случая.

Для примера рассмотрим травмы, наиболее часто встречающиеся при настройке и испытании радиоаппаратуры:

травмы при механических работах — порезы, уколы, защемления, ушибы;

травмы при паяльных работах — ожоги рук, лица рабочего;

травмы от поражения электрическим током — ожоги, шок;

травмы при химических работах — ожоги, поражение дыхательных путей.

Травмы при механических работах чаще всего имеют место при пользовании инструментом неподходящего размера (гаечными ключами, отвертками) и при пользовании тупым инструментом (ножом, развертками). Во всех этих случаях могут иметь место срывы инструмента с рабочей поверхности, а следовательно, получение травм. Кроме того, травмы возможны, когда рабочий не представляет, в каком направлении будет перемещаться инструмент в случае его срыва. Поэтому нужно взять за правило всегда думать о направлении движения инструмента, а также о том, чтобы инструмент плотно соприкасался с регулируемой или настраиваемой деталью.

В большинстве случаев на мелкие травмы не обращают внимания, что совершенно неправильно. Даже самый незначительный укол или незначительное ущемление, скажем, плоскогубцами или кусачками, ведет к тому, что регулировщик работает неестественно, напряженно, а это влияет как на качество, так и на количество отрегулированных и настроенных аппаратов. Напряженность в работе приводит к излишнему утомлению, которое в свою очередь может стать источником новых травм.

При получении пореза, укола и т. п. место поражения нужно всегда сразу же продезинфицировать, остановить кровотечение, если оно имеет место, и наложить повязку, предохраняющую от попадания инфекции. Привычка не обращать внимания на мелкие порезы может привести к тяжелым последствиям — заболеваниям, которые могут вывести рабочего из строя на достаточно продолжительное время.

При испытании узлов аппаратуры наиболее опасным видом травм является поражение электрическим током, которое может привести к тяжелым последствиям. Большая часть такого вида травм происходит из-за пренебрежения к опасности, которую представляет электрический ток. Проверка наличия напряжения «на пальцы» категорически запрещена. Каждое соприкосновение вызывает сотрясение, ослабляет внимание и сопротивляемость организма. Притупление внимательности может привести к значительным травмам. Прикосновение к одним и тем же токонесящим проводам каждый раз может давать различную реакцию, а в некоторых случаях и смертельный исход.

Действие электрического тока на организм зависит от силы тока и его частоты, от времени прохождения тока через тело человека, от участка поражения, состояния организма в момент прикосновения и т. п. Установлено, что прохождение электрического тока силой более 100 мА через человеческий организм

смертельно. Ток вызывает паралич дыхательных путей, поражение сердца, изменение состава крови. Ток силой 50—100 мА в большинстве случаев приводит к потере сознания. Токи, меньшие 50 мА, вызывают сокращение мышц. Во многих случаях это приводит к тому, что человек бывает не в состоянии разжать руки, т. е. освободиться от проводов, инструмента. Следует иметь в виду, что данные цифры являются ориентировочными. Известны случаи смертельного исхода и при меньших значениях тока.

Сила тока, протекающего через тело человека, зависит от сопротивления человеческого тела в момент прикосновения. Оно в свою очередь зависит от ряда причин, и прежде всего — от состояния кожи в точках прикосновения к полюсам источника тока. Чем грубей и суше кожа в месте соприкосновения, тем сопротивление больше. Величина сопротивления зависит также от площади соприкосновения: чем она больше, тем меньше сопротивление. Как показывают опыты, сопротивление человеческого тела может изменяться в пределах от 1000 до 200 000 Ом.

Таким образом, зная сопротивление тела человека, можно подсчитать опасные напряжения. Как известно из практики, несчастные случаи могут иметь место при 110 и даже 50 В. Поэтому при регулировке с включенным анодным напряжением нужно проявлять большую осторожность, в особенности если источник анодного питания является мощным.

Все сказанное об опасности электрического тока относится как к постоянному, так и к переменному току промышленной частоты (50 Гц). С увеличением частоты наблюдается некоторое уменьшение степени опасности. Токи высоких частот (более 10 000 Гц) уже не вызывают раздражающего действия, так как текут по поверхности тела. Но эти токи также нельзя считать безопасными, так как при высоких частотах прохождение тока через тело человека может вызвать очень сильные ожоги. Степень поражения током зависит от пути прохождения тока по телу человека. Наиболее опасным является прохождение тока через область сердца, дыхательные органы и голову.

Следует помнить, что чем больше времени проходит ток через тело, тем тяжелее его последствия. Действие тока зависит также от состояния организма; при напряженном внимании действие тока на организм ослабляется, а при неожиданном ударе действие тока бывает значительно более сильным.

Исходя из изложенного выше, при настройке и регулировке необходимо придерживаться следующих правил [37]:

необходимо иметь перед глазами сигнал о включении высокого напряжения;

никогда не проверять наличия высокого напряжения отверткой;

не нарушать блокировку замыканием отверткой или проволокой;

не работать с неисправной блокировкой;
открытые токонесущие провода должны быть хорошо видны;
не оставлять под напряжением открытый монтаж больше того времени, которое необходимо для регулировки схемы и ее настройки;

уходя с рабочего места или отходя от него, выключать высокое напряжение;

следить за исправностью заземления (ГОСТ 12.2.007.0—75*);

не делать перепаек при включенном высоком напряжении (возможен пробой паяльника и выход паяльника из строя, ожог рук, лица);

при регулировке под током не следует касаться второй рукой металлических частей — возможно двухполюсное замыкание, наиболее опасное для организма человека;

следует держать руки сухими, под ногами и стулом необходимо иметь резиновый коврик;

не держать ничего лишнего на рабочем месте.

Травмы при паяльных работах — ожоги — являются в основном следствием двух причин: 1) неисправности паяльника, когда ручка не имеет теплоизоляции и 2) отсутствия постоянного места для паяльника.

Не следует проверять нагрев паяльника «на ошупь», «на лицо» — обычно такой метод проверки приводит к ожогам. Нужно испытывать паяльник на припое.

К ожогам рук часто приводит привычка работать без пинцета. Для поддержания деталей во время пайки в нужном положении следует пользоваться инструментом — пинцетом, плоскогубцами, овалогубцами и т. п. При работе с паяльником следует остерегаться брызг от флюсов и припоя, так как капельки припоя могут попасть в лицо и глаза, вызывая ожоги. Очень часто для очистки паяльника от излишнего припоя его встряхивают. При этом надо быть очень осторожным, так как брызги припоя могут попасть на лицо и одежду.

При ожогах паяльником следует смочить обожженное место жидкостью против ожогов, которая имеется в аптечке, а при больших ожогах немедленно обратиться к врачу.

При проведении работ по лужению и пайке с использованием припоев, содержащих свинец, следует руководствоваться «Санитарными правилами организации процессов пайки мелких изделий сплавами, содержащими свинец».

Электрооборудование установок и стендов должно соответствовать требованиям «Правил устройства электроустановок», «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителем» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителем».

Температура наружных поверхностей термобарокамеры в местах нахождения обслуживающего персонала не должна превышать 45° С.

Уровень шума во всех диапазонах частот не должен быть более 65 дБ (ГОСТ 12.1.003—76).

В стандартах и технической документации установлены требования, обеспечивающие безопасное ведение работ в соответствии с особенностями конкретных типов установок и стендов.

Изложенные выше общие соображения по технике безопасности имеют своей целью лишь ввести читателя в данный круг вопросов. Служба техники безопасности на каждом предприятии разрабатывает подобные конкретные правила и инструкции, знание и соблюдение которых каждым работником является строго обязательным.

Методы и средства вибрационной защиты, классификация методов и средств, предназначенных для уменьшения вредного воздействия на оператора, приведены в ГОСТ 12.4.046—78, ГОСТ 18728—73.

**АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ,
УСТАНОВЛЕННЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫМ СТАНДАРТОМ**

Термин	Номер стандарта	Номер термина
Абсолютная погрешность виброметра	ГОСТ 16819—71	37
Автоматические средства испытаний	ГОСТ 16504—74	44
Акселерометр ударный многокомпонентный	ГОСТ 8.127—74	27
Акселерометр ударный однокомпонентный	ГОСТ 8.127—74	26
Алгоритм контроля	ГОСТ 19919—74	61
Аттестация	ГОСТ 16263—70	8.1
Аттестация качества продукции государственная	ГОСТ 15467—79	55
Аттестация качества продукции заводская	ГОСТ 15467—79	57
Аттестация качества продукции отраслевая	ГОСТ 15467—79	56
Брак	ГОСТ 15467—79	48
Безотказность	ГОСТ 13377—75	2
Верхнее значение частоты	ГОСТ 19089—73	4
Виброакселерометр	ГОСТ 16819—71	8
Вибратор	ГОСТ 19118—73	4
Виброграф	ГОСТ 16819—71	16
Вибровеллсисметр	ГОСТ 16819—71	7
Виброметр	ГОСТ 16819—71	2
Вибрационная испытательная установка	ГОСТ 19118—73	2
Вибропреобразователь	ГОСТ 16819—71	3
Виброметр перемещения	ГОСТ 16819—71	6
Виброметр скорости	ГОСТ 16819—71	7
Виброметр ускорения	ГОСТ 16819—71	8
Виброметр углового ускорения	ГОСТ 16819—71	13
Вибрационно-топографический метод контроля	ГОСТ 18353—73	29
Вибрационная установка	ГОСТ 19118—73	1
Визуальный способ контроля	ГОСТ 18353—73	87
Виброметр частоты	ГОСТ 16819—71	15
Вид изделия	ГОСТ 2.101—68	4
Вид производства	ГОСТ 14.004—74	9
Время фронта удара	ГОСТ 16962—71	15
Выборочный контроль	ГОСТ 16504—74	22
Датчик, вибродатчик	ГОСТ 16819—71	3
	ГОСТ 16263—70	5.18
Дефект	ГОСТ 17102—71	4
Диапазон измерений виброметра	ГОСТ 16819—71	30
Длительность удара	ГОСТ 16962—71	5
Допуск параметра	ГОСТ 20911—75	33
Единичное производство	ГОСТ 14.004—74	10
Емкостный вибропреобразователь	ГОСТ 16819—71	24
Изделие	ГОСТ 15467—79	1
Измерение	ГОСТ 16263—70	4.1

Термин	Номер стандарта	Номер термина
Измерительный прибор	ГОСТ 16263—70	5.6
Индуктивный вибропреобразователь	ГОСТ 16819—71	25
Индукционный вибропреобразователь	ГОСТ 16819—71	26
Исправленный результат наблюдения	ГОСТ 8.207—76	2
Исправленный результат измерений	ГОСТ 8.207—76	4
Испытания	ГОСТ 16504—74	36
Испытания аттестационные	ГОСТ 16504—74	68
Испытания ведомственные	ГОСТ 16504—74	61
Испытания государственные	ГОСТ 16504—74	63
Испытания граничные	ГОСТ 16504—74	54
Испытания исследовательские	ГОСТ 16504—74	52
Испытания контрольные	ГОСТ 16504—74	53
Испытания межведомственные	ГОСТ 16504—74	62
Испытания механические	ГОСТ 16504—74	81
Испытания на надежность	ГОСТ 16504—74	79
Испытания неразрушающие	ГОСТ 16504—74	75
Испытания нормальные	ГОСТ 16504—74	71
Испытания периодические	ГОСТ 16504—74	67
Испытания предварительные	ГОСТ 16504—74	59
Испытания приемочные	ГОСТ 16504—74	60
Испытания приемо-сдаточные	ГОСТ 16504—74	66
Испытательный стенд	ГОСТ 16504—74	45
Испытания стендовые	ГОСТ 16504—74	76
Испытания типовые	ГОСТ 16504—74	69
Испытания ускоренные	ГОСТ 16504—74	70
Качество продукции	ГОСТ 15467—79	3
Класс точности средства измерений	ГОСТ 16263—70	9.22
Контролепригодность	ГОСТ 19838—74	1
Контроль качества продукции	ГОСТ 16504—74	12
Контроль приемочный	ГОСТ 16504—74	19
Контроль технологического процесса]	ГОСТ 16504—74	13
Контроль ТПП	ГОСТ 14.004—74	51
Конструкционные отказы	ГОСТ 21317—75	2
Коэффициент преобразования	ГОСТ 16819—71	34
Макет для испытаний	ГОСТ 16504—74	38
Массовое производство	ГОСТ 14.004—74	12
Косвенное измерение	ГОСТ 16263—70	4.3
Метрология	ГОСТ 16263—70	1.1
Метрологическая аттестация средств измерений	ГОСТ 16263—70	11.20
Метод измерений	ГОСТ 16263—70	4.9
Метод испытаний (МИ)	ГОСТ 16504—74	47
Модель для испытаний	ГОСТ 16504—74	39
Надежность	ГОСТ 13377—75	1
Нижнее значение частоты	ГОСТ 19089—73	3
Образцовый виброметр	ГОСТ 16819—71	45
Образец для испытаний	ГОСТ 16504—74	40
Объект виброзащиты	ГОСТ 12.4.046—78	2
Объект испытаний	ГОСТ 16504—74	37
Объем выпуска изделий	ГОСТ 14.004—74	6
Омический вибропреобразователь	ГОСТ 16819—71	23
Отказ	ГОСТ 13377—75	12
Опытное производство	ГОСТ 14.004—74	13

Термин	Номер стандарта	Номер термина
Оценка уровня качества продукции	ГОСТ 16431—70	26
Параметр вибрации	ГОСТ 16819—71	1
План наблюдений	ГОСТ 17526—72	6
План испытаний (ПИ)	ГОСТ 16504—74	48
Планы проведения наблюдений	ГОСТ 17510—72	3
Погрешность измерения	ГОСТ 16263—70	8.1
Подконтрольная эксплуатация	ГОСТ 17526—72	2
Поиск дефекта (диагностический контроль)	ГОСТ 20911—75	11
Показатель качества продукции	ГОСТ 15467—79	3
Порог чувствительности виброметра	ГОСТ 16819—71	32
Предел измерений виброметра	ГОСТ 16819—71	31
Прогнозирование технического состояния	ГОСТ 20911—75	14
Производственные отказы	ГОСТ 21317—75	2
Процесс перемещения	ГОСТ 14.308—74	1
Причина отказа	ГОСТ 20307—74	4
Прочность к воздействию механических факторов	ГОСТ 16962—71	12
Прямое измерение	ГОСТ 16263—70	4.2
Пьезоэлектрический вибропреобразователь	ГОСТ 16819—71	27
Пьезоэлектрический сейсмоприемник	ГОСТ 16821—71	23
Работоспособность	ГОСТ 13377—75	8
Рабочий стол	ГОСТ 19118—73	5
Рабочая ось вибратора	ГОСТ 19118—73	6
Рабочая температура	ГОСТ 11478—75	1
Резонанс изделия	ГОСТ 16962—71	10
Резонансная частота изделия	ГОСТ 16962—71	9
Резонансный метод контроля	ГОСТ 18353—73	18
Результат наблюдения	ГОСТ 16263—70	8.14
Режим работы	ГОСТ 17526—72	4
Самоконтроль	ГОСТ 19919—74	41
Сейсмограмма	ГОСТ 16821—71	2
Сейсмоприемник	ГОСТ 16821—71	20
Серийное производство	ГОСТ 14.004—74	11
Сплошной контроль	ГОСТ 16504—74	20
Средство испытаний	ГОСТ 16504—74	43
Средство измерений	ГОСТ 16263—70	5.1
Срок сохраняемости в упаковке и консервации	ГОСТ 23216—78	3
Технические условия	ГОСТ 2.102—68	18
Технологический контроль	ГОСТ 16504—74	13
Технологический процесс	ГОСТ 3.1109—73	1
Технологичность конструкции изделия	ГОСТ 18831—73	1
Точка крепления	ГОСТ 19118—73	7
Транспортирование	ГОСТ 14.308—74	3
Ударный акселерометр	ГОСТ 8.127—74	25
Ударное перемещение	ГОСТ 8.127—74	3
Ударная скорость	ГОСТ 8.127—74	2
Ударное ускорение	ГОСТ 8.127—74	1
Условия эксплуатации	ГОСТ 17526—72	1
Устойчивость к воздействию механических факторов	ГОСТ 16962—71	13
Функция влияния	ГОСТ 8.009—72*	14
Цикл качания частоты	ГОСТ 16962—71	14
Эксплуатация	ГОСТ 17526—72	1

ДОПУСТИМЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПО СТЕПЕНИ ЖЕСТКОСТИ

Нагрузки	Характеристики			Степень жесткости	Нагрузки	Характеристики			Степень жесткости
	Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение, м/с ² (g)	Длительность удара, мс			Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение, м/с ² (g)	Длительность удара, мс	
Вибрационные	1—35	4,91 (0,5)	—	I	Ударные: многokратные одиночные Линейные (центробежные)	—	147 (15)	2—15	I
	1—60	9,81 (1)	—	II		—	392 (40)	2—10	II
	1—60	19,6 (2)	—	III		—	735 (75)	2—6	III
	1—80	49,1 (5)	—	IV		—	1471 (150)	1—3	IV
	1—100	9,81 (1)	—	V		—	—	—	—
	1—200	49,1 (5)	—	VI		—	39,2 (4)	40—60	I
	1—200	98,1 (10)	—	VII		—	196 (20)	20—50	II
	1—600	49,1 (5)	—	VIII		—	735 (75)	2—6	III
	1—600	98,1 (10)	—	IX		—	1471 (150)	1—3	IV
	1—1000	98,1 (10)	—	X		—	4905 (500)	1—2	V
	1—2000	49,1 (5)	—	XI		—	9810 (1000)	0,2—1	VI
	1—2000	98,1 (10)	—	XII		—	14 710 (1500)	0,2—0,5	VII
	1—2000	147 (15)	—	XIII		—	29 400 (3000)	0,2—0,5	VIII
	1—2000	196 (20)	—	XIV		—	—	—	—
	1—3000	196 (20)	—	XV		—	—	—	—
	1—5000	98,1 (10)	—	XVI		—	—	—	—
	1—5000	196 (20)	—	XVII		—	98,1 (10)	—	I
	1—5000	294 (30)	—	XVIII		—	245 (25)	—	II
	1—5000	392 (40)	—	XIX		—	491 (50)	—	III
	100—5000	392 (40)	—	XX		—	981 (100)	—	IV
				—	1471 (150)	—	V		
				—	1962 (200)	—	VI		
				—	4905 (500)	—	VII		

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПО УСЛОВИЯМ ПРИМЕНЕНИЯ

Условия применения	Группа исполнения по ГОСТ 21322-75B		Вибрационные нагрузки		Многократные удары		
	Диапазон частот, Гц	Ускорение, M/c^2 (g)	Степень жесткости по ГОСТ 16962-71	Ускорение, M/c^2 (g)	Длительность импульса, мс	Степень жесткости по ГОСТ 16962-71	
В стационарной аппаратуре и приборах, устанавливаемых на неподвижных объектах, а также в аппаратуре и приборах, не имеющих приспособлений для переноски и требующих специальных мер защиты при перевозке	1—35	4,91 (0,5)	I	147 (15)	2—15	I	
В полустационарной аппаратуре и приборах, не работающих на ходу и предназначенных для кратковременной переноски и перевозки	—	9,81 (1)	II	—	—	—	
В аппаратуре и приборах, работающих на ходу, устанавливаемых на передвижных машинах и на неподвижном технологическом оборудовании	1—60	19,6 (2)	III	—	—	—	
В переносной аппаратуре и приборах, работающих на ходу, а также в аппаратуре, устанавливаемой на автомобильном железнодорожном и водном транспорте с частотой вращения гребного винта не более 1200 об/мин	1—80	49,1 (5)	IV	—	—	—	
В аппаратуре, работающей на ходу, устанавливаемой на тракторах и гусеничных машинах и на скоростных судах с частотой вращения гребного винта более 1200 об/мин	1—200	49,1 (5)	VI	392 (40)	2—10	II	
В аппаратуре, устанавливаемой на объектах, имеющих мощные источники вибрации, а также в аппаратуре общего применения в промышленности при условии ошугимой вибрации на частотах свыше 200 Гц	1—600	98,1 (10)	IX	—	—	—	

Приложение 4

**ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
ИСПЫТАНИЙ АППАРАТУРЫ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

Оборудование	Тип	Основные технические характеристики			
		Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение, g	Максимальная грузоподъемность, кг	Максимальная амплитуда, мм
Вибрационный стенд	ВК-ЗД	50—10000	6	4	0,5—3
	ВУС-70/200	10—200		70	2
	ЭГВ-10-100П	0,05—100	8	1000	100
	ВП-15	10—100	25	15	5
	ВК-ИД	5—80	10	6	3,2
	ВС-68	15—85	25	15	5
	УВЭ-50/5-500	5—500	0,5	50	2
	ВС-70	15—70	15	70	2,5
	Фирма «Аскания» (ГДР)	80—300	40	15	1,5
		20—80	10		1,7
	ВУ-15	15—85	15		2
	ВУС-350	10—100	3	350	2,66
	ВС-500	10—80	16	500	17,4
	ВУС-500/200	10—200	3		3
УВ-20/5000	60—5000	30	20	2	

Оборудование	Тип	Основные технические характеристики			
		Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение, g	Максимальная грузоподъемность, кг	Максимальная амплитуда, мм
Вибрационный стенд	BC-500DP	10—80	7	500	1,8
	BC-400	50—2000	20	15	—
	ST-80 (г. Тельтов, ГДР)	20—80	10		1,7
	ST-300	80—300	1,5		1,5
	ST-600	20—600	10	5	—
	ST-1000	50—1000	12	15	—
	SG-108 (фирма «Гудмэнс»)	90—3000	20	45	8,75
Трехкомпонентный вибрационный стенд	ST-3/200	25—200	20	30	3
	ST-111/200*	90—200	15		—
Вибрационный электродинамический стенд	ЭВ-1	50—1500	10	10	1,2
	ЭВ-2		30	2	3
	Фирмы «Аскания» (ГДР)	20—600	10	5	8
		50—1000	12	15	—
	ВЭДС-10А	5—5000	4	1,9	6
	ВЭДС-100	5—5000	40	22	7,5
	ВЭДС-200А	5—500		45	12,5

Продолжение прилож. 4

Оборудование	Тип	Основные технические характеристики			
		Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение, g	Максимальная грузоподъемность, кг	Максимальная амплитуда, мм
Ударный стенд	УУ-20/100	—	150	50	—
	СУ-1	—	10—150		—
	УУЭ-20/100	—	до 150	20	—
	Фирмы «Аскания» (ГДР)	—	300	50	—
Копер	КУ-1	—	10 000	90	—
Малогобаритная центрифуга	МЦ-1	—	25	2	—
Центрифуга	ЦУ-2	—	150	—	—
	СЦП-3 СМ-123	— —	25 0—100	50 100	— —
Стенд имитации транспортирования	СИТ-М	—	0,5—40	300	1,2

Приложение 5

**ПЕРЕЧЕНЬ ДЕЙСТВУЮЩИХ ДОКУМЕНТОВ
ПО АТТЕСТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ
И ОЦЕНКЕ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ И КАЧЕСТВА**

Постановление Совета Министров СССР от 2 июня 1969 г. «О порядке проведения государственной аттестации качества промышленной продукции».

Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 10 ноября 1970 г. «О повышении роли стандартов и улучшении качества выпускаемой продукции».

Постановление Совета Министров СССР от 21 июня 1971 г. «О некоторых мерах по улучшению планирования и экономического стимулирования промышленного производства».

Постановление Совета Министров СССР от 27 марта 1974 г. «Об утверждении Положения о производственном объединении (комбинате)»

Постановление Совета Министров СССР 11.12.79 г. за № 1093 «О дальнейшем усилении роли аттестации промышленной продукции в повышении ее технического уровня и качества».

«Основные положения о порядке аттестации продукции машиностроения и других отраслей промышленности». Утверждены Госстандартом СССР, ГКНТ и Госпланом СССР 17 июня 1974 г.

Указания Госплана СССР, Госстандарта СССР и ЦСУ СССР по вопросу учета продукции высшей категории качества от 7 мая 1974 г.

Указания Минфина СССР и ЦСУ СССР «О порядке учета и отражения в отчетности дополнительной выручки и прибыли, полученных от реализации аттестованной продукции производственно-технического назначения с государственным Знаком качества, имеющей надбавку к цене» от 20 марта 1974 г.

Указания Минфина СССР, ЦСУ СССР и Госстандарта СССР «О порядке внесения предприятиями и организациями в доход бюджета сумм прибыли, полученной от реализации продукции, изготовленной с отступлением от стандартов и технических условий, и об осуществлении финансовыми органами контроля за перечислением этих сумм в бюджет» от 17 марта 1971 г.

НРО.005.075. Порядок аттестации продукции предприятий Минприбора, 1975 г.

РТМ 25 200—75. Аттестация качества деталей и сборочных единиц на предприятии. 1976 г.

Методика определения оптовых цен на новую продукцию производственно-технического назначения. Утверждена Госкомитетом цен Совета Министров СССР 26 апреля 1974 г.

ГОСТ 1.9—67. Государственный Знак качества. Форма, размеры и порядок применения.

ГОСТ 2.116—71 ЕСКД. Карта технического уровня и качества продукции.

ГОСТ 2.114—70 ЕСКД. Технические условия. Правила построения, изложения и оформления.

ГОСТ 2.115—70. Технические условия. Порядок согласования, утверждения и государственной регистрации.

ГОСТ 2.609—79 ЕСКД. Порядок разработки, согласования и утверждения эксплуатационных и ремонтных документов.

ГОСТ 8.326—78. Метрологическое обеспечение разработки, изготовления и эксплуатации нестандартизированных средств измерений.

ГОСТ 15.003—79. Разработка и постановка продукции на производство. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Основные положения.

ГОСТ 23554.0—79. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Основные положения.

ГОСТ 23554.1—79. Система управления качеством продукции. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции.

ГОСТ 22851—77. Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения.

ГОСТ 23642—79. Нормируемые показатели надежности. Правила задания в стандартах и конструкторских документах.

ГОСТ 16431—70. Качество продукции. Показатели качества и методы оценки уровня качества продукции. Термины и определения.

ГОСТ 15895—77 (СТ СЭВ 547—77). Статистические методы управления качеством. Термины и определения.

ГОСТ 15467—79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.

ГОСТ 13216—74. Приборы и средства автоматизации ГСП. Надежность. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 13377—75. Надежность в технике, термины и определения.

ГОСТ 15.001—73. Разработка и постановка продукции на производство. Основные положения.

ГОСТ 16.304—74. Управление технологическими процессами. Контроль точности технологических процессов. Общие требования.

ГОСТ 16467—70. Статистические показатели точности и стабильности технологических операций. Методы расчета.

ГОСТ 3.1109—73 ЕСТД. Процессы технологические. Основные термины и определения.

ГОСТ 16263—70 ГСИ. Метрология. Термины и определения.

ГОСТ 8.001—71 ГСИ. Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений.

Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП) — ГОСТ 14.001—73, ГОСТ 14.002—73, ГОСТ 14.102—73, ГОСТ 14.201—73, ГОСТ 14.301—73, ГОСТ 14.401—73 и др.

ОСТ 11091.096—78. Система управления качеством. Заводская аттестация продукции в процессе производства.

ОСТ 620.5Б0.417.001—77Е. Приборы и средства автоматизации. Упаковка и маркировка. Общие технические требования.

ОСТ 24.001.25—77. КС УКП. Проверка оборудования на технологическую точность.

ОСТ 2604—2143—77, КС УКП. Порядок предъявления продукции основного производства на контроль.

МИ 162—78 ИИС. Организация и порядок проведения метрологической аттестации. М., Изд-во стандартов, 1979.

ОСТ 25 112—77. Порядок разработки и утверждения стандартов и руководящих технических материалов. Введено с 1.01.78 г.

РД 50-135—78. Методические указания. Состав и содержание КС УКП.

РД 50-138—78. Методические указания. Состав и содержание стандарта предприятия КС УКП Основные положения.

РДМУ 45—75. Методические указания по информационному обеспечению системы управления качеством промышленной продукции. М., Изд-во стандартов, 1975.

РДМУ 72—76. Методические указания по проведению метрологической экспертизы проектов государственных стандартов. М., Изд-во стандартов, 1976

МИ 81—76. Методика планирования наблюдений и оценки показателей надежности. М., Изд-во стандартов, 1977.

Методика выбора оптимальных уровней показателей надежности элементов изделия. М., Изд-во стандартов, 1972.

Методика выбора допусков на параметры изделий в целом и комплектующие эти изделия компоненты с учетом требований к надежности. М., Изд-во стандартов, 1972.

Методика. Качество продукции. Статистические методы управления. Регулирование технологических процессов методом групп качества. М., Изд-во стандартов, 1971.

Методика. Качество продукции. Статистические методы управления качеством. Регулирование технологических процессов методом группировки. М., Изд-во стандартов, 1972.

МУ 2—72. Методические указания о порядке разработки и согласования требований безопасности и производственной санитарии в стандартах и технических условиях. М., Изд-во стандартов, 1972.

Методические указания. Порядок аттестации продукции машиностроения. МУ 28—74. М., Изд-во стандартов, 1974.

Общие методические указания. Порядок аттестации промышленной продукции. СМУ 29—74. М., Изд-во стандартов, 1974.

Методика. Обеспечение надежности на этапе проектирования. Выбор параметров компонентов электронных схем с учетом требований надежности с применением ЭВМ. М., Изд-во стандартов, 1974.

Методика оценки уровня качества продукции с помощью комплексных показателей и индексов. М., Изд-во стандартов, 1974.

Методика применения экспертных методов для оценки качества продукции. М., Изд-во стандартов, 1975.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абжирко Н. Н.** Влияние вибрации на характеристики радиолокационных антенн. М., Советское радио, 1974. 167 с.
2. **Автоматическое** управление вибрационными испытаниями./А. Г. Гетманов, П. И. Дихтяренко, Б. Ю. Мандровский-Соколов и др. Библиотека по автоматике, вып. 579. М., Энергия, 1978. 109 с.
3. **Астафьев А. В.** Окружающая среда и надежность радиотехнической аппаратуры. М., Энергия, 1964. 232 с.
4. **Афонин А. С.** Определение параметров удара, создаваемого на испытательном стенде.—В кн.: Вибрационная техника. М., МДНТП, 1968. 162 с.
5. **Батуев Г. С., Голубков Ю. В., Ефремов А. К.** Инженерные методы исследования ударных процессов. М., Машиностроение, 1977. 240 с.
6. **Бегларян В. Х.** Классификация отказов и обработка результатов эксперимента.—В кн.: Межвузовский сборник научных трудов. Серия XVII «Радиотехника и электроника», вып. 1. Ереван, изд. ЕрПИ, 1974. с. 85—93.
7. **Бегларян В. Х.** Некоторые вопросы измерения в технологии. Ереван, изд. ЕрПИ, 1974. 88 с.
8. **Бегларян В. Х.** Основные положения теории надежности и классификация факторов, влияющих на РЭА. Ереван, изд. ЕрПИ, 1974. 102 с.
9. **Бегларян В. Х.** Проектирование приборов, оптимальных по конструкторско-технологическим параметрам. М., Машиностроение, 1977. 120 с.
10. **Бегларян В. Х., Барсегян А. А.** Методические указания к лабораторным работам по курсу «Испытания и испытательное оборудование». Ереван, изд. ЕрПИ, 1977. 127 с.
11. **Бегларян В. Х., Зайденберг М. Г., Казарян Г. А.** Методика испытания радиоэлектронной аппаратуры. Ч. I и II, Ереван, изд. ЕрПИ, 1972, 124 с. 266 с.
12. **Буловский П. И., Идельсон Э. М.** Испытания авиационных приборов. М., Машиностроение, 1966. 352 с.
13. **Бурога А. Н.** Стенды для испытания изделий на ударные воздействия. Л., ЛДНТП, 1970. 42 с.
14. **Васильева Р. В.** Аппаратура для вибрационных исследований. Л., ЛДНТИ, 1967. 76 с.
15. **Гаскаров Д. В., Голинкович Г. А., Мозголевский А. В.** Прогнозирование технического состояния и надежности РЭА. М., Советское радио, 1974. 224 с.
16. **Гик Л. Д.** Измерение вибрации. Новосибирск, Наука, 1972. 291 с.
17. **Грибов М. М., Жвакин Ю. И.** Конструирование амортизационных систем РЭА с помощью моделирования. М., Советское радио, 1977. 127 с.
18. **Гринглаз А. Г., Киселева М. И.** Воспроизведение результатов воздействия ударных нагрузок в лабораторных условиях.—Электронная техника, сер. 12 «Управление качеством и стандартизация». 1970, с. 86—94.
19. **Генкин М. Д., Русаков А. М., Яблонский В. В.** Электродинамические вибраторы. М., Машиностроение, 1975. 94 с.

20. **Даммер А., Гриффин Б.** Испытания радиоэлектронной аппаратуры на воздействие климатических и механических условий. Пер. с англ. М., Энергия, 1965. 364 с.
21. **Долинский Е. Ф.** Погрешности измерений и обработка результатов измерений. М., Изд-во стандартов, 1973. 192 с.
22. **Ерофеев Н. К.** Образцовый пьезоэлектрический измерительный преобразователь ударных ускорений. — В кн.: Вибрационная техника, ч. I. М., Энергия, 1971. 78 с.
23. **Ильинский В. С.** Защита аппаратов от динамических воздействий. М., Энергия, 1970. 260 с.
24. **Иориш Ю. И.** Виброметрия. М., Машиностроение, 1969. 212 с.
25. **Карпушин В. Б.** Вибрации и удары в радиоаппаратуре. М., Советское радио, 1971. 344 с.
26. **Карпушин В. Б.** Виброшумы радиоаппаратуры. М., Советское радио, 1977. 317 с.
27. **Крючков Ю. С., Гусаров И. И., Гальцев А. А.** Ударостойкость судового энергетического оборудования. Л., Судостроение, 1969. 251 с.
28. **Кузнецов А. А.** Вибрационные испытания элементов и устройств автоматики. М., Энергия, 1976. 120 с.
29. **Куликов Е. В.** Оборудование для испытания аппаратуры и ее элементов на вибрацию и акустические шумы. Л., ЛДНТП, 1968. 62 с.
30. **Ленк А., Ренитц Ю.** Механические испытания приборов и аппаратов. М., Мир, 1976. 170 с.
31. **Логинов В. Н.** Электрические измерения механических величин. М., Энергия, 1970, 101 с.
32. **Маквцов Е. И.** Цифровое моделирование вибраций в радиоконструкциях. М., Советское радио, 1976. 118 с.
33. **Максимов Л. С., Шейнин И. С.** Измерение вибрации сооружений. Л., Стройиздат, 1974. 216 с.
34. **Малинский В. Д., Ошер Д. Н., Теплицкий Л. Я.** Испытания радиоаппаратуры. М — Л., Энергия, 1965. 320 с.
35. **Методика** выбора средств механизаций и автоматизаций статистических методов регулирования и контроля качества. М., изд-во стандартов, 1974. 31 с.
36. **Методика** аттестации ударных испытательных установок МИ 49—75, М., Изд-во стандартов, 1976. 19 с.
37. **Месяцев П. П.** Регулировка и испытание радиоаппаратуры. М., Госэнергоиздат, 1960. 208 с.
38. **Опыт** измерения параметров вибрации/Под ред. В. С. Шкаликова, Л., ЛДНТП, 1973. 74 с.
39. **Ошер Д. Н., Малинский В. Д., Теплицкий Л. Д.** Регулировка и испытание радиоаппаратуры. М., Энергия, 1971. 242 с.
40. **Певзнер Я. М., Плетнев А. Е.** Статистические характеристики динамических нагрузок в кузовах и кабинах грузовых автомобилей. Сб. трудов НАМИ, вып. 130, М., 1971, с. 72—81.
41. **Пелленец В. С.** Измерение ударных ускорений. М., Изд-во стандартов, 1975. 287 с.
42. **Потемкин Г. А.** Вибрационная защита и проблемы стандартизации. М., Изд-во стандартов, 1969. 193 с.
43. **Ремизов Б. А., Некрылов Е. И.** Автоматизация контроля и испытаний при аттестации качества изделий. — Стандарты и качество, 1966. № 10, с. 31—35.
44. **Сергеев К. Н., Степанов И. В.** Воздействие удара и вибрации на оборудование, установленное на нелинейных амортизаторах. — В кн.: Техника измерения параметров вибрации и удара. Л., Знание, 1973. 112 с.
45. **Случайные колебания**/Под ред. А. А. Первозванного. М., Мир, 1967. 351 с.
46. **Стандартизация** в радиоэлектронике/Под общей ред. В. В. Бойцова. М., Изд-во стандартов, 1971. 351 с.

47. **Фролов Д. А.** Теоретические основы конструирования и надежности радиоэлектронной аппаратуры. М., Высшая школа, 1970. 488 с.
48. **Харкевич А. А.** Спектры и анализ. М., Гостехтеориздат. 1957. 212 с.
49. **Шаракшанэ А. С., Железнов И. Г.** Испытания сложных систем. М., Высшая школа, 1974. 183 с.
50. **Элементы** теории испытаний и контроля технических систем/Под ред. Р. М. Юсупова. Л., Энергия, 1978. 192 с.
51. **Accelerometer** — amplifier. «Electro—technology», 1968, v. 81, No. 3, p. 112.
52. **Bruel u Kjar.** Instructions and applications. Accelerometer sets type 4312/4315.
53. **Duff R. E., Knight H. T.** Notes on oscilloscope photography. «Rev. Sci Instr», 1961, v. 32, No 6, p. 741.
54. **Fluke John M.** A practical approach to automating test atantions. «Instrum. and Contr. Syst.», 1976, 49, No. 7, p. 17—21.
55. **Jungk G.** Servohydraulische Versuchstechnikein Prufmittel fur Schwingungs— und Stoßfolgeprufungen. «Feingeratetechnik», 1977, 26, No. 11, p. 497—499.
56. **Kimp H. D.** Test program generation for automatic test equipment. «Instrumentation in the aerospace industry. Volume 21. Advances in test measurement Volume 12», 1975, p. 105—111.
57. **Martens Dieter.** Software fur automatische Prufsysteme. «Elektronik», 1974, 23, No. 4, p. 109—115, A—96.
58. **Palerma David W.** Self—test. Some basic considerations. «ASSC73 Rec. Automat. Support Syst. Adv. Maintainabil. Symp., Arlingto Tex., 1973», New York, N. Y., 1973, p. 61—64.
59. **Piezoelectric** accelerometers. Consolidated electrodynamics. «British Ind. and Engng», 1965.
60. **Ratz A. G.** Kandom vibrations test systems using digital equalizers. A collection of techn. Papers Delivered by MB Electronics. — A Sympos. of Amer. Contr. Council on Soch. Problems in Control. 16-th Ann. Meeting and Exposition. 1970, Apr. 13, p. 153—172.
61. **Shock and Vibration Handbook.** Ed. by C. M. Harris and C. E. Crede, vol. 1; Basic Theory and Measurements, vol. 2; Data Analysis, Testing and Methods of Control. vol. 3; Engineering Desing and Environmental Conditions. New Y., San Francisco, Toronto, London, Sydney, McGraw—Hill Book Company, 1961. 620 p., 680 p., 640 p.
62. **Yarnold J. A.** Survey of piezoelectric accelerometers. «Environmental Engng.», 1967, v. VII, No. 27, p. 22.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I.	
МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АППАРАТУРУ	5
1. Определения и общие вопросы испытаний	5
2. Виды стандартов	12
3. Классификация испытаний	16
4. Условия эксплуатации	26
5. Основные понятия о вибрации	29
6. Анализ влияния случайных вибраций на конструкцию аппаратуры	33
7. Длительность испытаний аппаратуры на случайные вибрации	36
8. Основные понятия об ударе	40
9. Параметры ударного движения	44
10. Статистические характеристики динамических нагрузок в кузовах грузовых автомобилей	53
Глава II.	
ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ АППАРАТОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	59
1. Виды испытаний и порядок их проведения	59
2. Испытание на обнаружение резонансных частот	62
3. Методы определения резонансных частот	65
4. Испытание на виброустойчивость	67
5. Испытание на вибропрочность	71
6. Испытание на ударную прочность	76
7. Испытание на ударную устойчивость	78
8. Испытание на воздействие одиночных ударов	78
9. Испытание на воздействие линейных нагрузок	79
10. Испытание прочности при транспортировании	80
Глава III.	
МЕХАНИЧЕСКОЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	84
1. Классификация стендов	84
2. Оборудование для механических испытаний	86
3. Вибрационные стенды	90
4. Вибрационный электродинамический стенд типа ВЭДС	94
5. Трехкомпонентный вибрационный стенд СТ-111/200	103
6. Ударные стенды и копры	105
7. Установка ударная СУ-1	109
8. Центрифуги	116
9. Стенд транспортной тряски	122
Глава IV.	
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ	125
1. Общие положения	125
2. Общие требования к проведению измерений вибраций	130
3. Измерительная аппаратура	133
4. Измерение параметров вибрации	137

5. Измерение параметров удара	145
6. Измерительные преобразователи для измерения параметров ударных ускорений	151
7. Погрешности измерения параметров вибрации и удара	154
8. Оформление результатов испытания	159
9. Подготовка к аттестации оборудования для механических испытаний	160

Глава V.

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИИ 165

1. Основные принципы автоматизации испытаний	165
2. Моделирование внешних механических воздействий	167
3. Требования, предъявляемые к автоматическим испытательным системам	171
4. Структурная схема автоматической испытательной установки	177
5. Автоматическое испытательное оборудование с управлением от ЭВМ	182

Глава VI.

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ 185

1. Неисправности оборудования, обусловленные отклонениями от норм ТУ	185
2. Приспособления для крепления аппаратуры к платформе стенда	186
3. Основные принципы самоконтроля испытательных систем	191

Глава VII.

КОНСЕРВАЦИЯ, ХРАНЕНИЕ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ УПАКОВКИ 195

1. Условия консервации и упаковка изделия	195
2. Методы определения виброзащитных свойств упаковки	198
3. Методы определения ударозащитных свойств упаковки	202
4. Техника безопасности при испытаниях	204

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Алфавитный указатель терминов, установленных государственным стандартом	209
Приложение 2. Допустимые механические факторы по степени жесткости	212
Приложение 3. Классификация объектов по условиям применения	213
Приложение 4. Перечень рекомендуемого испытательного оборудования для проведения механических испытаний аппаратуры и средств измерений	214
Приложение 5. Перечень действующих документов по аттестации промышленной продукции и оценке ее технического уровня и качества	216
Список литературы	219
Оглавление	222

ИБ № 3118

ВАРДАН ХОСРОВОВИЧ БЕГЛЯРЯН

«МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРОВ И АППАРАТОВ»

Редактор *Григорин-Рябова Е. В.*

Художественный редактор *С. С. Водчиц*

Технические редакторы *Л. П. Гордеева* и *А. И. Захарова*

Корректор *И. М. Борейша*

Переплет художника *Н. Ф. Зыкова*

Сдано в набор 26.02.80.

Подписано в печать 04.06.80. Т-09967.

Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 2.

Гарнитура литературная. Печать высокая.

Усл. печ. л. 14,0 Уч.-изд. л. 14,4

Тираж 5000 экз. Заказ 1265 Цена 75 к.

Издательство «Машиностроение»

107076, Москва, Стромьинский пер., 4.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли.

109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.