

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

---

Кафедра технической эксплуатации  
летательных аппаратов и авиадвигателей

М.Ю. Трифонов, Н.Н. Босых, Ю.И. Самуленков

# МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

**Учебное пособие**

*Утверждено редакционно-  
издательским советом МГТУ ГА  
в качестве учебного пособия*

Москва  
ИД Академии Жуковского  
2021

УДК 006.91+53.08  
ББК 531.7  
Т69

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Московского государственного технического университета ГА

Рецензенты:

*Самойленко В.М.* (МГТУ ГА) – д-р техн. наук, профессор;  
*Далецкий С.В.* (ГосНИИ ГА) – д-р техн. наук, профессор

### **Трифонов М.Ю.**

Т69

Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] : учебное пособие / М.Ю. Трифонов, Н.Н. Босых, Ю.И. Самуленков. – М. : ИД Академии Жуковского, 2021. – 80 с.

ISBN 978-5-907490-05-5

Данное учебное пособие содержит учебно-методические материалы, необходимые для изучения вопросов метрологического обеспечения в организациях гражданской авиации. В учебном пособии рассмотрены вопросы законодательной, научной и прикладной метрологии, основные положения стандартизации и сертификации.

Учебное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» базовой части образовательной программы направления подготовки 25.05.05 («Техническая эксплуатация воздушных судов», квалификация: инженер) для студентов II курса всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 14.04.2021 г. и методического совета 21.04.2021 г.

**УДК 006.91+53.08**  
**ББК 531.7**

Св. тем. план 2021 г.  
поз. 3

ТРИФОНОВ Михаил Юрьевич, БОСЫХ Николай Николаевич,  
САМУЛЕНКОВ Юрий Иванович

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ**

Учебное пособие

*В авторской редакции*

Подписано в печать 27.09.2021 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 5 Усл. печ. л. 4,65

Заказ № 804/0616-УП01 Тираж 40 экз.

Московский государственный технический университет ГА  
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского

125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68 E-mail: zakaz@itsbook.ru

**ISBN 978-5-907490-05-5**

© Московский государственный технический  
университет гражданской авиации, 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Современный этап научно-технического прогресса характеризуется ускорением темпов развития науки и техники и всё более тесным их взаимодействием и влиянием на разработку, испытания, производство и эксплуатацию авиационной техники. Развитие техники обусловлено значительным усложнением оборудования, применением взаимосвязанных интегральных комплексов, ужесточением режимов их эксплуатации, применением широкой номенклатуры веществ и материалов. Происходит процесс расширения кооперации и значительного усложнения связей между предприятиями и отраслями промышленности. В этих условиях резко возрастает роль метрологии, стандартизации и сертификации, которые определяют передовые методы и средства измерений, прогрессивные требования к выпускаемой продукции, к её разработке, производству и применению, и метрологического обеспечения разработки, производства, испытаний и эксплуатации технических объектов.

Особое место в достижении максимальной эффективности метрологического обеспечения занимает его научная основа - метрология, как наука, определяющая инженерную и научную культуру при разработке, производстве, испытаниях и эксплуатации любых технических объектов. Одновременно метрология, опираясь на достижения науки и техники, постоянно повышает точность измерений и тем самым позволяет все глубже проникать в тайны окружающего нас мира. В настоящее время измерения, как основной объект метрологии, являются составной частью практически всех видов трудовой деятельности человека. Характер же деятельности любого авиационного специалиста, от которого зависит эффективность применения авиационной техники и безопасность полетов, требует особенного, повышенного внимания к изучению методов обработки результатов измерений, методик оценки погрешностей измерений и современных средств измерений.

Важность и значимость метрологического обеспечения можно продемонстрировать следующим примером.

В 1984 году канадский пассажирский самолет «Боинг-647» произвел вынужденную посадку на автомобильный полигон после того, как при полете на высоте 10 тыс. метров отказали двигатели по причине полной выработки топлива из заполненных перед вылетом топливных баков. Объяснением этого, казалось бы, невероятного происшествия явилось то, что на самолете приборы были градуированы в галлонах (примерно 3,8 л), а приборы канадской авиакомпании, управлявшей самолетом, были градуированы в литрах. Таким образом, горючего было заправлено почти в 4 раза меньше, чем требовалось.

## ГЛАВА 1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

### 1.1 Краткий исторический обзор развития отечественной метрологии

Измерения имеют древнее происхождение и берут свое начало в истоках возникновения материальной культуры человечества.

Так самыми распространёнными древними мерами длины, упоминаемые в древнерусских летописях, были локоть и сажень.

Локоть - длина «от локтя до переднего сустава среднего перста» - был равен примерно 44,5 см. Сажень равнялась трём локтям.

Впервые в царских грамотах XVI века упоминается единица длины аршин.

Древнейшими мерами массы были гривна и золотник, тесно связанные с бытовавшими денежными единицами. До XII века расчёты за товары производились кусками серебра определённой массы, на которых делались надрубки, чтобы их легче было разламывать на части. Такие куски серебра назывались гривнами. Их масса и принималась за единицу массы. Золотник представлял собой массу византийского золотого червонца - динария весом около 4 граммов. В связи с тем, что принятого эталона гривны не существовало, вес гривны в различных местах был различным (новгородская гривна, например, равнялась 96 золотникам). Впоследствии гривна стала называться фунтом. Известная и поныне единица массы пуд появилась ещё в XII веке. Он равнялся 40 фунтам. Одни меры выходили из употребления, другие - принимались различными государственными актами («грамотами» Ивана Грозного, «уложениями» Царя Алексея Михайловича и «указами» Петра I).

В 1736 году была создана комиссия по мерам и весам. Она уточнила размер русского фунта, который позднее был осуществлён в виде бронзового золочёного образца весом в 1747 граммов.

В 1797 году издан закон «Об учреждении повсеместно в Российской империи верных весов, питейных и хлебных мер».

В 1827 году создана комиссия для разработки системы Российских образцовых мер и весов. Разработанная комиссией система мер и весов была узаконена 11 октября 1835 года указом «О системе российских мер и весов». Она предусматривала следующие основные русские меры:

- сажень, равную 7 английским футам (1 фут равен 304,8 мм);
- фунт, равный по массе бронзовому золочёному фунту 1747 грамм;
- мера жидких тел - ведро, равное объёму 30 фунтов воды, и мера сыпучих тел - четверик, равный объёму 64 фунтов воды.

Таким образом, эта система впервые устанавливала зависимость между мерами массы и объёма.

Дальнейшее уточнение размеров русских мер было осуществлено Д.И. Менделеевым. С 1893 года по 1899 год он восстановил «прототипы» русских мер и установил их соотношение с метрическими мерами. В результате его работ 4 июня 1899 года было утверждено «Положение о мерах и весах», которое устанавливало систему российских мер.

Приведём соотношения российских единиц с метрической системой, полученные Д.И. Менделеевым:

1 аршин = 28 дюймам = 0,711200 м;

1 сажень = 3 аршинам = 7 футам = 2,1336 м;

1 верста = 500 саженям = 1,0668 км;

1 десятина = 2400 квадратным саженям = 10925 м<sup>2</sup> (1,0925 га);

1 пуд = 40 фунтам = 16,38 кг;

1 фунт = 409,5 г;

1 золотник = 4,266 г.

В 1892 году Д.И. Менделеев был назначен ученым хранителем Депо образцовых мер и весов, которое в то время называть метрологическим учреждением можно было лишь в старом смысле этого термина.

## 1.2 Метрология в системе технического обслуживания авиационной техники

Система технического обслуживания (ТО) ВС включает в себя: объекты ТО, персонал, средства ТО и др. (Рис. 1).

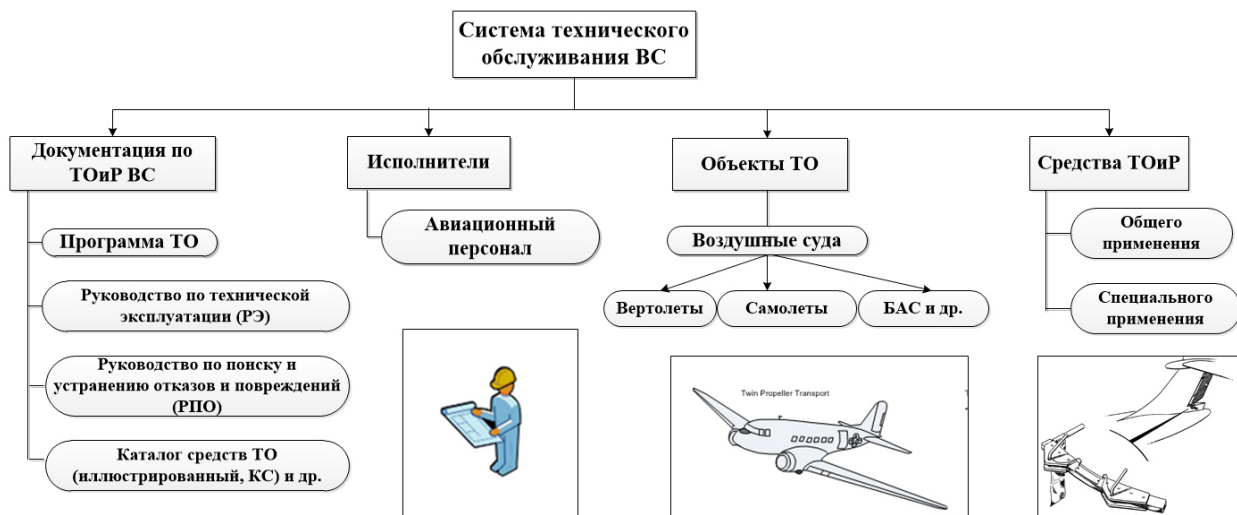


Рис. 1 Структура системы ТО ВС

Основным назначением системы ТО является сохранение характеристик воздушных судов (ВС), их функциональных систем и изделий на протяжении установленных ресурсов и сроков службы в тех допусках, которые определены Нормами летной годности (НЛГС).

В соответствии со ст. 37.1. пункт 6. Воздушного кодекса РФ - «Техническое обслуживание гражданского ВС - комплекс работ, необходимых для поддержания летной годности гражданского воздушного судна, включая проведение проверок гражданского ВС, замену его частей, устранение неисправностей, а также осуществление изменения конструкции гражданского ВС или выполнение его ремонта» [1].

Первые самолеты имели несложную конструкцию, были относительно просты в эксплуатации и обслуживании. С развитием авиационной техники, повышения требований к безопасности полетов изменилась и система ТО. Она стала сложной технической системой, включающей в себя и метрологическое обеспечение.

### 1.3 Основные понятия и определения метрологии

Метрология подразделяется на [15]:

- теоретическую (фундаментальную);
- законодательную;
- практическую (прикладную).

**Теоретическая (фундаментальная) метрология** - раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии.

**Законодательная метрология** - раздел метрологии, предметом которой является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимости точности измерений в интересах общества.

**Практическая (прикладная)** - раздел метрологии, предметом которой являются вопросы практического применения положений законодательной метрологии.

**Физическая величина** - одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них (Рис. 2).

**Величина (измеряемая)** - характерный признак (атрибут) явления, тела или вещества, которое может выделяться качественно и определяться количественно.

**Истинное значение физической величины** - значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину.

**Действительное значение физической величины** - значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо нее.

**Аддитивная физическая величина** - величина, разные значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой коэффициент, разделены друг на друга. Пример - масса, длина, давление, скорость и др.

**Род (величины)** - качественная определенность величины.

Пример:

1. Длина и диаметр детали - однородные величины.
2. Длина и масса детали - неоднородные величины.

Примечание - Однородные величины в рамках данной системы величин имеют одинаковую размерность величины. Однако величины одинаковой размерности не обязательно будут однородными.

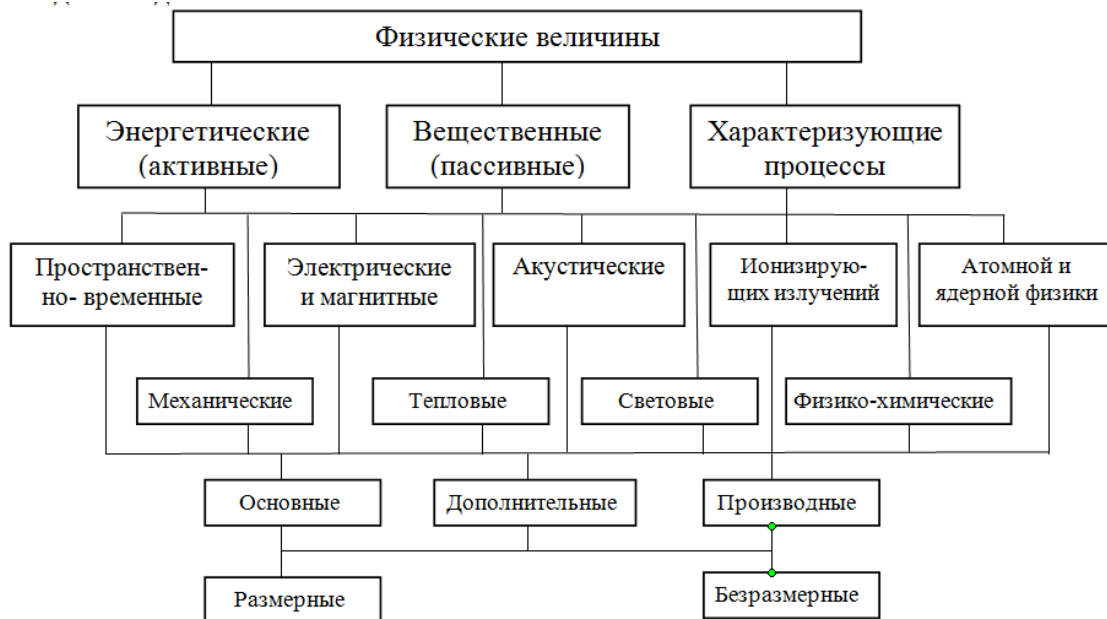


Рис. 2 Классификация физических величин

**Принцип измерения** - физическое явление или эффект, положенный в основу измерений.

**Метод измерений** - прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

**Международная система величин** - система величин, основанная на подмножестве семи основных величин: длины, массы, времени, электрического тока, термодинамической температуры, количества вещества и силы света.

#### 1.4 Виды физических величин и единиц, их системы и шкалы

20 мая 1875 года 17 государств подписали метрическую конвенцию, по которой они обязались содержать это научное учреждение, наблюдение и руководство, которым предписывалось Международному комитету мер и весов.

Международная система единиц (СИ – фр. Le Système International d’Unités, SI) была принята XI Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) в 1960 году, некоторые последующие конференции внесли в СИ ряд изменений.

С 1 января 1963 года в СССР был введен ГОСТ 9867 – 61 «Международная система единиц» и СИ была введена в качестве предпочтительной во всех областях науки, техники и народного хозяйства, а также при преподавании.

В России действует ГОСТ 8.417 – 2002, предписывающий обязательное использование единиц СИ. В нём перечислены единицы физических величин, раз-

решённые к применению, приведены их международные и русские обозначения и установлены правила их использования (табл. 1).

Таблица 1

### Основные физические величины в системе СИ

Величина	Единица Измерения	Сокращенное обозначение Единицы	
		Русское	Международное
Длина	Метр	м	М
Масса	килограмм	кг	Kg
Время	Секунда	с	S
Сила эл. Тока	Ампер	А	A
Термодин. темп-ра	Кельвин	К	K
Сила света	Кандела	д	Cd
Кол. Вещества	Моль	моль	Mol

**Метр** - расстояние, проходимое в вакууме электромагнитной волной за  $1/299\,792\,458$  долю секунды.

**Килограмм** - масса международного прототипа килограмма (в нашей стране в качестве эталона используется копия №12 международного прототипа килограмма). Ведутся работы во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева по внедрению эталона массы, который можно реализовать с помощью весов Киббла. Эталоном является груз, который уравнивает силу отталкивания между постоянным магнитом и катушкой, по которой пропускают ток. Таким образом, массу объекта можно найти за счёт равенства электрической и механической сил.

**Секунда** - равна  $9192631770$  периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия - 133.

**Ампер** - равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным, прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенными в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

**Кельвин** - равен  $1/273.16$  части термодинамической температуры тройной точки воды.

**Кандела** - равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет  $1/683$  Вт/ср (Ватт на стерадиан).

**Моль** - равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде - 12 массой  $0,012$  кг.

Число производных единиц, входящих в СИ, вследствие непрерывного развития науки, является непостоянным. На сегодня число производных единиц превысило 200.



В Приложении 5 к Конвенции о международной организации ИКАО «Единицы измерения, подлежащие использованию в международных и наземных операциях» определены единицы измерений физических величин, прежде всего с использованием СИ и соотношения с внесистемными единицами (табл. 2).

Таблица 2

Единицы, применяемые в Англии и США, и их перевод в единицы СИ

Величина	Единица измерения	Значение СИ	Обозначение единицы	
			Русское	Международное
Длина	Миля	1609 м	миля	<i>Mi</i>
	морская миля	1852 м	морская миля	<i>nmi</i>
	международный кабельтов	185.2 м	кабельтов	<i>cable('s) length</i>
	Ярд	0.9144 м	ярд	<i>yd (yard)</i>
	Фут	0.3042 м	фут	<i>ft (foot)</i>
	Дюйм	25.4 мм	дюйм	<i>In (inch)</i>
Масса	Фунт	0.4536 кг	фунт	<i>Lb</i>
Единицы объема	Баррель	159 л	баррель	<i>bbl (barrel)</i>
	галлон жидкостный (США)	3.8 (3.785 точно) л	галлон	<i>gal</i>
	американская кварта для жидкостей	0.9463 л	кварта	<i>qt (quart)</i>
Скорость	1 морская миля в час	1.852 км/ч или 0.514 м/с	узел	<i>kn (knots)</i>

### 1.5 Основы теории измерений. Классификация измерений, методы и виды измерений

**Измерение** (Рис. 3) - совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины [15].

Из этого определения очевидно, что измерение представляет некоторую совокупность операций, основными из которых, исходя из условий измерений и

требований к их точности, являются выбор средства измерения, метода измерения и алгоритма обработки полученной измерительной информации.

Но, кроме выбора необходимого средства измерения, следует особое внимание уделять выбору аналитического вида оценки результата измерения, которая должна удовлетворять специальным требованиям, и метода измерения, а измеряемая физическая величина непосредственно и однозначно определит вид измерения.

Измерение - нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств (ГОСТ 16263-70).

Ёмкость определения по ГОСТ 16263-70, прежде всего, заложена в слове «нахождение», которое включает в себя все перечисленные выше операции.



Рис. 3 Классификация измерений, методов и видов измерений

**Прямое измерение** – измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных:

$$Q = A,$$

где  $Q$  - искомое значение измеряемой величины;  $A$  - значение физической величины, полученное из опыта.

Следует заметить, что с целью повышения точности измерений с помощью цифровых средств измерений получают не однократное, а многократные измерения. Кроме этого, одна и та же величина может измеряться многократно различными средствами измерений. Поэтому процесс любого измерения,

как правило, включает не только считывание числовой информации, но и требует определенной ее математической обработки. Следовательно, в определении прямого измерения под словом «**находят**» следует понимать всю совокупность операций, включая обработку определенным образом полученной числовой информации.

**Косвенное измерение** - измерение, при котором искомое значение физической величины находят на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой физической величиной.

При этом значение измеряемой величины  $Q$  вычисляется (**находится**) по результатам прямых (и не только прямых) измерений  $A_1, A_2, \dots$ , функционально связанных с  $Q$ , в общем виде, следующим образом:

$$Q = f(A_1, A_2, \dots), \text{ где } f - \text{ известная функция.}$$

Здесь тоже следует указать на то, что измерения аргументов  $A_1, A_2, \dots$  с целью повышения точности результата измерения могут быть многократными.

В качестве примера приведём косвенное измерение удельного электрического сопротивления проводника -  $\rho$ . Его зависимость от других физических величин может быть выражена в следующем виде:

$$\rho = \frac{\pi R d^2}{4 \ell},$$

где:  $R$  - электрическое сопротивление проводника, Ом;

$d$  - диаметр проводника, м;

$\ell$  - длина проводника, м.

Измерив  $R, d, \ell$  с помощью омметра, микрометра и штангенциркуля, и, подставив полученные значения в представленную зависимость, получим значение искомой физической величины. Если же каждая из величин  $R, d, \ell$  будет измерена многократно, то полученную измерительную информацию придется обрабатывать определенным образом.

**Совокупные измерения** - одновременно производимые измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят путем решения системы уравнений, полученной измерением их различных комбинаций.

Примером совокупных измерений могут быть измерения сопротивления резисторов  $R_1, R_2, R_3$ , когда точка «в» при измерениях недоступна (Рис. 4).

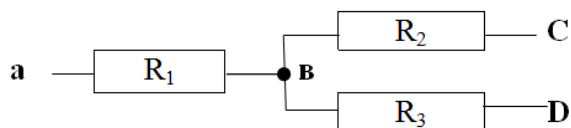


Рис. 4 Электрическая схема при совокупных измерениях

В соответствии известными законами электротехники будем иметь:

$$R_1 + R_2 = R_{ac}$$

$$R_1 + R_3 = R_{ad}$$

$$R_2 + R_3 = R_{cd}$$

При проведении измерений получают:

$$R_1 + R_2 = P_1 [\text{Ом}]$$

$$R_1 + R_3 = P_2 [\text{Ом}],$$

$$R_2 + R_3 = P_3 [\text{Ом}]$$

где  $P_1, P_2, P_3$  - измеренные значения сопротивлений соответствующих пар резисторов ( $R_{ac}, R_{ad}, R_{cd}$ ), содержащие случайные составляющие погрешностей измерений. Данная система трех уравнений с тремя неизвестными имеет единственное решение, которое может быть найдено одним из известных способов решения систем уравнений. Если же с целью получения большей точности результата измерений проводились многократные измерения сопротивлений  $R_{ac}, R_{ad}, R_{cd}$ , то система уравнений будет переопределенной и для нахождения результата измерения может быть использован метод наименьших квадратов.

**Совместные измерения** - одновременно производимые измерения нескольких неоднородных величин с целью нахождения зависимости между ними.

Совместные измерения выполняются так, что значения искомым величин рассчитываются по системе уравнений, связывающих их с другими величинами, наблюдаемыми с помощью прямых или косвенных измерений.

Примером таких измерений может служить измерение сопротивления резистора  $R_t$  [Ом] и температуры  $t$  [°C] с целью нахождения зависимости между ними, т.е. нахождения, соответственно, сопротивления резистора  $R_{20}$  [Ом] при температуре 20°C и температурного коэффициента  $\alpha$  [ $1/\text{град}$ ] в соответствии с зависимостью:

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha (t - 20^\circ \text{C})],$$

где:  $t$  - температура в градусах Цельсия;  $R_t$  - значение электрического сопротивления резистора в [Ом];  $\alpha$  - температурный коэффициент материала резистора [ $1/\text{град}$ ].

Для получения оценок искомым величин  $R_{20}$  и  $\alpha$  достаточно иметь два уравнения, полученных из представленной зависимости путем измерения сопротивления  $R_t$  при двух различных значениях температуры.

Однако в целях повышения точности результата, измерения проводятся при большем числе различных температур, в результате чего получают переопределенную, несовместную систему уравнений. Из-за погрешностей измерений величин  $R_i$  и  $t$  в  $i$ -ом опыте найти значения искомым величин, при которых бы удовлетворялись одновременно все уравнения системы, нельзя. В силу изложенных выше причин задача обработки результатов совместных, как и совокупных измерений, сводится к нахождению оценок значений искомым величин, представляющих собой наилучшие приближения.

Одним из наиболее распространенных методов решения таких систем является метод наименьших квадратов (МНК).

Из всего изложенного выше очевидно, что при всех измерениях (прямых, косвенных, совместных, совокупных), помимо объекта измерения, средств измерений и метода измерения, для нахождения результата измерения необходима математическая обработка полученной числовой (измерительной) информации по определенной методике, которая непосредственно влияет на точность результата измерения и которая, собственно, и определяет само название измерения.

**Вид измерения** - это часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин [15].

В соответствии с данным определением существуют различные виды измерений:

- электрических величин;
- геометрических величин;
- механических величин;
- давления;
- физико-химические;
- ионизирующих излучений;
- времени и частоты;
- магнитные;
- температурные и теплофизические;
- оптические и оптико-физические;
- параметров потока, расхода, уровня и объема;
- радиотехнические;
- радиоэлектронные;
- акустические.

## ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

### 2.1 Обеспечение единства измерений. Поверка средств измерений

#### 2.1.1 Государственная система обеспечения единства измерений

Для обеспечения единства измерений в РФ создана **государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ)** - комплекс установленных стандартами взаимоувязанных правил, положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений.

**Единство измерений** - состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Цели ГСИ:

1. Обеспечение единства измерений.
2. Защита населения и государства от последствий неточных и неправильных измерений.
3. Повышение качества товаров и услуг.
4. Достижение доверия в международных экономических отношениях к результатам измерений при проведении поверки, калибровки и испытаний.

Задачи ГСИ:

1. Разработка научно-методических, правовых и организационных основ системы.
2. Стандартизация основных положений, правил, требований и норм.
3. Разработка эталонной базы.
4. Установление общих требований и правил к метрологическим характеристикам средств измерений, испытаний, поверке, калибровке, методикам выполнения измерений.
5. Осуществление государственного метрологического надзора и контроля за производством, состоянием, применением и ремонтом средств измерений и соблюдением метрологических правил, требований и норм.
6. Осуществление подготовки и переподготовки кадров.

Государственная система обеспечения единства измерений состоит из правовой, технической и организационной подсистем.

Правовой основой обеспечения единства измерений служит законодательная метрология, которая представляет собой свод государственных актов и нормативно-технических документов различного уровня, регламентирующих метрологические правила, требования и нормы.

**Правовая подсистема** - это комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов (в том числе межотраслевых нормативных документов ГСИ), объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласован-

ные требования к следующим объектам деятельности по обеспечению единства измерений:

- совокупности узаконенных единиц физических величин и шкал измерений;
- терминологии в области метрологии;
- воспроизведению и передаче размеров единиц физических величин и шкал измерений;
- способам и формам представления результатов измерений и характеристик их погрешностей;
- методам оценивания погрешности и (неопределенности) измерений;
- порядку разработки и аттестации методик выполнения измерений;
- комплексам нормируемых метрологических характеристик средств измерений;
- методам установления и корректировки межповерочных интервалов;
- порядку проведения испытаний в целях утверждения типа средств измерений и сертификации средств измерений;
- порядку проведения поверки и калибровки средств измерений;
- порядку осуществления метрологического контроля и надзора;
- порядку лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;
- типовым задачам, правам и обязанностям метрологических служб федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц;
- порядку аккредитации метрологических служб по различным направлениям метрологической деятельности;
- порядку аккредитации поверочных, калибровочных, измерительных, испытательных и аналитических лабораторий, лабораторий неразрушающего и радиационного контроля;
- терминам и определениям по видам измерений;
- государственным поверочным схемам;
- методикам поверки (калибровки) средств измерений;
- методикам выполнения измерений.

Системным подходом стало принятие ряда законов и постановлений:

- Закон РФ №102 - ФЗ от 26 июня 2008 года «Об обеспечении единства измерений».
- Постановление Правительства РФ «Об утверждении положения о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации».
- Приказ Госстандарта РФ «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений»
- Постановление Правительства РФ «О Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии».

– Приказ Минпромторга «Об утверждении типового положения о территориальном органе Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

В компетенцию Росстандарта входят следующие вопросы:

- межрегиональная и межотраслевая координация деятельности по обеспечению единства измерений в РФ;
- организация взаимодействия региональных и отраслевых служб с целью обеспечения единства измерений в стране в целом;
- научные исследования и обобщение практического опыта организации измерений, представление Правительству РФ предложений по единицам величин, допускаемым к применению;
- установление правил создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц величин;
- определение общих метрологических требований к средствам, методам и результатам измерений. Разработка стандартов на методики проведения измерений (МВИ);
- осуществление государственного метрологического контроля и надзора.

Надзор осуществляется путем:

- утверждения типа средств измерений (вновь разработанный прибор должен пройти метрологическую экспертизу и быть зарегистрирован);
- поверки и калибровки средств измерения, в том числе эталонов;
- надзора за состоянием и применением средств измерений,
- надзора за соблюдением метрологических правил и норм, установленных в нормативных документах по обеспечению единства измерений;
- осуществления государственного контроля за соблюдением условий международных договоров РФ о признании результатов испытаний и поверки СИ;
- руководства деятельностью Государственной метрологической службы и иных государственных служб обеспечения единства измерений;
- участия в деятельности международных организаций по вопросам обеспечения единства измерений.

Непосредственное единство измерений обеспечивает Государственная метрологическая служба, находящаяся в ведении Росстандарта России.

Она включает:

- государственные научные метрологические центры;
- органы Государственной метрологической службы на территориях республик в составе Российской Федерации, автономной области, автономных округов, краев, областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

Для обеспечения единства отдельных видов измерений при Росстандарте РФ созданы:

- Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ);



– Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО);

– Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

Организационная подсистема включает:

– Государственную метрологическую службу;

– иные государственные службы обеспечения единства измерений;

– метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц (в том числе метрологическая служба Вооруженных Сил РФ, осуществляющая свою деятельность по обеспечению единства измерений в сфере обороны и безопасности).

### 2.1.2 Поверочные схемы и их классификация. Поверка средств измерений

Для обеспечения правильной передачи размеров единиц измерения от эталона к рабочим средствам измерения составляют поверочные схемы, устанавливающие метрологические соподчинения государственного эталона, разрядных эталонов и рабочих средств измерений.

Схемы передачи информации о размерах единиц при их централизованном воспроизведении называют **поверочными** (Рис. 5).

**Поверочная схема** - это утверждённый в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам измерений.

Поверочная схема может быть: государственной и локальной.

Государственная поверочная схема устанавливает передачу информации о размере единицы в масштабах страны. Она возглавляется государственными или специальными эталонами.

Локальные поверочные схемы предназначены для метрологических служб министерств (ведомств) и юридических лиц. Все локальные поверочные схемы должны соответствовать требованиям соподчиненности, которая определена государственной поверочной схемой.

**Калибровка средства измерений** - это совокупность операций, выполняемых калибровочной лабораторией с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности средства измерений к применению в сферах, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору в соответствии с установленными требованиями.

Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на средства измерений, или сертификатом о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах.

**Поверка средства измерений** - совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы с целью определения и

подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.



Рис. 5 Передача размеров единиц физических величин

Поверку (обязательная госповерка) может выполнять, как правило, орган государственной метрологической службы, а калибровку - любая аккредитованная организация.

Поверка обязательна, калибровка же - процедура добровольная, поскольку относится к средствам измерений, не подлежащим государственному метрологическому контролю (ГМК).

Метод непосредственного сличения поверяемого (калибруемого) средства измерения с эталоном соответствующего разряда широко применяется для различных средств измерений в таких областях, как электрические и магнитные измерения, для определения напряжения, частоты и силы тока. В основе метода лежит проведение одновременных измерений одной и той же физической величины поверяемым (калибруемым) и эталонным приборами. При этом определяют погрешность как разницу показаний поверяемого и эталонного средств измерений, принимая показания эталона за действительное значение величины. Достоинства этого метода в его простоте, наглядности, возможности применения автоматической поверки (калибровки), отсутствии потребности в сложном оборудовании.

Метод сличения с помощью компаратора основан на использовании прибора сравнения, с помощью которого сличаются поверяемое (калибруемое) и эталонные средства измерения. Потребность в компараторе возникает при невозможности сравнения показаний приборов, измеряющих одну и ту же величину, например, двух вольтметров, один из которых пригоден для постоянного тока, а другой - переменного. В подобных ситуациях в схему поверки (калибровки) вводится промежуточное звено - компаратор. Для приведенного примера потребуется потенциометр, который и будет компаратором. На практике компаратором может служить любое средство измерения, если оно одинаково реагирует на сигналы как поверяемого (калибруемого), так и эталонного измерительного прибора. Достоинством данного метода специалисты считают последовательное во времени сравнение двух величин.

Метод прямых измерений применяется, когда имеется возможность сличить испытуемый прибор с эталонным в определенных пределах измерений. В целом этот метод аналогичен методу непосредственного сличения, но методом прямых измерений производится сличение на всех числовых отметках каждого диапазона (и поддиапазонов, если они имеются в приборе).

Метод прямых измерений применяют, например, для поверки или калибровки вольтметров постоянного электрического тока.

Метод косвенных измерений используется, когда действительные значения измеряемых величин невозможно определить прямыми измерениями либо, когда косвенные измерения оказываются более точными, чем прямые. Этим методом определяют вначале не искомую характеристику, а другие, связанные с ней определенной зависимостью. Искомая характеристика определяется расчетным путем. Например, при поверке (калибровке) вольтметра постоянного тока эталонным амперметром устанавливают силу тока, одновременно измеряя сопротивление. Расчетное значение напряжения сравнивают с показателями калибруемого (поверяемого) вольтметра. Метод косвенных измерений обычно применяют в установках автоматизированной поверки (калибровки).

Средства измерений, подлежащие метрологическому контролю и надзору, подвергаются поверке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при продаже и выдаче на прокат, а также при эксплуатации.

Правилами ПР 50.2.006-94 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения» установлено, что поверку средств измерений осуществляют органы государственной метрологической службы (ГМС), государственные научные метрологические центры (ГНМЦ), а также аккредитованные метрологические службы юридических лиц.

**Виды поверок СИ:** первичная, периодическая, внеочередная, инспекционная, экспертная (Рис. 6).

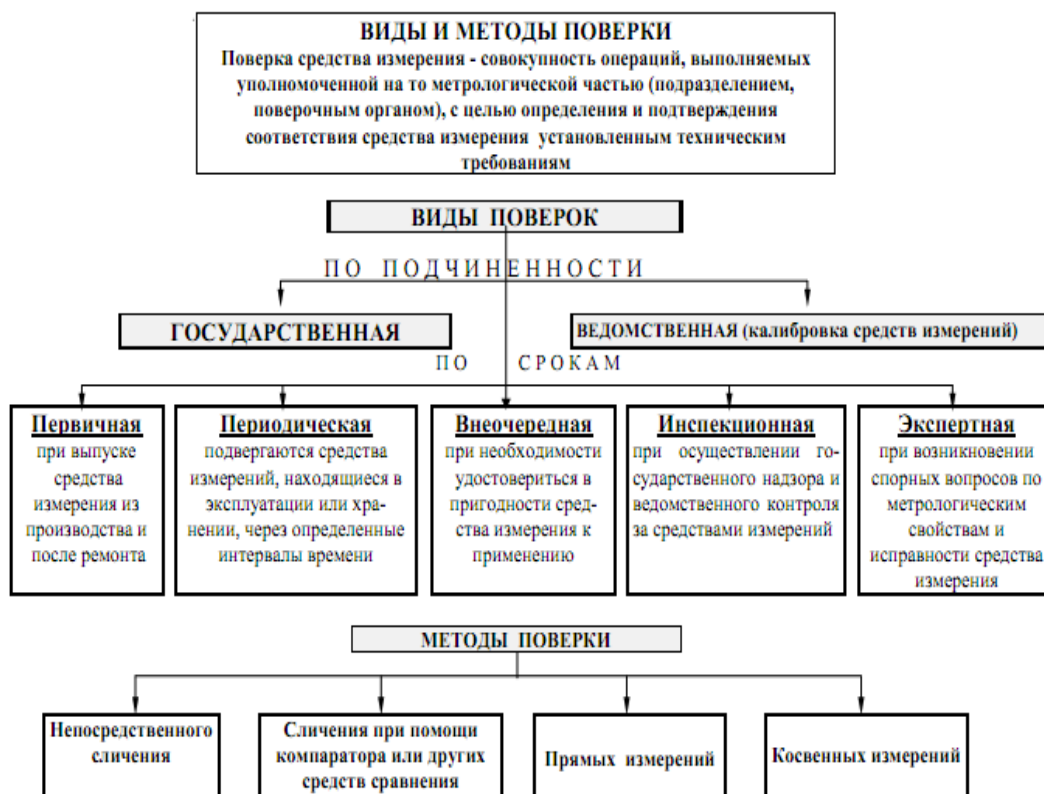


Рис. 6 Виды и методы поверок

**Первичная поверка** - проводится для средств измерений утвержденных типов при выпуске их из производства, после ремонта, при ввозе из-за границы. При утверждении типа средств измерений единичного производства на каждое из них оформляется сертификат об утверждении типа; первичную поверку данные средства измерений не проходят.

**Периодическая поверка** проводится для средств измерений, находящихся в эксплуатации, через определённые межповерочные интервалы. Необходимость поверки обусловлена возможностью утраты измерительным средством метрологических показателей из-за временных и других воздействий.

**Внеочередная поверка** СИ проводится ГМС и МС объектов хозяйствования независимо от сроков очередной поверки в следующих случаях:

- при необходимости подтверждения годности СИ к применению;
- при вводе СИ в эксплуатацию после длительного хранения (более одного межповерочного интервала);
- при корректировке межповерочных интервалов;
- при повреждении поверительного клейма, пломбы или утере документа, подтверждающего необходимую поверку;

– при применении СИ в качестве комплектующих, передаче на длительное хранение или при отправке потребителю по истечении половины межповерочного интервала на них.

Периодичность поверки зависит от временной нестабильности метрологических характеристик (метрологической надёжности), интенсивности эксплуатации и важности результатов, получаемых с помощью средств измерений.

Существуют рекомендация ВНИИМС - МИ2273-93 «ГСИ. Области использования средств измерений, подлежащих поверке», согласно которой первый межповерочный интервал устанавливается при утверждении типа. Корректировка межповерочных интервалов с учетом специфики применения средств измерений производится в соответствии с методическими материалами.

**Экспертная поверка** проводится при возникновении разногласий по вопросам, относящимся к метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению.

**Инспекционная поверка** выполняется в рамках государственного надзора или ведомственного контроля, для контроля качества первичных или периодических поверок и определения пригодности средств измерений к применению.

### 2.1.3 Эталоны единиц физических величин

Эталон единицы величины - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных либо дольных значений единицы величины) с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной величины.

От эталона единица величины передается разрядным эталонам, а от них - рабочим средствам измерений.

Эталоны классифицируют на первичные, вторичные и рабочие (Рис. 6).

**Первичный эталон** - это эталон, воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной в данной области измерений на современном уровне научно-технических достижений. Первичный эталон может быть национальным, (государственным) и международным.

**Государственный эталон единицы величины** - эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории Российской Федерации.

Международные эталоны хранит и поддерживает Международное бюро мер и весов (МБМВ).

Важнейшая задача деятельности МБМВ состоит в систематических международных сличениях национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами. Например, эталоны

метра и килограмма сличают каждые 25 лет, а электрические и световые эталоны - один раз в 3 года.

Рабочие эталоны воспринимают размер единицы от вторичных эталонов и, в свою очередь, служат для передачи размера менее точному рабочему эталону (или эталону более низкого разряда) и рабочим средствам измерений.

Каждый эталон состоит из воспроизводящей части и приспособлений или устройств, обеспечивающих съём и передачу информации о размере единицы.

Классификация, назначение и общие требования по созданию, хранению и применению эталонов установлены ГОСТ 8.057. Эталоны создают для воспроизведения и (или) хранения единиц физических величин (далее - единиц) и передачи их размеров средствам измерений, применяемым в стране с целью обеспечения единства измерений. При помощи эталона воспроизводят и (или) хранят одну единицу или несколько взаимосвязанных единиц.

Первичные эталоны воспроизводят и (или) хранят единицы и передают их размеры с наивысшей точностью, достижимой в данной области измерений.

Специальные эталоны воспроизводят единицы в условиях, в которых прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью технически неосуществима (высокие и сверхвысокие частоты; малые и большие энергии, давления или температуры, особые состояния веществ и т.п.).

Эталон сравнения предназначен для взаимного сличения эталонов, которые по тем или иным причинам нельзя непосредственно сличать друг с другом.

Рабочие эталоны предназначены для поверки образцовых и наиболее точных рабочих средств измерений.

Порядок разработки, утверждения, регистрации, хранения и применения государственных и вторичных эталонов установлен ГОСТ 8.372.

Государственные эталоны создает, утверждает, хранит и применяет Госстандарт РФ.

Для наблюдения за правильным хранением, сличением и исследованием эталонов, а также выполнением других требований назначают ученых хранителей эталонов.

В качестве примера рассмотрим современное определение единицы длины. Определение метра, принятое Генеральной конференцией по мерам и весам в 1983 году, связывает единицу длины с единицей времени и частоты через фундаментальную константу – скорость света, значение которой принято по международному соглашению. Это определение основано на фундаментальной зависимости:  $c = \lambda \cdot \nu$ . Согласно новому определению метра основной единицей длины системы единиц СИ является длина, равная расстоянию, проходимому светом за  $1/299792458$  долю секунды. Учитывая, что величина скорости света определена как константа  $c = 2,99792458 \cdot 10^8$  м/с, этот промежуток времени равен  $t = 3,33564 \cdot 10^{-9} \approx \cdot c$ .

Данное определение удобно использовать для измерения больших расстояний (радиолокация, космические исследования и т.п.), однако, являясь универсальным, оно не вполне удобно для практических измерений длины. Действительно, для измерения длины в 1 м с погрешностью порядка ( $10^{-8} - 10^{-9}$ ) м потребуется измерить временной интервал порядка  $3 \cdot 10^{-9}$  секунды с такой же относительной погрешностью, что при современном состоянии измерительной техники недостижимо. Поэтому Консультативный комитет по определению метра (ККОМ) разработал рекомендации по практическому применению нового определения, суть которого заключается в том, что стандартом длины (с соответствующей погрешностью) может являться любое излучение, частота которого известна.

ККОМ разработал Перечень рекомендованных излучений для практических применений в метрологии длины, физических исследованиях и т.п.

Перечень включает в себя более десятка типов квантовых генераторов в сантиметровом, инфракрасном и видимом диапазоне излучения, а также ряд спектральных ламп, традиционно используемых в интерферометрии.

Перечень этот постоянно уточняется и расширяется. Для практической интерферометрии наиболее подходящими являются источники излучения видимого диапазона, поскольку подавляющее число интерферометров работают именно в видимом диапазоне спектра.

Наибольшее распространение получил He-Ne/127I2 лазер с длиной волны  $\lambda \approx 633\text{нм}$ , поскольку он обладает высокой воспроизводимостью частоты, надежностью и сравнительно невысокой стоимостью.

Образцовая установка ВНИИМ (Рис. 7), на которой проводятся исследования метрологических характеристик промышленных стабилизированных лазеров включает в себя: эталонный стабилизированный He-Ne/I<sub>2</sub> лазер  $\lambda = 633\text{нм}$ , систему гетеродинирования оптических частот, аппаратуру для регистрации результатов измерений. Для регистрации результатов измерений использовался набор электронной аппаратуры, включающий в себя анализатор спектра, электронный частотомер, осциллограф, вспомогательные источники питания. Вся установка при этом размещена на виброзащищенном фундаменте. Относительная погрешность измерения частоты составляет  $3 \cdot 10^{-12}$ . Относительная погрешность воспроизводимости частоты эталонного лазера  $2 \cdot 10^{-11}$ .

Образцовая установка ВНИИМ находится в специально оборудованном помещении. Помещение размещается в подвальном этаже и имеет фундамент, не связанный с фундаментом здания. С целью защиты фундамента от вибраций, была оборудована виброизолированная стальная платформа, опирающаяся на пневмоопоры, расположенные на развязанном фундаменте.



Рис. 7 Внешний вид образцовой установки ВНИИМ: 1 - исследуемый лазер; 2 - эталонный лазер; 3 - полупрозрачное зеркало; 4 - отражающее зеркало; 5 - фокусирующая линза; 6 - фотоэлектрический преобразователь; 7 - анализатор спектра; 8 - система автоподстройки частоты (АПЧ)

Помещение термостатируется с помощью электрических печей, управляемых тиристорными реле, включаемыми ртутными контактными термометрами. Принятые меры обеспечили постоянство температуры воздуха в помещении с точностью  $\pm 0,2$  °С.

**Стандартные образцы** используются для градуировки, поверки и калибровки химического состава и различных свойств материалов (механических, теплофизических, оптических и др.). Они могут применяться непосредственно для контроля качества сырья и промышленной продукции путем сличения.

По существу, стандартные образцы служат для поддержания единства измерений, т.е. являются средствами измерений.

Стандартные образцы подвергаются специальным испытаниям, по результатам которых они получают свидетельства (сертификат) и вносятся в государственный реестр стандартных образцов, а он, в свою очередь, является составной частью (разделом) Государственного реестра средств измерений.

В России действует Государственная служба стандартных образцов (ГССО) в составе НПО ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.

Наличие серы в нефтепродуктах может привести к отказу авиационной техники. Поэтому, содержание серы в нефтепродуктах тщательно контролируется, в том числе с помощью стандартных образцов. Например, с помощью стандартного образца СЛ-1. СЛ-1 предназначен для контроля погрешности результатов испытаний массовой доли серы в светлых нефтепродуктах по национальному стандарту РФ ГОСТ 19121-73. Номер в Госреестре СО ГСО 5479-90. СЛ-1 представляет собой жидкую смесь дигексилсульфида и н-декана, герметично запаянную в стеклянную ампулу. Объем материала образца в ампуле  $5 \text{ см}^3$ .

Нормированные метрологические характеристики: интервал допускаемого значения аттестованной характеристики СО, от 0,012 до 0,040 %, границы допускаемых значений абсолютной погрешности аттестованной характеристики образца при  $P=0,95$  от  $\pm 0,002$  до  $\pm 0,015$  %.



## 2. 2. Понятия о взаимозаменяемости деталей, размерах и отклонениях

### 2.2.1 Понятие о взаимозаменяемости деталей

**Взаимозаменяемость** - это свойство независимо изготовленных деталей и узлов машин обеспечивать возможность беспригоночной сборки (или замены при ремонте) сопрягаемых деталей в сборочную единицу, а сборочных единиц - в изделия при соблюдении предъявляемых к ним требований. Взаимозаменяемыми могут быть и изделия в целом.

Взаимозаменяемость обеспечивается соблюдением в заданных пределах не только геометрических параметров сопрягаемых деталей, но и электрических, гидравлических, пневматических и других физико-механических параметров деталей и сборочных единиц машин, а также соблюдением кинематических и динамических параметров звеньев механизмов и т.п. Взаимозаменяемость может быть полной и неполной (ограниченная).

**Система допусков и посадок** - это совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандарта. В настоящее время разработаны и действуют системы допусков и посадок для следующих типовых видов сопряжения: гладких, конических, резьбовых, шпоночных, шлицевых и др.

**Предельные размеры** - два предельно допустимых размера элемента, между которыми должен находиться (или которым может быть равен) действительный размер (Рис. 8).

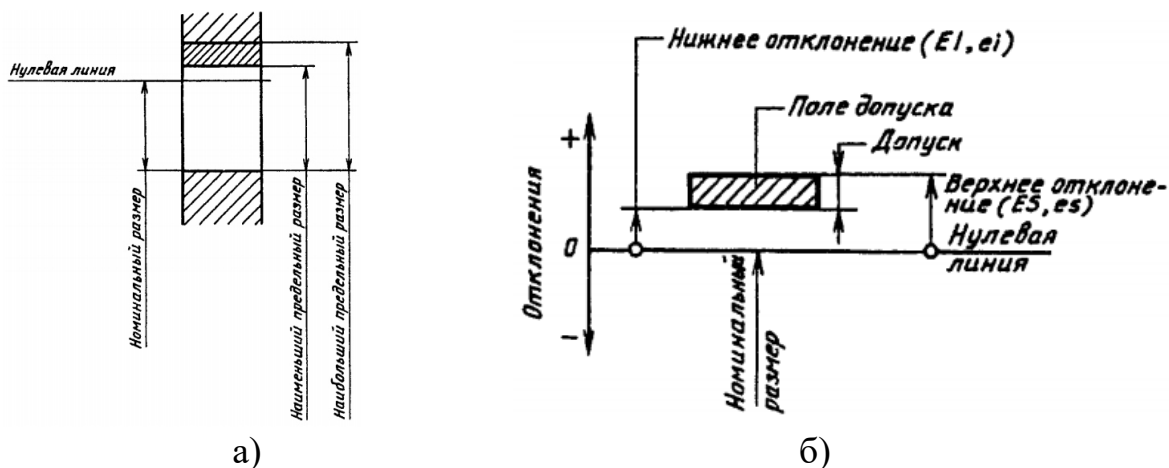


Рис. 8 Изображение полей допусков а) предельные размеры б) изображение отклонений

В настоящее время большинство стран мира применяют системы допусков и посадок ISO (International Organisation for Standardization), которые

созданы для возможностей унификации национальных систем допусков и посадок.

В нашей стране переход на единую систему допусков и посадок и основные нормы взаимозаменяемости, которые основаны на стандартах и рекомендациях ISO, начался с 1977г.

Рассмотрим основные понятия в системе допусков и посадок.

**Размер** - числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.п.) в выбранных единицах измерения.

**Действительный размер** - размер элемента, установленный измерением с допускаемой погрешностью.

**Отклонение** - алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером.

**Действительное отклонение** - алгебраическая разность между действительным и соответствующим номинальным размерами.

**Предельное отклонение** - алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения.

**Верхнее отклонение**  $ES$ ,  $es$  - алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами (Рис. 8).  $ES$  - верхнее отклонение отверстия;  $es$  - верхнее отклонение вала.

$$ES = D_{max} - D_n, \quad es = d_{max} - d_n$$

$$EI = D_{min} - D_n, \quad ei = d_{min} - d_n$$

**Нижнее отклонение**  $EI$ ,  $ei$  - алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами (Рис. 8). Примечание.  $EI$  - нижнее отклонение отверстия;  $ei$  - нижнее отклонение вала.

**Основное отклонение** - одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. В данной системе допусков и посадок основным является отклонение, ближайшее к нулевой линии.

**Нулевая линия** - линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные - вниз (Рис. 8).

**Допуск**  $T$  - разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями (Рис. 10). Допуск - это абсолютная величина без знака.

**Стандартный допуск**  $IT$  - любой из допусков, устанавливаемых данной системой допусков и посадок.

$$IT_D = D_{max} - D_{min} \text{ или } IT_D = ES - EI$$

$$IT_d = d_{max} - d_{min} \quad IT_d = es - ei$$

**Поле допуска** - поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии (Рис. 8).

**Вал** - термин, условно применяемый для обозначений наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

**Отверстие** - термин, условно применяемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

**Основной вал** - вал, верхнее отклонение которого равно нулю.

**Основное отверстие** - отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю.

**Посадка** - характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки (Рис. 9).

**Номинальный размер посадки** - номинальный размер, общий для отверстия и вала, составляющих соединение.

**Допуск посадки** - сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

**Зазор** - разность между размерами отверстия и вала до сборки, если размер отверстия больше размера вала (Рис. 9, а).

$$S = D - d \geq 0$$

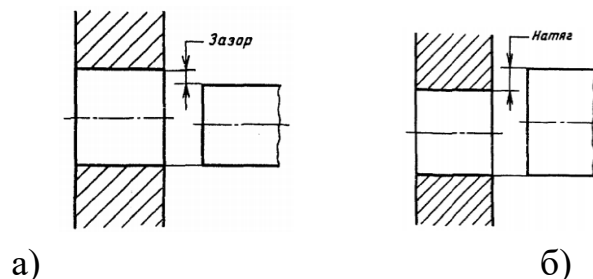


Рис. 9 Виды посадок: а) посадка с зазором б) посадка с натягом

**Натяг** - разность между размерами вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия (Рис. 9, б).

Примечание. Натяг можно определять как отрицательную разность между размерами отверстия и вала.

$$N = D - d \leq 0$$

## 2.2.2 Поля допусков отверстий и валов

**Посадка с зазором** - посадка, при которой всегда образуется зазор в соединении, т.е. наименьший предельный размер отверстия больше наибольшего предельного размера вала или равен ему.

**Посадка с натягом** - посадка, при которой всегда образуется натяг в соединении, т.е. наименьший предельный размер вала больше наибольшего предельного размера отверстия или равен ему (Рис. 10). При графическом изображении поле допуска вала расположено над полем допуска отверстия.

В первую очередь должны применяться предпочтительные посадки. В основном применяют посадки в системе отверстия (сокращается номенклатура размерного режущего и калибровочного инструмента для отверстий). Посадки системы вала целесообразны при использовании некоторых стандартных деталей (например, подшипников качения) и в случаях применения вала постоянного диаметра по всей длине для установки на него нескольких деталей с различными посадками.

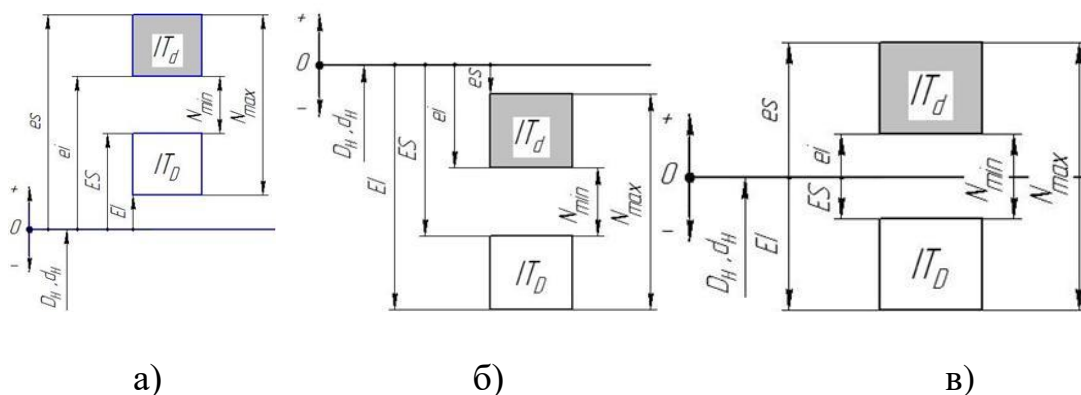


Рис. 10 Графическое изображение полей допусков для посадок с натягом: а - отклонения размеров отверстия и вала положительные; б - отклонения размеров отверстия и вала отрицательные; в - отклонения размеров вала положительные, отверстия – отрицательные

Допуски отверстия и вала в посадке не должны отличаться более чем на 1 - 2 квалитета. Большой допуск, как правило, назначают для отверстия.

Зазоры и натяги следует рассчитывать для большинства типов соединений, в особенности для посадок с натягом, подшипников жидкостного трения и других посадок.

### 2.2.3 Понятие о квалитетах

**Квалитет** - (от лат. *qualitas* - качество) - характеристика точности изготовления изделия (детали), определяющая значения допусков

Квалитеты обозначают порядковыми номерами, например 01, 7, 14. Допуски по квалитетам обозначают сочетанием прописных букв  $IT$  с порядковым номером квалитета, например  $IT01$ ,  $IT7$ ,  $IT14$ .

Основные отклонения обозначают буквами латинского алфавита: прописными для отверстий ( $A \dots ZC$ ) и строчными для валов ( $a \dots zc$ ) (Рис. 11).

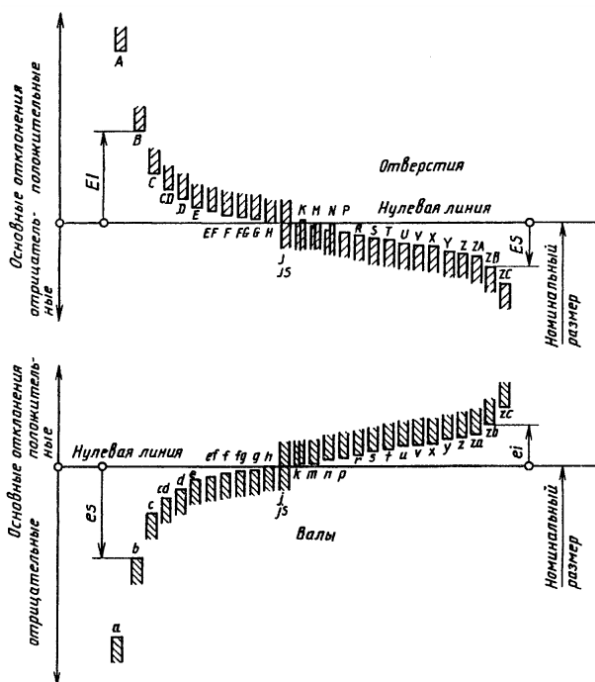


Рис. 11 Схема расположения и обозначения основных отклонений

Поле допуска обозначают сочетанием буквы (букв) основного отклонения и порядкового номера качества. Например:  $g6$ ,  $js7$ ,  $H7$ ,  $H11$ . Обозначение поля допуска указывают после номинального размера элемента. Например:  $40g6$ ,  $40H7$ ,  $40H11$ .

Посадку обозначают дробью, в числителе которой указывают обозначение поля допуска отверстия, а в знаменателе - обозначение поля допуска вала. Например:  $H7/g6$  или  $\frac{H7}{h6}$ . Обозначение посадки указывают после номинального размера посадки. Например:  $40H7/g6$  или  $40\frac{H7}{g6}$ .

ГОСТ 25346-89 «Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок» устанавливает 20 качеств 01, 0, 1, 2 - 18. Качества от 01 до 5 предназначены преимущественно для калибров и других высокоточных изделий. Качества от 5-го до 12-го применяют в машиностроении, с 13-го до 18-го при производстве сельхозмашин и др.

**Предельное отклонение для отверстий** - диаметр наибольшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть вписан в отверстие так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности на длине соединения (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к отверстию без зазора), не должен быть меньше, чем предел максимума материала. Дополнительно наибольший диаметр в любом месте отверстия, определенный путем двухточечного измерения, не должен быть больше, чем предел минимума материала.

## ГЛАВА 3. ТЕОРИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

### 3.1 Общие сведения о погрешностях

**Погрешность результата измерений** – разность между измеренным и истинным (действительным) значением измеряемой величины.

$$\Delta X = X_{изм} - X_{ист}$$

Погрешности средств измерений и результатов измерений являются основной количественной характеристикой их качества. Причины возникновения погрешностей средств измерений и результатов измерений, характер их проявления весьма разнообразны, то их классифицируют по различным признакам.

В метрологической практике необходимо учитывать, что часть наименований разновидностей погрешностей относится к погрешностям средств измерений, другая часть - к погрешностям измерений, а некоторые применяются по отношению и к тем и к другим. Такое положение закреплено в ныне действующих ГОСТах. Поэтому, рассматривая далее основные разновидности погрешностей, используемые в практике измерений, будем обращать внимание на области их применения и отмечать также те случаи, когда одно и то же понятие погрешности в разных областях имеет несовпадающие значения.

Так как в процессе измерений кроме физического объекта в обязательном порядке присутствуют: средство измерений, избранный метод измерений, а также некоторый алгоритм обработки полученной измерительной информации, то именно эти три составляющие определяют, в конечном счете, погрешность измерения в целом. Поэтому при дальнейшем рассмотрении классификаций погрешностей измерений станет очевидным, что принципы классификаций погрешностей измерений продиктованы воздействием этих трех составляющих погрешности на результат измерения.

### 3.2 Классификация погрешностей

Погрешности классифицируют: по: форме числового выражения, закономерности проявления, причинам возникновения, условиям и режиму измерений (Рис. 12).

Абсолютная погрешность измерения есть алгебраическая разность между измеренным и действительным значением:

$$\Delta X = X_{изм} - X_0$$

Абсолютная погрешность измерения, выражается в единицах измеряемой величины.

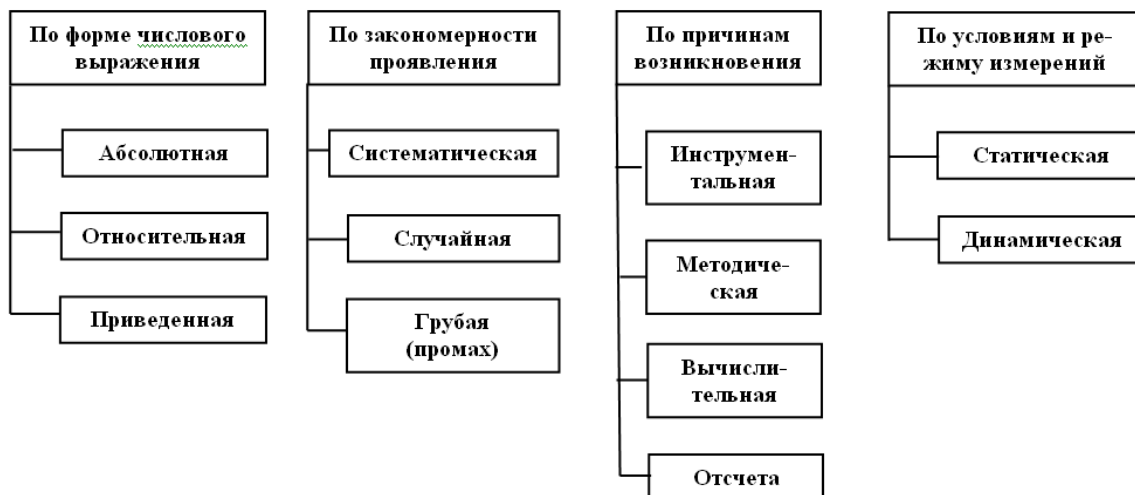


Рис. 12 Классификация погрешностей измерений и СИ

Через относительную погрешность измерения обычно количественно оценивают точность измерения, то есть качество измерений, отражающее близость их результатов к действительному значению измеряемой величины. При этом точность измерений равняется обратной величине модуля относительной погрешности. Например, если относительная погрешность измерений равна  $10^{-6}$ , то точность измерений равна  $10^6$ .

Относительная погрешность измерений чаще выражают в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_d} \cdot 100\%,$$

Приведённая погрешность определяется выражением:

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_N} \cdot 100\%,$$

где  $\gamma$  - приведённая погрешность,

$A_n$  - нормирующая величина, зависящая от типа прибора, диапазона измерения, размаха и вида шкалы.

**Инструментальная погрешность** - это составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

Эта погрешность принадлежит конкретному средству измерений, может быть определена при его испытаниях и занесена в его паспорт.

Однако, кроме инструментальных погрешностей, при измерениях возникают ещё и такие, которые не могут быть приписаны данному прибору, не могут быть указаны в его паспорте. Такие погрешности называются погрешностями метода измерения.

**Погрешность метода измерения** – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.

Она связана не с прибором и не с физическим принципом, положенным в основу его устройства, а с методом его использования. Примером такой погрешности может служить погрешность измерения напряжения вольтметром, обладающим конечным сопротивлением. Вследствие шунтирования вольтметром того участка цепи, на котором измеряется падение напряжения, оно оказывается меньшим, чем было до присоединения вольтметра. Поэтому для одного и того же вольтметра, присоединяемого поочерёдно к разным участкам исследуемой цепи, эта погрешность различна - на низкоомных участках она ничтожна, а на высокоомных она может быть очень значительной.

**Погрешности по условиям и режиму измерений** присущи как средствам измерения, так и измерениям в целом, эти погрешности различают по их зависимости от скорости изменения измеряемой величины во времени.

Погрешность, свойственная условиям статического измерения, называется **статической погрешностью измерения**.

Погрешность, свойственная условиям динамического измерения, называется **динамической погрешностью измерения**.

Таким образом, динамические погрешности являются одной из разновидностей погрешностей, вызываемых влияющей величиной в виде скорости изменения во времени самой измеряемой величины.

### **3.3 Погрешности по закономерности проявления во времени**

По закономерности проявления во времени погрешности бывают:

- систематические,
- случайные.

Систематические и случайные погрешности могут относиться как к измерениям, так и к средствам измерений.

**Систематическая погрешность измерения** - это такая её составляющая, которая остаётся постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях физической величины одного и того же размера.

По причинам возникновения систематические погрешности могут быть классифицированы на инструментальные погрешности, погрешности от неправильной установки средства измерения, погрешности от влияющих факторов, погрешности метода измерения, субъективные погрешности.

Например, если сердечник измерительного трансформатора изготовлен из материала, имеющего большие потери, то возникает угловая погрешность. Эта составляющая инструментальной систематической погрешности является конструктивной. Плохая балансировка измерительного механизма, неточности при нанесении отметок шкалы вызывают технологическую погрешность. Конструктивная погрешность у приборов одного типа постоянна, а технологическая по-



грешность меняется от одного экземпляра прибора к другому. Длительная или неправильная эксплуатация прибора, а также длительное хранение вызывают погрешности, которые называют погрешностью износа или старения. Поэтому к хранению и эксплуатации эталонов предъявляются повышенные требования, в частности запрещено их применение для работ, не связанных с передачей размера единиц физических величин, т.е. с поверкой средств измерения.

*Систематические погрешности от неправильной установки* вызываются следующими причинами: наклоном прибора, т.е. его отклонением от рабочего положения, установкой на ферромагнитный щит прибора, проградуированного без щита, близким расположением друг к другу однотипных приборов. Наиболее часто эти погрешности встречаются при создании в подразделениях специальных измерительных стендов и пультов.

*Систематические погрешности, возникающие вследствие внешних влияний.* Это систематическая погрешность средства измерения, обусловленная воздействием на него внешних факторов (дополнительная погрешность). Наиболее сильное воздействие на показания приборов оказывает изменение температуры.

**Случайной погрешностью измерения** (средства измерения) называется составляющая их погрешности, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одного и того же размера физической величины.

Случайные погрешности измерений проявляются в том, что повторные измерения одной и той же величины, проводимые в одних и тех же, по нашему мнению, условиях, дают результаты, отличающиеся один от другого.

Подсчет суммарной погрешности производится следующим образом.

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_{iccu} \pm \sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta_{jcc}^2}$$

где знаки "+" или "-" ставятся из условия, чтобы систематические и случайные погрешности суммировались по модулю.

Если в случайной погрешности известно среднее квадратическое отклонение, то

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_{iccu} \pm K \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \sigma_{jсл}^2}$$

где  $K$  - показатель, указывающий доверительные границы для предельной случайной погрешности измерения (при  $K=1$   $P=0,65$ ; при  $K=2$   $P=0,945$ ; при  $K=3$   $P=0,9973$ ).

Если результаты измерений зависят от большого числа разнообразных факторов, то  $y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , где  $x_i$  - переменные функциональные параметры.

Каждый параметр может иметь отклонение  $\Delta x_i$  (погрешность) от предписанного значения  $x_i$ . Поскольку погрешность  $\Delta x_i$  мала по сравнению с величиной  $x_i$ , суммарная погрешность  $\Delta y$  функции  $y$  можно вычислять по формуле

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \Delta x_i \cdot \partial y / \partial x_i$$

где  $\partial y / \partial x_i$  - передаточное отношение (коэффициент влияния) параметра  $x_i$ .

Формула справедлива лишь для систематических погрешностей  $\Delta x_i$ .

Для случайных погрешностей (когда отдельные составляющие не всегда принимают предельные значения) используются теоремы теории вероятностей о дисперсии, то есть

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_i \cdot \partial y / \partial x_i)^2}$$

Суммарная погрешность при наличии только случайных составляющих  $\delta x_i$  погрешностей

$$\delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^n [(\partial y / \partial x_i) \cdot k_i \cdot \delta x_i]^2 + 2 \cdot \sum_{j=1}^m (\partial y / \partial x_i) \cdot (\partial y / \partial x_j) \cdot k_i \cdot k_j \cdot r_{ij} \cdot \delta x_i \cdot \delta x_j}$$

где  $m$  - число попарно корреляционно связанных параметров;  $k_i$  и  $k_j$  - коэффициенты относительного рассеяния, характеризующие степень отклонения закона распределения погрешности данного параметра от нормального;  $r_{ij}$  - коэффициент корреляции, существующий при наличии корреляционной связи между параметрами  $x_i$  и  $x_j$ .

При наличии и систематических и случайных составляющих погрешностей вычисляют доверительные границы суммарной погрешности:

$$\Delta y_{\text{сум}} = \Delta y \pm k \cdot \sigma_y$$

где  $k$  - масштабный коэффициент интервала распределения, зависящий от закона распределения и принятой доверительной вероятности. Так, при доверительной вероятности  $P = 0,95$  для закона нормального распределения  $k = 2$ , а для закона Максвелла  $k = 3,6$ .

## ГЛАВА 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

### 4.1. Классификация средств измерений. Методы и средства измерений электрических, магнитных и радиотехнических величин

#### 4.1.1 Классификация средств измерений

**Средства измерений (СИ)** - технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики (Рис. 13).



Рис. 13 Классификация средств измерений

**Метрологические характеристики** - такие свойства СИ, которые позволяют судить об их пригодности для измерений определённой физической величины в заданном диапазоне её значений и с заданной точностью (Рис. 14).



Рис. 14 Номенклатура метрологических характеристик СИ

Принципиальное отличие средств измерений от других технических средств, используемых при измерениях, состоит в том, что погрешность, с которой они выполняют свои функции, лимитирована.

**Мера физической величины** - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

В зависимости от погрешности аттестации меры подразделяются на ряды (меры 1, 2-го и т. д. разрядов), а погрешность мер является основой их деления на классы. Меры, которым присвоен тот или иной разряд, применяются для поверки измерительных средств и называются образцовыми.

Кроме того, существуют наборы и магазины мер, например, магазин емкостей или индуктивностей. При измерениях с использованием мер сравнивают измеряемые величины с известными величинами, воспроизводимыми мерами. Сравнение осуществляется разными путями, наиболее распространенным средством сравнения является компаратор, предназначенный для сличения мер однородных величин. Примером компаратора являются рычажные весы.

К мерам относятся стандартные образцы и образцовое вещество, которые представляют собой специально оформленные тела или пробы вещества определенного и строго регламентированного содержания, одно из свойств которых является величиной с известным значением. Например, образцы твердости, шероховатости.

Примеры мер: гири, измерительные резисторы, концевые меры длины, радионуклидные источники и др (Рис. 15). Меры, воспроизводящие физические величины лишь одного размера, называются однозначными (гиря), нескольких размеров - многозначные (миллиметровая линейка - позволяет выразить длину как в мм, так и в см).



а)

б)

в)

Рис. 15 Примеры мер а) гири б) концевые меры КМД №1 кл.1 в) Р3026/1 регулируемая мера электрического сопротивления постоянного тока

**Измерительный прибор** - средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне и имеющее отсчетное устройство, представляющее измерительную информацию в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем (Рис. 16).

Приборы прямого действия отображают измеряемую величину на показывающем устройстве, имеющем градуировку в единицах этой величины. Например, амперметры, термометры.



Рис. 16 Классификация мер, измерительных приборов и преобразователей

Приборы сравнения предназначены для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны. Такие приборы используются для измерений с большей точностью.

**Измерительный преобразователь (ИП)** - техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, индикации или передачи и имеющее отсчетное устройство. Хотя ИП являются конструктивно обособленными элементами, они чаще всего входят в качестве составных частей в более сложные измерительные приборы или установки и самостоятельного значения при проведении измерений не имеют.

Преобразуемая величина, поступающая на ИП, называется входной, а результат преобразования - выходной величиной. Соотношение между ними задается функцией преобразования, которая является его основной метрологической характеристикой (Рис. 17, 18).

Длина	Угол	Длина	Угол	Объем	Время
Штриховая мера длины	Рычаг	Резьба	Зубчатые колеса	Вращающиеся лопасти	Маятник
Сила	Сила	Давление	Давление	Температура	Температура
Плоская пружина	Деформируемое тело	Трубчатая пружина	Кольцевой дифманометр	Дилатометрический стержень	Биметаллическая пластина
Давление	Скорость (объем)	Частота вращения	Сила (длина)	Сила (длина)	Температура
Сопло-заслонка	Сопло Вентури	Насос с дросселем	Пластиночная пружина	Сильфон	Газовый манометрический термометр
Длина	Длина	Угол (длина)	Угол (длина)	Механическое напряжение	Показатель преломления
Измерительный микроскоп	Интерференционный компаратор	Автоколлиматор	Наклонное зеркало	Поляриметр	Рефрактометр

Рис. 17 Механические первичные, гидравлические и оптические первичные измерительные преобразователи

Для непосредственного воспроизведения измеряемой величины служат первичные преобразователи, на которые непосредственно воздействует измеряемая величина и в которых происходит трансформация измеряемой величины для ее дальнейшего преобразования или индикации. Примером первичного преобразователя является термопара в цепи термоэлектрического термометра. Одним из видов первичного преобразователя является датчик - конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы (он «дает» информацию). Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от средства измерений, принимающего его сигналы. Например, датчик метеорологического зонда.

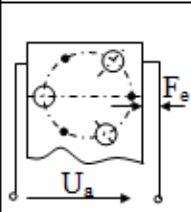
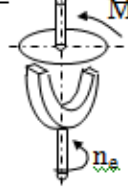
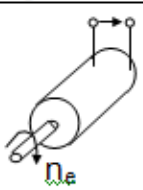
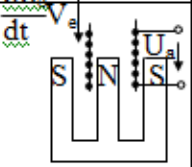
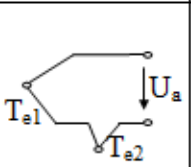
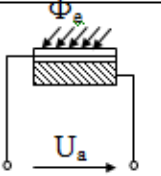
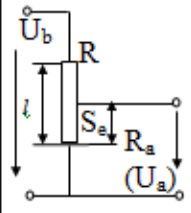

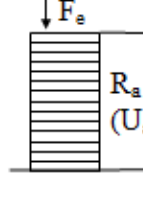
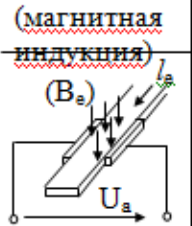
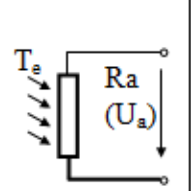
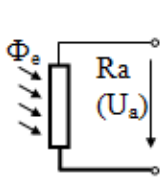
<u>Сила</u>	<u>Частота вращения</u>	<u>Частота вращения</u>	<u>Скорость</u>	<u>Температура</u>	<u>Световой поток</u>
					
<u>Пьезокристалл</u>	<u>Редукцион. тахометр</u>	<u>Генератор</u>	<u>Подвижная катушка</u>	<u>Термоэлемент</u>	<u>Фотоэлемент</u>
<u>Длина</u>	<u>Длина</u>	<u>Сила</u>	<u>Электр. ток (магнитная индукция)</u>	<u>Температура</u>	<u>Свет. поток</u>
					
<u>Потенциометр</u>	<u>Гензометр. преобразов.</u>	<u>Угльные пластинки</u>	<u>Генератор Холла</u>	<u>Терморезистор</u>	<u>Фоторезистор</u>

Рис. 18 Пассивные электрические (вверху) и активные резистивные (внизу) первичные измерительные преобразователи

#### 4.1.2 Методы и средства измерений электрических, магнитных и радиотехнических величин

К основным параметрам переменного тока, напряжения, э.д.с. относятся:

- **период**, промежуток времени  $T$ , в течение которого ток, напряжение, э.д.с. совершают полный цикл изменений;
- **частота**, число полных периодов изменения токов, напряжения, э.д.с. в 1 секунду  $f = 1/T$ . Измеряется в герцах, т.е. числом периодов в секунду,



$\omega = 2 \pi / T = 2 \pi f$  – угловая частота переменного тока, она имеет размерность рад/с;

– **амплитуда** – наибольшее значение тока, напряжения, э.д.с., которые принимает эти периодически изменяющиеся величины;

– **действующие значения** токов, напряжения, э.д.с., значения в каждый отдельный момент времени так называемыми мгновенными значениями. Эти значения принято обозначать строчными буквами  $i$ ,  $u$ ,  $e$ .

Измерение постоянных напряжения и силы тока заключается в нахождении их значений и определении полярности. Целью измерения переменных напряжения и силы тока является нахождение какого-либо их параметра.

Измерения напряжения и силы тока – наиболее распространенный вид измерений. Эти измерения осуществляются в широком диапазоне частот – от постоянного тока и инфранизких частот (сотые доли герца) до сверхвысоких частот (ГГц) и в диапазоне измеряемых значений напряжения и тока – соответственно от нановольт и наноампер до сотен киловольт и килоампер при большом разнообразии форм измеряемого напряжения и тока.

Измерение постоянных напряжения и силы тока заключается в нахождении их значений и определении полярности. Целью измерения переменных напряжения и силы тока является нахождение какого-либо их параметра.

Переменный ток промышленной частоты имеет синусоидальную форму и характеризуется мгновенным, средним квадратическим значением, амплитудой и фазой:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

В электронике наряду с сигналами синусоидальной формы широко используют и несинусоидальные сигналы (Рис. 19).

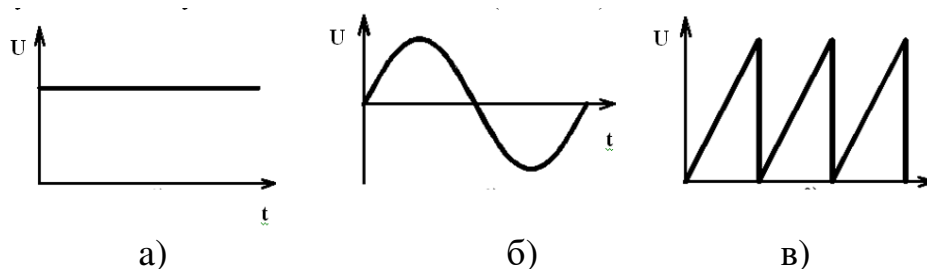


Рис. 19 Некоторые формы измеряемых сигналов а) постоянное напряжение б) синусоидальное напряжение в) пилообразное напряжение

Такие сигналы характеризуются пиковыми значениями (максимальными значениями из всех мгновенных значений) в положительных или отрицательных полуволнах  $X_{max}$  и  $X_{min}$ , средним квадратическим и средневывпрямленным значениями, а также средним значением, часто называемым постоянной состав-



ляющей. Среднее значение равно среднему арифметическому всех мгновенных значений за период

$$X_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

Средневыпрямленное значение определяют как среднее арифметическое абсолютных мгновенных значений за период

$$X_{cp.в} = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt$$

Среднее квадратическое значение находят как корень квадратный из среднего за период квадрата мгновенных значений

$$X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

Для измерения напряжения и тока применяются как методы непосредственной оценки, так и методы сравнения. Выбор методов и средств измерения напряжения и силы тока обуславливается требуемой точностью измерений, амплитудным и частотным диапазонами измеряемого сигнала, мощностью, потребляемой прибором от измерительной цепи и т.д.

Для измерения напряжения и силы тока широко применяются электромеханические приборы (табл. 3). Эта схема включает в себя измерительную схему *ИС*, измерительный механизм *ИМ* и отсчетное устройство *ОУ* (Рис. 20).

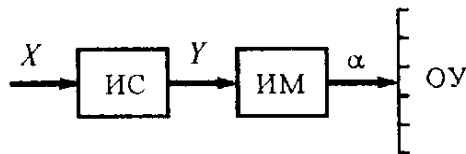
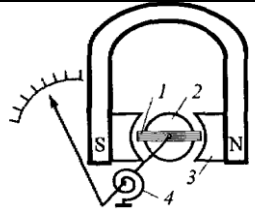
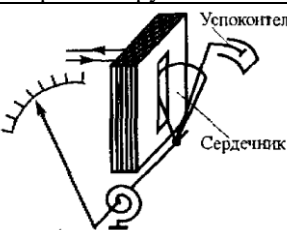
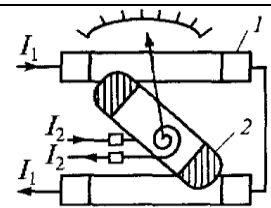

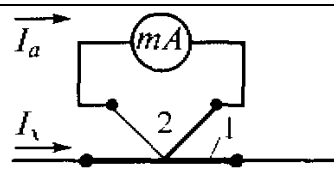


Рис. 20 Структура электромеханических приборов

К электромеханической группе принадлежат магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, электростатические, индукционные измерительные приборы (табл 3):

Приборы этих систем часто входят в состав и других, более сложных, СИ. По физическому принципу, положенному в основу построения и конструктивному исполнению, эти приборы относятся к группе аналоговых средств измерения, т.е. средств измерения, показания которых являются непрерывной функцией измеряемой величины.

## Электромеханические приборы

Наименование системы, функциональная схема	Уравнение шкалы, применение	Частотный диапазон, потребление мощности, класс точности
1	2	3
 <p>Магнитоэлектрическая 1 – рамка с измеряемым током и стрелкой; 2 – неподвижный сердечник; 3 – полюсные наконечники; 4 – возвратная пружинка</p>	$\alpha = I \frac{\Psi_0}{W}$ <p>где <math>\Psi_0 = BS\omega</math>; B – индукция в зазоре; S – площадь рамки; <math>\omega</math> – число витков рамки; W – удельный противодействующий момент, создаваемый пружиной</p> <p>Переносные, лабораторные, многопредельные амперметры, вольтметры постоянного тока</p>	<p>Постоянный ток; класс точности 0,05 – 0,5; <math>P_{\text{собр}} \approx 10^{-5} \dots 10^{-4}</math> Вт</p>
 <p>Электромагнитная</p>	$\alpha = \frac{1}{2W} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$ <p>где <math>I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt</math>;</p> <p>L – индуктивность катушки Щитовые и лабораторные переносные низкочастотные амперметры, вольтметры</p>	<p>F = 0 ... 5 кГц класс точности 0,5 – 2,5 <math>P_{\text{собр}} \approx 1 \dots 6</math> Вт</p>
 <p>Электродинамическая 1 – неподвижная катушка 2 – подвижная катушка</p>	$\alpha = \frac{1}{W} I_1 I_2 \cos \theta \frac{dM}{d\alpha}$ <p>где <math>\theta</math> – угол между токами; M – коэффициент взаимной индуктивности катушек Лабораторные приборы низкочастотные высокого класса точности</p>	<p>F = 0 ... 5 кГц класс точности 0,1 – 0,2 <math>P_{\text{собр}} = 1</math> Вт</p>
 <p>Электростатическая</p>	$\alpha = \frac{U^2}{2W} \frac{dC}{d\alpha}$ $U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt$ <p>где C – емкость между пластинами</p>	<p>F = 0 ... 30 МГц; класс точности 0,5 – 1,5 <math>P_{\text{собр}} &lt; 1</math> мВт</p>
 <p>Термоэлектрическая система</p>	$\alpha = AI^2$ , где $I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt$ ; <p>A – коэффициент, учитывающий параметры нагревателя термопары и прибора. Приборы на повышенную частоту</p>	<p>F = 0 ... 10 МГц; класс точности 1,5 – 4; <math>P_{\text{собр}} = 0,01 \dots 1</math> Вт</p>

1	2	3
<p>Форма тока в амперметре</p>  <p>Выпрямительная система</p>	$\alpha = \frac{\Psi_0}{W} I_{\text{ср.в}}$ <p>где <math display="block">I_{\text{ср.в}} = \frac{1}{T} \int_0^T  i  dt ;</math></p> <p>Переносные многопредельные амперметры-вольтметры на постоянный и переменный ток</p>	<p>F = 0 ... 100 кГц; класс точности 2,5 – 4 на переменном токе, 1,5 на постоянном токе; P<sub>собр</sub> = 10<sup>-4</sup> ... 10<sup>-3</sup> Вт</p>

**Гальванометры** - это высокочувствительные магнитоэлектрические приборы для измерения очень малых токов и напряжений. Гальванометры часто используют в качестве нульиндикаторов, фиксирующих отсутствие тока в цепи. У таких гальванометров нулевая отметка находится в середине шкалы.

Так как чувствительность гальванометров очень высока, их градуировочная характеристика нестабильна и зависит от совокупности внешних влияющих факторов. Поэтому чувствительные гальванометры при выпуске из производства не градуируются в единицах измеряемой физической величины и им не присваиваются классы точности. В качестве же метрологических характеристик гальванометров обычно указывают их чувствительность к току или напряжению и сопротивление рамки. Чувствительность гальванометров зависит от способа крепления рамки. Различают гальванометры с подвижной частью (рамкой) на кернах, на растяжках и на подвесе.

В гальванометрах с подвижной частью на кернах, рамка снабжена двумя полуосями с впрессованными в них стальными кернами. Эти керны опираются на корундовые или рубиновые подпятники (Рис. 21). Чувствительность такого гальванометра ограничивается трением керна о подпятники. Для повышения чувствительности рамку гальванометра устанавливают на растяжках (Рис. 21, б), а в особо чувствительных гальванометрах на подвесе (Рис. 21, в).

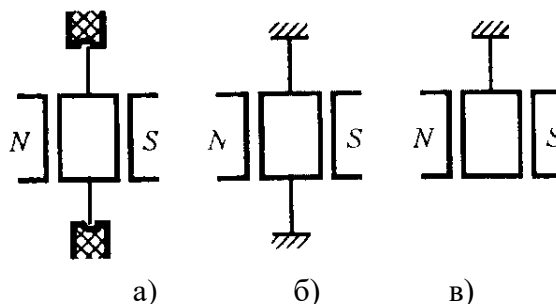


Рис. 21 Способы крепления рамки гальванометров

Растяжки и подвесы представляют собой тонкие упругие ленты или нити из специальных сплавов. Измеряемый ток поступает в рамку через эти ленты или нити; они же одновременно служат для создания противодействующего

момента. В гальванометрах с рамкой на подвесе вторым проводником является тончайшая лента или нить, не создающая противодействующего момента

Современные гальванометры позволяют измерять токи в пределах  $10^{-5} \dots 10^{-12}$  А и напряжения до  $10^{-4}$  В.

Промышленностью выпускаются амперметры электромагнитной системы с верхним пределом измерения от долей ампера до 200 А, и вольтметры с пределами измерения от долей вольта до сотен вольт.

При необходимости расширения пределов измерения амперметров и вольтметров применяются шунты и добавочные сопротивления. Для расширения пределов измерения амперметров в области повышенных частот используются трансформаторы тока. На Рис. 22 показано включение амперметров во вторичную обмотку трансформатора тока. Здесь  $w_1$  - первичная обмотка,  $w_2$  - вторичная обмотка;  $I_1$  и  $I_2$  - соответствующие токи.

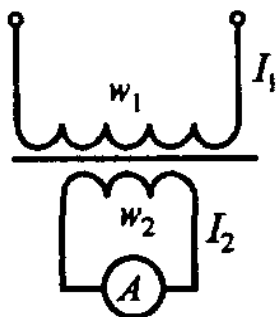


Рис. 22 Включение амперметра с трансформатором тока

Приборы электромагнитной системы применяются в основном в качестве щитовых амперметров и вольтметров переменного тока промышленной частоты. Класс точности щитовых приборов 1,5 и 2,5. В некоторых случаях они используются для работы на повышенных частотах: амперметры до 8000 Гц, вольтметры до 400 Гц. Выпускаются также переносные приборы электромагнитной системы классов точности 0,5 и 1,0 для измерения в лабораторных условиях.

### Цифровые электронные вольтметры

Принцип работы цифровых измерительных приборов основан на дискретном представлении непрерывных величин (табл. 4).

Непрерывная величина  $x(t)$  – величина, которая может иметь в заданном диапазоне  $D$  бесконечно большое число значений в интервале времени  $T$  при бесконечно большом числе моментов времени (Рис. 23, а). Величина может быть непрерывной либо по значению, либо по времени. Величину, непрерывную по значению и прерывную по времени, называют **дискретизированной** (Рис. 23, б). Значения дискретизированной величины отличны от нуля только в определенные моменты времени. Величину, непрерывную по времени и прерывную по значению, называют **квантованной** (Рис. 23, в). Квантованная величина в диапазоне  $D$  может принимать только конечное число значений. Не-

прерывная величина может быть дискретизированной и квантованной одновременно (Рис. 23, г).

Таблица 4

## Средства измерений электронные

Тип средства измерений	Диапазон измерений	Погрешность измерений, %	Показатели надежности	Потребляемая мощность; питание
<b>Вольтметры постоянного напряжения (В2)</b>				
ВК2-40	0,01 нА - 2 А; 0,1 мкВ - 1000 В; 0,0001 Ом - 1000 МОм	0,002 0,001 0,001	$T_0=21000$ ч; $T_p=10000$ ч; $T_c=15$ лет	30 В·А; 220 В, 50 Гц
<b>Осциллограф универсальный</b>				
С1-97	Диапазон длительности Развертки 10 нс/см - 100 мс/см	$\pm 5$	$T_0=4000$ ч; $T_p=10000$ ч; $T_c=10$ лет; $T_x=5$ лет	140 В·А; 220 В, 50 Гц

По виду измеряемой величины цифровые вольтметры подразделяются на:

- вольтметры постоянного тока;
- переменного тока (средневыпрямленного или среднего квадратического значения);
- импульсные вольтметры - для измерения параметров видео- и радиоимпульсных сигналов;
- универсальные вольтметры, предназначенные для измерения напряжения постоянного и переменного тока, а также некоторых других электрических и неэлектрических величин (сопротивления, температуры и др.).

Процесс преобразования непрерывной во времени величины в дискретизированную путем сохранения ее мгновенных значений в моменты времени  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$  (моменты дискретизации) называют *дискретизацией*. Интервал  $\Delta t$  между ближайшими моментами дискретизации называют *шагом дискретизации*.

Процесс преобразования непрерывной по значению величины в квантованную путем замены ее значений ближайшими фиксированными значениями  $x_1, x_2, \dots, x_n$  называется *квантованием*. Разность  $\Delta x$  между двумя детерминированными значениями называют шагом квантования. При измерении отсчет значения величины  $x(t)$  производится в моменты дискретизации с точностью до ближайшего квантованного значения. Поэтому в общем случае полученное в результате квантования значение  $x_{изм}$  отличается от действительного значения измеряемой величины. Понятно, что погрешность от замены действительного значения квантованным может быть снижена за счет уменьшения шага квантования.

Процесс измерения в цифровом вольтметре включает в себя **дискретизацию, квантование и кодирование** - получение по определенной системе пра-

вил числового значения квантованной величины в виде комбинации цифр (дискретных сигналов). Так, например, кодирование квантованных значений сигналов  $x_{0 \text{ изм}}, x_{1 \text{ изм}}, \dots, x_{n \text{ изм}}$  может быть осуществлено путем выработки в приборе в моменты дискретизации  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$  пакетов импульсов, с числом импульсов, равным количеству интервалов квантования.

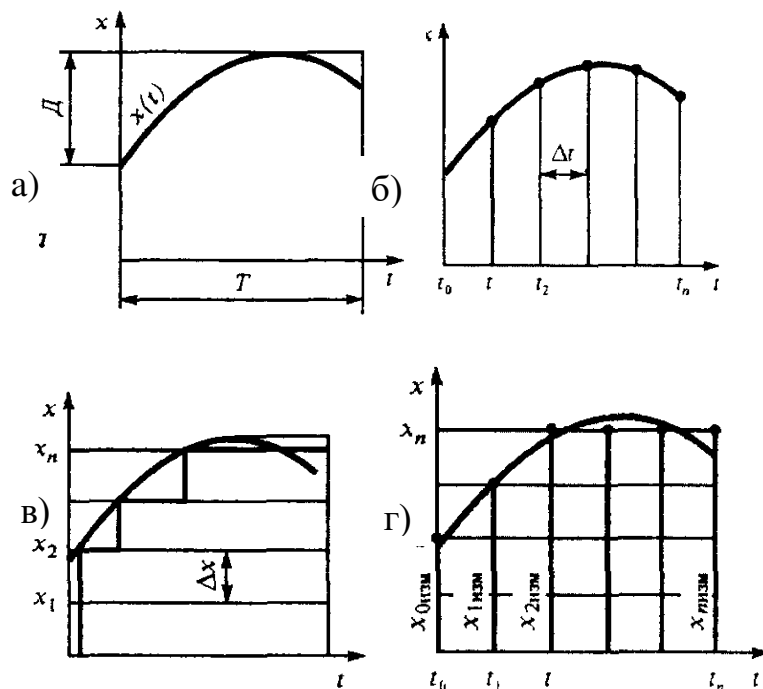


Рис. 23 Дискретизация и квантование непрерывной величины

Процесс аналого-цифрового преобразования составляет суть любого цифрового прибора, в том числе и вольтметра.

#### 4.1.3 Классы точности СИ

**Классом точности** - называется обобщенная характеристика СИ, определяемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей.

Учет всех нормируемых МХ СИ - сложная и трудоемкая процедура, проводимая только при измерениях очень высокой точности. В обиходе такая точность не нужна. Поэтому в повседневной практике, принято деление по точности на классы.

Классы точности присваиваются средствам измерений с учётом результатов государственных приёмочных испытаний.

Обозначения классов точности наносятся на циферблаты, щитки и корпуса средств измерений, приводятся в нормативно-технических документах. Классы точности могут обозначаться буквами (например, М, С и т. д.) или римскими цифрами (I, II, III и т. д.). Обозначение классов точности по ГОСТу 8.401–80 может сопровождаться дополнительными условными знаками:

0,5, 1,6, 2,5 и т. д.- для приборов, приведенная погрешность  $\gamma = \Delta/X_N$  которых составляет 0,5, 1,6, 2,5% от нормирующего значения  $X_N$  ( $\Delta$  - пределы допустимой абсолютной погрешности). При этом  $X_N$  принимается равным большому из модулей пределов измерений, если нулевое значение входного (выходного) сигнала находится на краю или вне диапазона измерений;

$\sqrt{0,5}$  - то же, что и в предыдущем случае, но при  $X_N$  равным длине шкалы или ее части;

$\textcircled{0,1}$ ,  $\textcircled{0,2}$ ,  $\textcircled{1,0}$  и т. д. - для приборов, у которых относительная погрешность  $\delta = \Delta/x$  составляет 0,1, 0,4, 1,0% непосредственно от полученного значения измеряемой величины  $x$ ;

0,02/0,01 - для приборов, у которых измеряемая величина не может отличаться от значения  $x$ , показанного указателем, больше, чем на  $[C + d]$ .

$(X_k/x - 1) \cdot 100\%$ , где  $C$  и  $d$  - числитель и знаменатель соответственно в обозначении класса точности;  $X_k$  - бо́льший (по модулю) из пределов измерений прибора.

Требования при определении класса СИ:

1. Характеристики, предназначенные для определения результатов измерений нормируются как номинальные для данного типа.

2. Характеристики систематической составляющей погрешности СИ нормируются: в виде пределов  $\pm \Delta_{\text{ср}}$  допускаемой систематической составляющей погрешности или в виде матожидания  $M[\Delta_{\text{с}}]$  и СКО  $s(\Delta_{\text{с}})$  систематической составляющей погрешности.

3. Для характеристики случайной составляющей погрешности СИ нормируются: в виде предела  $\sigma_r(\Delta^0)$  допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности.

4. Характеристика случайной составляющей ( $\Delta^0_n$ ) погрешности от гистерезиса нормируется путем установления предела  $H_r$  допускаемой вариации выходного сигнала СИ.

5. Функции влияния нормируются путем установления номинальной функции влияния  $\Psi(\xi)$  и пределов допускаемых отклонений от нее. Функции влияния нормируют для каждой влияющей величины отдельно.

6. Динамические характеристики СИ нормируют путем установления номинальных характеристик и пределов допускаемых отклонений от номинальных.

Присваиваются классы точности СИ при их разработке (табл. 5). В связи с тем, что в процессе эксплуатации СИ их МХ ухудшаются, то допускается понижать класс точности по результатам поверки.

Формы представления нормированных метрологических характеристик традиционны: в виде формулы, графика или таблицы.

Способы установления классов точности изложены в ГОСТ 8.401 - 80 «ГСИ. Классы точности СИ. Общие требования».

Класс точности СИ характеризует их свойства в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений.

Таблица 5

## Обозначение классов точности СИ

Формула для определения пределов допускаемой погрешности	Примеры пределов допускаемой основной погрешности, %	Обозначение класса точности		Примечание
		В документации	На средстве измерений	
$\Delta = \pm(a + bX)$	—	Класс точности <u>C</u>	C	—
$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\% = \pm p$	$\gamma = \pm 1,5$	Класс точности 1,5	$\surd 1,5$	Если $X_N$ определяется длиной шкалы (ее части)
	$\gamma = \pm 0,5$	Класс точности 0,5	0,5	Если $X_N$ выражена в единицах величины
$\delta = \frac{\Delta}{X} \cdot 100\% = \pm q$	$\delta = \pm 0,5$	Класс точности 0,5	0,5	—
$\delta = \pm \left[ c + d \left( \left  \frac{X_k}{X} \right  - 1 \right) \right]$	$\delta = \pm \left[ 0,02 + 0,01 \left( \left  \frac{X_k}{X} \right  - 1 \right) \right]$	Класс точности 0,02 / 0,01	0,02 / 0,01	—

Например: Если СИ предназначено для измерения напряжения или сопротивления, то класс точности определяется для каждой из этих величин.

1. Цифровой вольтметр с конечным значением 100 В, измеряет 30 В, а на приборе 0,05 / 0,01. Определить абсолютную погрешность измерения с помощью данного СИ.

$$\delta = \pm \left( \frac{\Delta}{X} \right) \cdot 100 = \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{X_N}{X} \right| - 1 \right) \right] = \left( 0,05 + 0,01 \left( \frac{100}{30} - 1 \right) \right) = 0,07\%$$

$$\delta = \pm \left( \frac{\Delta}{X_D} \right) \cdot 100\%; \quad \Delta = \frac{\delta \cdot X_D}{100} = \frac{0,07 \cdot 30}{100} = 0,02 \text{ В}$$

т.е.  $U = (30,0 + 0,02) \text{ В}$ .

2. В наличии имеются два амперметра  $\gamma_1 = 0,5$ ,  $X_{N1} = 15 \text{ А}$ ,  $\gamma_2 = 0,1$ ,  $X_{N2} = 100 \text{ А}$ . Необходимо измерить силу тока 10 А. Какой из приборов более точно измерит силу тока.

$$\delta_1 = \gamma_1 \frac{X_N}{X_L} = 0,5 \frac{15}{10} = 0,75\%; \quad \delta_2 = \gamma_2 \frac{X_N}{X_L} = 0,1 \frac{100}{10} = 1\%$$



3. На шкале СИ (вольтметр) имеется обозначение 0,2, предел измерения 100 В, поверяемая отметка 30 В. Определить погрешность измерения.

Так как, на СИ нанесено обозначение 0,2, то нормируется приведенная погрешность, причем нормирующее значение выражено в единицах измеряемой величины. Тогда для определения погрешности измерения необходимо воспользоваться формулой

$$\gamma = \pm \left( \frac{\Delta}{X_N} \right) \cdot 100\% \quad \Delta = \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \frac{0,2 \cdot 100}{100} = 0,2 \text{ В}$$

$$U = (30 \pm 0,2) \text{ В.}$$

## 4.2. Методы и средства измерений неэлектрических величин

### 4.2.1 Методы и средства измерений неэлектрических величин

Развитие измерительной техники показало, что из многочисленных методов измерения неэлектрических величин наибольшими преимуществами обладают электрические методы:

- наличие трубопроводов снижает эксплуатационную надежность системы (из-за возможной разгерметизации системы в случае поломки трубопровода) и приводит к запаздыванию показаний при измерении давления;
- возможность измерения сигналов очень маленькой величины (электронные усилители позволяют измерять сигналы, которые невозможно измерить другими способами);
- возможность передачи измеренной величины на расстояние;
- высокую точность и скорость измерений;
- возможность применения в САУ;
- возможность унифицировать измерительную часть.

Для измерения любой неэлектрической величины  $X$  (температура, давление, расход жидкости, угловые перемещения, скорость, ускорение, деформации, вибрации и др.) ее преобразовывают с помощью первичного измерительного преобразователя или датчика в выходную электрическую величину  $U$ . Далее сигнал преобразуется цепью измерительных преобразователей СИ из одного вида энергии в другой и в конечном итоге измеряемую величину в число (код), представляющее значение измеряемой величины в определенных единицах измерения.

Основными средствами измерений физических величин на ВС, их системах и авиационных двигателях являются измерительные преобразователи.

К основным характеристикам измерительных преобразователей относятся тип, диапазон измеряемой величины, диапазон рабочих температур и погрешность в этом диапазоне, обобщенное входное и выходное сопротивление, частотная характеристика, функция преобразования, функция влияния, чувствительность, динамические свойства.

Учитывая, что процесс измерения, как правило, сложный процесс, характеризующийся множеством различных параметров, будем считать информативным параметром входного сигнала непосредственно измеряемую величину или величину, функционально связанную с измеряемой величиной. Неинформативный параметр не связан функционально с измеряемой величиной, но влияет на метрологические характеристики преобразователя.

Параметры, характеризующие условия, в которых работает преобразователь, и влияющие на его функцию преобразования, называют влияющими величинами. Зависимость изменения метрологических характеристик преобразователя от изменения влияющей величины или неинформативного параметра входного сигнала в пределах рабочих условий эксплуатации называется **функцией влияния**. Функция влияния может быть нормирована в виде формулы, графика или таблицы.

**Функция преобразования** - связь, выражающая зависимость информативного параметра выходного сигнала от постоянного во времени информативного параметра входного сигнала, называется статической характеристикой (функцией) преобразования. Ее можно описать аналитическим выражением или графиком.

**Динамические (инерционные) свойства** преобразователей характеризуют такими понятиями, как скорость преобразования и время преобразования. Скорость преобразования (измерения) определяется числом преобразований (измерений) в единицу времени, выполняемых с нормированной погрешностью. Время преобразования (измерения) определяется временем, прошедшим с начала преобразования (измерения) до получения результата с нормированной погрешностью.

**Чувствительностью** преобразователя называют отношение изменения выходной величины (информативного параметра) к вызывающему его изменению входной величины (информативного параметра входного сигнала). Чувствительность равна производной от функции преобразования преобразователя  $S = dY/dX = \Delta Y / \Delta X$  геометрически выражается тангенсом угла наклона касательной в любой точке кривой функции преобразования.

#### 4.2.2 Классификация измерительных преобразователей

По принципу действия преобразователи подразделяются (табл. 6):

- резистивные преобразователи, в которых измеряемая величина преобразуется в изменение его сопротивления;
- электромагнитные преобразователи, в которых измеряемая величина преобразуется в изменение индуктивности или взаимной индуктивности;
- емкостные преобразователи, в которых измеряемая величина преобразуется в изменение емкости;
- пьезоэлектрические преобразователи, в которых динамическое усилие преобразуется в электрический заряд;

- гальваномагнитные преобразователи, основанные на эффекте Холла и преобразующие величину действующего магнитного поля в ЭДС;
- тепловые преобразователи, в которых измеряемая температура преобразуется в ЭДС или в величину термосопротивления;
- оптоэлектронные преобразователи, в которых оптические сигналы преобразуются в электрические.

Таблица 6

## Типы преобразователей и области применения

Тип преобразователя	Применение							
	Давление (сила)	Смещение	Положение	Скорость	Ускорение	Вибрация	Температура	Магнитный поток
Тензодатчик	*	*	*	*	*	*		
Потенциометрический	*	*	*	*	*			
Линейный дифф. трансформатор	*	*	*	*	*			
Переменная индуктивность		*	*	*	*	*		
Эффект Холла		*	*					*
Вихревой ток		*	*	*				
Магнито-резистивный		*	*					*
Емкостный датчик	*	*	*		*	*		
Пьезоэлектрический	*	*		*	*	*		
Термометр сопротивления							*	
Термистор							*	
Термопара							*	

Термистор (терморезистор) - полупроводниковый резистор, обладающий свойством существенно изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры. При 20 °С сопротивление может быть порядка 1000 Ом, а при 100 °С – всего 10 Ом.

Тензодатчик - датчик, преобразующий величину деформации в удобный для измерения сигнал (обычно электрический)

### 4.2.3 Измерение давления. Емкостные, индукционные и потенциометрические преобразователи

**Давление** - физическая величина, численно равная силе  $dF_n$ , действующей на единицу площади поверхности перпендикулярно этой поверхности. В данной точке давление определяется как отношение нормальной составляющей силы, действующей на малый элемент поверхности, к его площади  $dS$

$$p = \frac{dF_n}{dS}$$

Давление характеризует состояние сплошной среды и является диагональной компонентой тензора напряжений.

В Международной системе единиц (СИ) давление измеряется в паскалях (русское обозначение: Па; международное: Pa). Паскаль равен давлению, вызываемому силой, равной одному ньютону, равномерно распределённой по нормальной к ней поверхности площадью один квадратный метр.

Наряду с паскалем в РФ допущены к использованию в качестве внесистемных единиц измерения давления и внесистемные единицы (табл 7).

Таблица 7

Соотношение единиц давления

	Паскаль (Pa, Па)	Бар (bar, бар)	Техниче- ская атмосфе- ра (at, ат)	Физиче- ская атмосфера (atm, атм)	мм рт.ст. (мм рт.ст., mm Hg)	Метр водяного столба (м вод. ст., m H <sub>2</sub> O)	Фунт- сила на кв. дюйм
1 Па	1 Н/м <sup>2</sup>	10 <sup>-5</sup>	10.197 · 10 <sup>-6</sup>	9.8692 · 10 <sup>-6</sup>	7.5006 · 10 <sup>-3</sup>	1.0197 · 10 <sup>-4</sup>	145.04 · 10 <sup>-6</sup>
1 бар	10 <sup>5</sup>	1 · 10 <sup>6</sup> дин/см <sup>2</sup>	1.0197	0.98692	750.06	10.197	14.504
1 ат	98066.5	0.980665	1 кгс/см <sup>2</sup>	0.96784	735.56	10	14.223
1 атм	101325	1.01325	1.033	1 атм	760	10.33	14.696
1 мм рт.ст.	133.322	1.3332 · 10 <sup>-3</sup>	1.3595 · 10 <sup>-3</sup>	1.3158 · 10 <sup>-3</sup>	1 мм рт.ст.	13.595 · 10 <sup>-3</sup>	19.337 · 10 <sup>-3</sup>
1 м вод. ст.	9806.65	9.80665 · 10 <sup>-2</sup>	0.1	0.096784	73.556	1	1.4223
1 psi	6894.76	68.948 · 10 <sup>-3</sup>	70.307 · 10 <sup>-3</sup>	68.046 · 10 <sup>-3</sup>	51.715	0.70307	1 lbf/in <sup>2</sup>

При этом наименования и обозначения данных единиц с дольными и кратными приставками СИ не применяются.

Для обозначения давления обычно используется символ  $p$  - от лат. *pressūra* (давление).

В соответствии с рекомендациями Международного союза теоретической и прикладной химии (ИЮПАК) давление в классической механике рекомендуется обозначать как  $p$ , менее рекомендуемо обозначение  $P$ .

Существовавшее ранее ограничение срока действия допуска указанных единиц в августе 2015 году было отменено [8].

Физический смысл давления не сводится только к механической нагрузке, которую оказывает жидкость или газ на стенки трубопровода или резервуара. Давление является одной из ключевых теплотехнических величин и определяет, например, скорость и направление движения жидких и газообразных сред, плотность газов, агрегатное состояние вещества при заданной температуре, скорость и направление протекания многих химических реакций.

Устройства, содержащие не менее двух поверхностей, между которыми действует электрическое поле, называются электростатическими (ЭС) преобразователями. Электрическое поле создается извне приложенным напряжением или возникает при действии на вход преобразователя измерительного сигнала.

Преобразователи, в которых электрическое поле создается приложенным напряжением, составляют группу емкостных преобразователей (Рис. 24). Основным элементом в этих преобразователях является конденсатор переменной емкости, изменяемой входным измерительным сигналом.

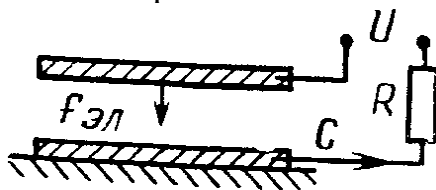


Рис. 24 Электростатический преобразователь

В дальнейшем под емкостным будем понимать преобразователь, в котором используется конденсатор с двумя или несколькими электродами. Для случая конденсатора с плоскими электродами площадью  $s$ , размещенными друг от друга на расстоянии  $d$  в среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , ёмкость будет

$$C = \frac{\epsilon s}{d}$$

К емкостным преобразователям близки по своим характеристикам полупроводниковые диоды, в которых используется зависимость так называемой барьерной емкости от обратного напряжения. Такие преобразователи применяются в качестве элементов с электрически управляемой емкостью и называются варикапами.

Индукционные преобразователи такие преобразователи, в которых скорость изменения измеряемой величины преобразуется в индуцируемую ЭДС. Они являются разновидностью электромагнитных преобразователей. В данных преобразователях входным сигналом является скорость механического перемещения, а выходной величиной - индуцированная ЭДС.

В качестве примера рассмотрим индукционный датчик давления ИДТ-8 (Рис. 25, табл. 8).

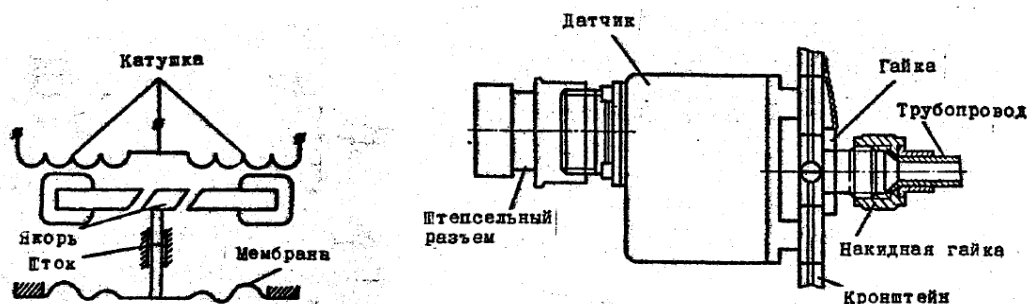


Рис. 25 Датчик ИДТ-8 а) принципиальная схема б) внешний вид датчика

Датчик представляет собой индуктивный теплостойкий прибор и состоит из корпуса со штуцером подвода топлива, кожуха с вилкой штупсельного разъема, чувствительного элемента (мембраны), двух катушек с сердечниками и возвратной пружины с закрепленным на ней якорем.

Принцип действия датчика основан на способности чувствительного элемента (мембраны) прогибаться на определенную величину в зависимости от величины давления топлива, поступающего в прибор. Деформация мембраны передается через шток на якорь, который изменяет воздушные зазоры магнитных цепей катушек. При этом в одной цепи зазор увеличивается, в другой уменьшается, что вызывает изменение индуктивности катушек.

Так как схема питается переменным током, изменение индуктивности ведет к перераспределению токов в рамках логометра. Поэтому каждому положению якоря соответствует одно определенное положение стрелки указателя.

Основные технические данные:

Питание датчика - переменный ток напряжением	36±6% В
Частота	400±2 % Гц
Сила тока, потребляемая одним датчиком в комплекте с одним измерителем	не более 0,3 А

Таблица 8

#### Погрешности показания ИДТ-8

Диапазон измерения	Допустимые погрешности, %				
	Диапазон температур, °С				
	+ 25	+ 75	+ 270	- 45	- 60
Рабочий	+ 4	+ 6.5	+ 10	+ 6	+ 6.5
Основной	+ 6	+ 8	+ 12	+ 7.5	+ 8

В потенциометрических датчиках используется потенциометрический преобразователь перемещений (Рис. 26).

Эта конструкция является унифицированной: при переходе от одного диапазона измерений к другому так выбирается толщина мембраны, что её максимальный прогиб не изменяется.

К инструментальным погрешностям манометра относятся: шкаловые; трения в механизме; от неуравновешенности деталей передаточно-множительного механизма; температурные и гистерезиса.

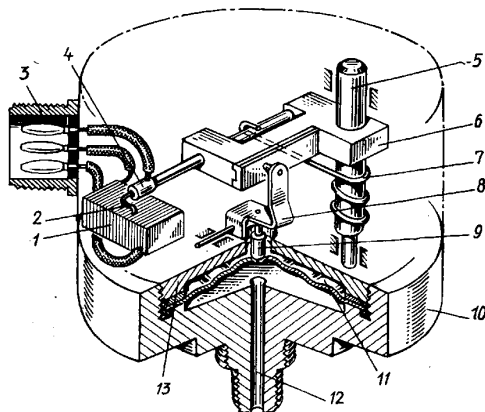


Рис. 26 Потенциометрический датчик давления 1 - потенциометр; 2 - щетка; 3 - вилка; 4 - щеткодержатель; 5 - ось поводка; 6 - поводок; 7 - возвратная пружина; 8 - качалка; 9 - шток; 10, 13 - основания; 11 - мембрана; 12 - штуцер

Наибольшую величину имеют погрешности от трения и температурные погрешности.

### 4.3 Измерение частоты вращения. Контроль виброперемещений. Определение запаса и расхода топлива

#### 4.3.1. Назначение и типы тахометров

Прибор, предназначенный для измерения частоты вращения, называется **тахометром**. В авиации тахометры применяются для измерения частоты вращения силовых агрегатов, а также вала двигателя. Частота вращения силовой установки ЛА является важнейшим параметром, по которому судят о тяге (мощности) двигателя, о динамической и тепловой напряженностях.

Наибольшее распространение получили следующие методы измерения частоты вращения по принципу действия чувствительного элемента (ЧЭ):

- центробежные, в которых ЧЭ реагирует на центробежную силу, развиваемую неуравновешенными массами при вращении вала;
- магнитоиндукционные, основанные на зависимости наводимых в металлическом теле вихревых токов от частоты вращения;
- электрические постоянного, переменного или импульсного тока, основанные на зависимости генерируемого напряжения от частоты вращения;
- фотоэлектрические, основанные на модуляции светового потока вращающимися элементами и др.

Магнитоиндукционные тахометры бывают двух типов: с цилиндрическим ЧЭ (Рис. 27, а) и с дисковым ЧЭ (Рис. 27, б).

Индукционные тахогенераторы редко применяются как измерительные приборы вследствие больших погрешностей, но они незаменимы в качестве датчиков угловой скорости в системах автоматики.

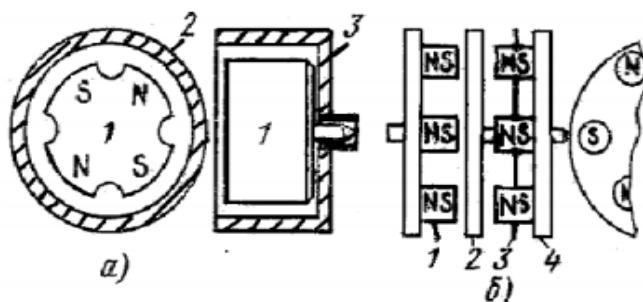


Рис. 27 Типы индукционных тахометров: а - тахометр с полым цилиндром; б - тахометр с диском; 1 - магнит; 2 - чувствительный элемент; 3 - термомагнитный шунт; 4 - магнитопровод

Магнитоиндукционные, тахометры нашли наиболее широкое применение в современной авиации.

Принцип действия магнитоиндукционных тахометров основан на явлении наведения вихревых токов в металлическом теле вращающемся в магнитном поле (или в неподвижном теле, находящемся во вращающемся магнитном поле).

На отечественных авиационных двигателях широко применяются датчики тахометра ДТЭ-5Т, предназначенные для замера оборотов роторов двигателя и работает в комплекте с измерителем (Рис. 28).

Датчик представляет собой трехфазный генератор переменного тока с постоянным четырехполюсным магнитом-ротором. Передача вращения от приводного вала двигателя к ротору датчика осуществляется при помощи хвостовика, представляющего собой длинный тонкий вал. Вал обладает достаточной гибкостью, хорошо противостоит скручивающим колебаниям, компенсирует небольшие перекосы, которые могут быть при монтаже датчика. Статор набран из пластин трансформаторного железа и имеет двенадцать пазов, в которые уложена трехфазная обмотка, выполненная из медного провода. Каждая фаза обмотки статора состоит из четырех катушек. Фазы соединены звездой.

Монтажные провода от измерителя к датчику подключается трехштырьковым штепсельным разъемом. Датчик крепится к приводу двигателя при помощи накидной гайки.



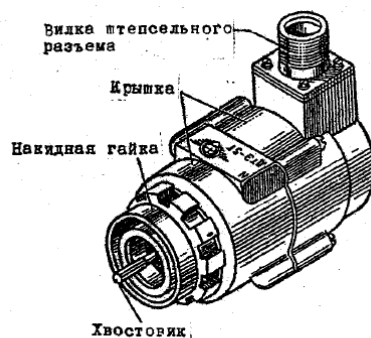


Рис. 28 Датчик ДТЭ-5Т

При вращении ротора датчика в обмотке статора возбуждается трехфазный ток с частотой, пропорциональной числу оборотов двигателя, который по трем проводам подводится к измерителю оборотов двигателя.

#### 4.3.2 Средства измерения виброперемещений и виброускорений

Вибрация двигателя представляет собой сложный колебательный процесс с широким диапазоном частот. Спектр частот вибрации включает в себя основные составляющие и так называемый вибрационный шум (большое количество незначительных вибраций). Установлено, что все основные составляющие вибраций, кроме автоколебаний, связаны с частотой вращения, что важно при проведении анализа причин вибрации.

Вибрации авиадвигателей измеряют с помощью специальных индукционных или пьезоэлектрических датчиков вибраций. Датчики вибрации располагают, как правило, в местах крепления двигателя к ВС - в горизонтальном, вертикальном или осевом направлении. Места расположения датчиков вибрации на двигателях могут уточняться в процессе доводки двигателя.

Спектральный анализ вибрации позволяет выявить не только главные составляющие источника вибрации, но и второстепенные. К главным составляющим вибраций относятся гармоники первого порядка - роторные и винтовые гармоники (амплитуды которых значительны). Второстепенные составляющие объектов вибрации характеризуются малыми амплитудами. Эти вибрации вызываются подшипниками, зубчатыми колесами, взаимодействием лопаток ротора и статора, аэродинамическими и гидравлическими процессами.

Выявление повышенных амплитуд вибраций, на частотах, совпадающих с частотами возможных повреждений в элементах, резонансных частотах деталей, на частотах протекания рабочего процесса помогает обнаружить и идентифицировать возникающие дефекты на ранней стадии зарождения и их развития (Рис. 29).

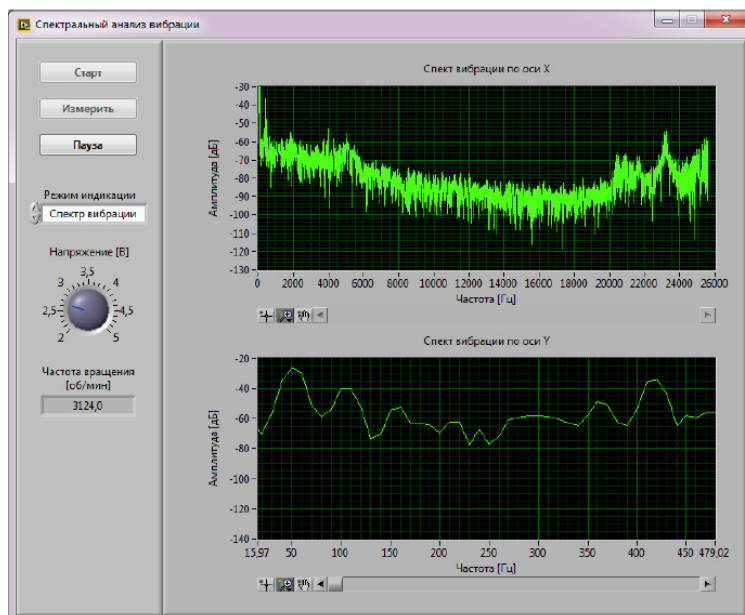


Рис. 29 Программное окно «Спектральный анализ вибрации»

Спектральный анализ вибросигналов (вибросмещение, виброскорость, виброускорение) проводят с использованием быстрого преобразования Фурье (FFT), позволяющего определить вклад отдельных составляющих колебаний в общую картину вибрации.

С помощью быстрого преобразования Фурье вибрационный сигнал можно разложить на простейшие составляющие (синусоиды) его колебания различной частоты и амплитуды.

Результатом быстрого преобразования Фурье является построение графика зависимости мощности колебаний от их частоты, который называется спектром (Рис. 30).

Амплитуда вибросмещения характеризует деформацию конструкции при вибрации. Она может быть рекомендована для измерений при повреждениях, приводящих к изменению некоторых линейных или угловых размеров, например: уменьшение зазоров в соединениях, изгиб валов и др. Вибросмещение, как правило, имеет низкочастотный спектр.

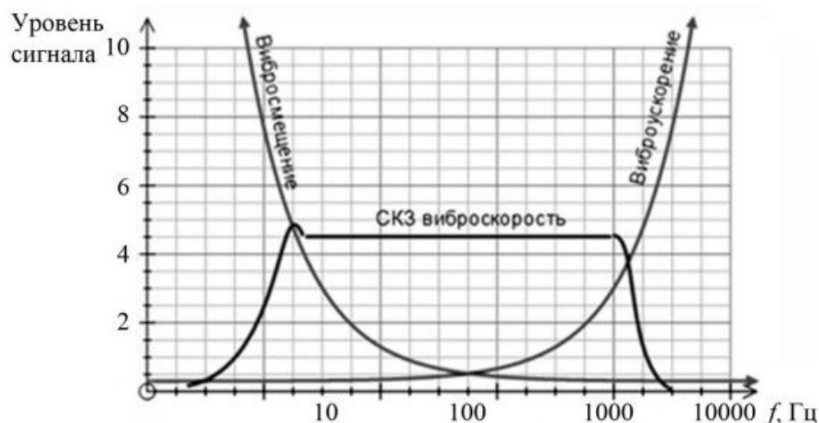


Рис. 30 Частотные характеристики виброскорости, вибро смещения и вибро ускорения

Скорость вибрации определяет быстроту изменения положения тела. Скорость (или быстрота) изменения некоторой величины относительно времени определяется производной по времени:

$$v = \frac{dX}{dt} = \omega X_m \cos(\omega t + \phi) = v_m \cos(\omega t + \phi),$$

где  $v$  - мгновенная скорость вибрации;  $\omega = 2\pi f$  - угловая частота;  $X_m$  - максимальное смещение тела;  $\phi$  - начальная фаза

Амплитуда скорости вибрации  $v_m$  (м/с) и определяется по формуле

$$v_m = 2\pi f X_m$$

Вычисление значения виброскорости иногда производится в результате интегрирования вибро ускорения  $a$  на интервале  $T$ :

$$v = \int_0^T a(t) dt$$

Для исследования вибраций весь диапазон их частот (так же, как для шума) разбивается на октавные полосы.

Измеряя виброскорость, можно оценить вибронапряженность конструкции и тем самым определить степень накопления усталостных повреждений и долговечность агрегата.

Виброускорение характеризует уровень инерционных нагрузок, которые возникают при колебаниях. Данные нагрузки в ряде случаев являются определяющими при оценке состояния крепежных элементов: опор, стыков, фланцев, узлов навески и т.д. Контролировать вибрацию по параметру виброускорение наиболее эффективно в высокочастотном диапазоне.

Рассмотрим примеры практической реализации датчик вибрации.

Датчик вибрации МВ-25Б-В предназначен для выдачи электрического сигнала, пропорционального скорости вибрации корпуса двигателя, действу-

ющей в вертикальной и горизонтальной плоскостях, в электронный блок аппаратуры контроля вибрации ГО-200К.

Датчик вибрации представляет собой сбалансированную массу (постоянный магнит), помещенную внутри корпуса, в котором расположена катушка. Постоянный магнит связан с корпусом датчика специальными подшипниками качения (Рис. 31).

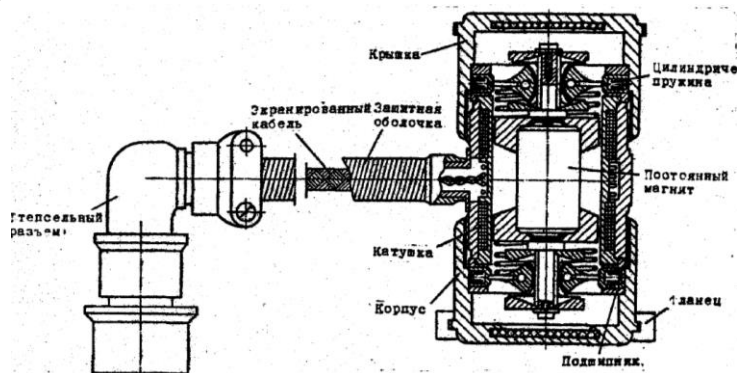


Рис. 31 Датчик вибрации МВ-25Б-В

Второй тип датчиков вибрации, получивший наибольшее распространение – пьезоэлектрические датчики [14].

Принцип работы пьезоакселерометров основывается на пьезоэлектрическом эффекте, присущим некоторым кристаллам и керамикам. Когда к такому материалу приложена некоторая сила, то на его поверхности образуется заряд.

Для частотных диапазонов примерно до  $1/3$  резонансной частоты пьезоакселерометра этот заряд пропорционален приложенной силе. В связи с этим пьезоакселерометры обладают следующими свойствами:

- хорошие линейные характеристики;
- малая собственная масса (масса датчика может быть менее 1 г);
- широкий рабочий динамический диапазон (160 дБ);
- широкий рабочий частотный диапазон (от 0.2 Гц до 50000 Гц с отклонением от линейности менее 5%);
- прочная и простая конструкция;
- высокая стойкость в отношении неблагоприятных окружающих условий;
- малая поперечная чувствительность;
- простые методы крепления.

Пьезоэлементы, используемые в датчиках, могут работать на растяжение-сжатие либо на сдвиг. Последние конструкции в настоящее время нашли более широкое применение в связи с их меньшей чувствительностью к шумам, изменениям температуры окружающей среды и т.д.

Конструктивная схема пьезоакселерометра с пьезоэлементами, работающими на сдвиг, показана на рис.32.

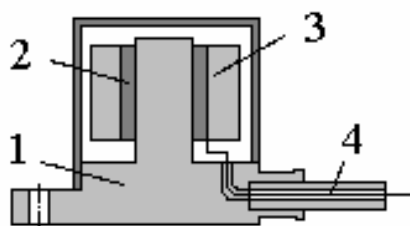


Рис. 32 Пьезоэлектрический акселерометр 1 - основание; 2 - пьезоэлемент, работающий на сдвиг; 3 - инерционный элемент; 4 - кабель с изоляцией

Конструкция пьезоакселерометров зависит от их назначения, условий работы, частотного диапазона, в котором проводятся измерения.

Пьезоакселерометры различаются способом крепления датчика к конструкции (шпильчным или винтовым), материалом, из которого изготовлены корпус и основание, конструкцией и материалами электрического кабеля и т.д. В табл.9 приведены некоторые сравнительные характеристики датчиков разных типов.

Таблица 9

#### Основные характеристики пьезодатчиков

Марка датчика	МВ-27	МВ-32.	8315
Тип датчика	Индукционный	Пьезоэлектрический	Пьезоэлектрический
Выходной параметр	Виброскорость	Виброускорение	Виброускорение
Диапазон температур	+100 °С	+500 °С	+250 °С
Рез. Частота	25 Гц	16 кГц	27 кГц
Част. Диапазон	30 - 500 Гц	5 - 3000 Гц	0.1 - 8100 Гц
Масса	350 г	150 г	102 г
Материал корпуса	Нержавеющая сталь	Никелевый сплав	Нержавеющая сталь
Конструкция корпуса	Сварная, герметичная	Сварная, герметичная	Цельносварная
Кабель	Экранированный, тефлоновая изоляция	Жесткий, жаропрочный	Двойной экран, тефл. изоляция, бронпр., + 250°С
Ресурс	100 часов	10000 часов	10000 часов
Изготовитель	ПРИБОР-Россия	ПРИБОР – Россия	В&К - Дания

#### 4.3.3. Система измерения запаса и расхода топлива

Приборы, измеряющие объемное или весовое количество топлива в баках, называются **топливомерами**. Они позволяют экипажу самолета в любой момент полета определить, сколько топлива имеется в баках, и оценить время, в течение которого можно продолжать полет.

Непосредственное измерение объема (массы) топлива на борту самолета неосуществимо, поэтому применяются косвенные методы измерения, в которых объем (масса) топлива функционально связан с какой-либо легко определяемой величиной. В качестве таких величин выбирают уровень или вес столба топлива в баке.

С помощью топливомеров определяют суммарный запас топлива во всех баках и количество топлива в каждом из них в отдельности. Необходимо знать, как распределено топливо между баками, для того чтобы определить правильную последовательность расходования топлива из баков во избежание недопустимого смещения центра масс самолета.

Большинство методов измерения количества топлива сводится к измерению его уровня (высоты столба жидкости). Однако шкалы указателей топливомеров градуируют в единицах объема (литрах) или в килограммах. Поэтому тарировка шкалы зависит от размеров и формы топливного бака, для которого предназначен прибор.

Существуют следующие методы измерения количества топлива:

- поплавковый, основанный на измерении положения поплавка, плавающего на поверхности жидкости;
- емкостной, при котором электрическая емкость специального конденсатора, установленного в баке, зависит от уровня жидкости;
- манометрический, при котором измеряется давление столба жидкости в баке;
- радиационный, основанный на измерении интенсивности ядерного излучения, зависящего от уровня жидкости;
- радиочастотный, основанный на зависимости от уровня жидкости параметров отрезков длинных линий;
- ультразвуковой, основанный на измерении уровня по отражению ультразвука от границ раздела сред и др.

На современных летательных аппаратах наибольшее распространение получили два основных топливомера, работающих по первым двум методам.

Рассмотрим принцип измерения расхода топлива на примере датчика ДРТМС-10т (Рис. 32)

Датчик расходомера топлива предназначен для выдачи сигналов в систему расходомера топлива РТ2-ЗБ, которая служит для дистанционного измерения часового расхода топлива двигателем и остатка топлива в топливных баках самолета.

Датчик расходомера состоит из датчика расхода ДРТМС-10т, датчика плотномера ДПЕ-3-1Т и патрубка. Датчик расхода ДРТМС-10т имеет полый корпус с фланцами для соединения с датчиком плотномера и патрубком при помощи хомутов. Внутри корпуса датчика расположены струевыпрямители для выравнивания потока топлива до и после крыльчатки и спиральная крыль-

чатка, ось которой вращается в шариковых подшипниках. На оси крыльчатки закреплены: постоянный шестиполюсный магнит и червячная передача для привода индуктивно-импульсного устройства, состоящего из стального сердечника, индуктивных катушек и магнитного шунта. Над магнитом на наружной стороне датчика расположены катушки статора.

Датчик плотногомера ДПЕ-3-1т представляет собой плоский воздушный конденсатор и состоит из корпуса и набора пластин, собранных в пакет с помощью шпилек и изоляционных втулок, которые закреплены внутри корпуса винтами.

Топливо из магистрали, поступая в приемный патрубок, проходит струевыпрямитель и попадает на спиральную крыльчатку, приводя ее во вращательное движение. Затем топливо проходит через второй струевыпрямитель и далее через датчик плотногомера поступает в магистраль, идущую к двигателю.

Струевыпрямители, выравнивая поток топлива, способствуют получению линейной зависимости между скоростью потока и числом оборотов крыльчатки. Крыльчатка, вращаясь, приводит во вращение постоянный магнит, закрепленный на ее оси, который создает вращающееся магнитное поле вокруг обмоток статора, индуцируя в них переменную ЭДС с частотой пропорциональной часовому расходу топлива. ЭДС с датчика в блоках системы усиливается, а затем формируется в сигналы, которые передаются на показывающий прибор, перемещая стрелку шкалы часового расхода топлива.

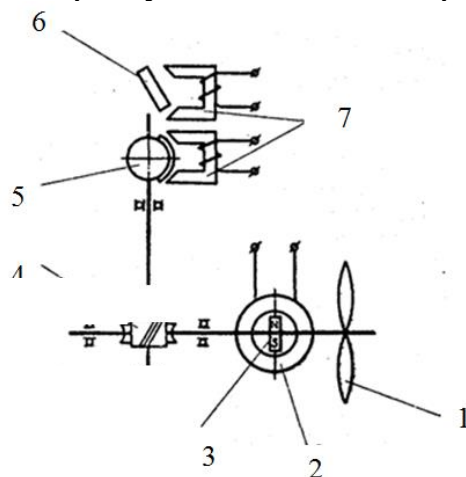


Рис. 32 Кинематическая схема датчика ДРТМС-10т; 1 – крыльчатка, 2 - статор, 3 – магнит, 4 – червячная передача, 5 – сердечник, 6 – магнитный шунт, 7 – индукционная катушка

Одновременно с измерением часового расхода топлива датчиком расходомера производится измерение остатка топлива в баках самолета. В этом случае электрический сигнал, снимаемый с индуктивно-импульсного устройства, усиливается, а затем в показывающем приборе преобразуется в перемещение стрелки. Коррекция показания расходомера по системе часового расхода и си-

стеме суммарного расхода (остатка топлива в баках самолета) в зависимости от изменения плотности топлива производится датчиком плотномера, принцип действия которого основан на изменении емкости воздушного конденсатора.

Технические данные:

диапазон измеряемых часовых расходов топлива	600-7000 кг/час;
погрешность измерения расхода	не более 4 %;
датчик выдерживает давление топлива	6 кгс/см <sup>2</sup> ;
перепад давления на датчике при расходе 5000 кг/час не превышает:	
при работающей крыльчатке	0.15 кгс/см <sup>2</sup> ;
при заторможенной крыльчатке	0.35 кгс/см <sup>2</sup> .

#### 4.3.4 Принцип работы емкостного топливомера

Принцип действия емкостного топливомера основан на зависимости величины емкости специального конденсатора от уровня топлива в баке.

Чувствительный элемент емкостного топливомера (Рис. 33) представляет собой цилиндрический конденсатор с внутренним электродом 1, внешним 2 и изоляционным слоем 3. Между изоляционным слоем и внешним электродом находится слой жидкости (топливо, кислота), уровень которой необходимо измерить. Если уровень жидкости в баке изменяется, то будет изменяться и емкость конденсатора вследствие того, что диэлектрические постоянные жидкости и воздуха различны.

В большинстве случаев внешний электрод цилиндрического конденсатора должен быть выполнен отдельно, однако не исключено использование в качестве внешнего электрода стенок бака, особенно в высоких и узких баках. Это тем более целесообразно, что в таком случае конденсатор позволяет измерять количество топлива в баке без заметных погрешностей при достаточно больших кренах самолета и ускорениях.

Для вывода зависимости между уровнем топлива в баке и емкостью датчика введем следующие обозначения:  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ,  $\epsilon_3$  - диэлектрические постоянные жидкости, материала изолятора и смеси паров жидкости и воздуха соответственно;  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  - радиусы внутреннего электрода, изолятора и внешнего электрода;  $x$  - уровень жидкости;  $h$  - полная высота датчика. Вследствие наличия изоляционного слоя имеется возможность измерять уровень полупроводящих (вода, кислота и др.) жидкостей. При измерении уровня непроводящих жидкостей (керосин, бензин) изоляционный слой не применяют (Рис. 33).

Емкостные топливомеры, в отличие от поплавковых не имеют в датчике подвижных частей, кроме того, в этих приборах погрешности при кренах и ускорениях самолета меньше, чем в поплавковых.

Емкостные топливомеры применяются для измерения количества всех видов топлива, но незаменимы в случае измерения количества химически активных жидкостей, применяемых в качестве горючих компонентов в жидкост-



но-реактивных двигателях. В этом случае внутреннюю трубку конденсатора датчика покрывают тонким электроизоляционным слоем.

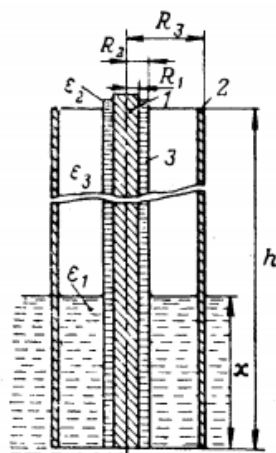


Рис. 33 Схема чувствительного элемента емкостного топливомера:  
1 – внутренний электрод; 2 – внешний электрод; 3 – изоляционный слой.

Материал для внешней трубки также следует выбирать с учетом свойств жидкости, уровень которой нужно измерять.

Если пренебречь концевым эффектом, то можно принять, что емкость нижней части цилиндрического конденсатора будет

$$C_x = \frac{x}{2 \left[ \frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1} \right]}$$

Подобно этому емкость верхней части конденсатора найдем из соотношения

$$C_h = \frac{h-x}{2 \left[ \frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1} \right]}$$

Суммируя емкости  $C_x$  и  $C_h$ , получим полную емкость конденсатора:

$$C = \frac{x}{2} \left[ \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1}} - \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\varepsilon_3} \ln \frac{R_3}{R_2}} \right] + \frac{h}{2} \left[ \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\varepsilon_3} \ln \frac{R_3}{R_2}} \right]$$

Из этого выражения следует, что емкость конденсатора является линейной функцией уровня жидкости  $x$ . Таким образом, измерение уровня жидкости можно свести к измерению емкости конденсатора  $C$ .

Так как диэлектрическая постоянная полупроводящих жидкостей значительно больше, чем непроводящих, то изменение емкости на единицу длины в

первом случае будет больше, чем во втором. Отсюда следует, что емкостный метод измерения уровня особенно эффективен для полупроводящих жидкостей.

Можно сделать вывод, что для увеличения чувствительности датчика величину  $R_3/R_2$  нет необходимости брать большой. Если величина  $R_3 - R_2$  мала, то на точность показаний прибора значительное влияние будет оказывать вязкость жидкости. Следовательно, слой жидкости между электродами должен быть таким, чтобы вязкость не оказывала влияния на уровень жидкости. Обычно ограничиваются зазором  $R_3 - R_2 = 1,5 - 6$  мм, а для увеличения чувствительности датчик собирают из нескольких концентрических труб, образующих параллельно соединенные конденсаторы.

Емкостные топливомеры, не входящие в топливомерно-расходомерные системы, имеют различные модификации и выполняют следующие функции:

- измеряют количество топлива в группах баков и суммарное количество топлива на самолете;
- управляют выработкой топлива по заданной программе;
- осуществляют управление заправкой топлива;
- сигнализируют о выработке и остатке топлива в баках.

Методические погрешности электроемкостных систем возникают:

- из-за ускорений и эволюций самолета (топливо в баках перераспределяется, что приводит к изменению емкости  $C_x$  датчика). Для уменьшения погрешности в баках в разных местах устанавливают несколько датчиков, емкости которых включают параллельно. Кроме того, для демпфирования колебаний уровня топлива конструкцией датчика предусмотрена достаточно малая скорость вытекания (поступления) топлива из датчика;
- из-за изменения емкостей датчика, проводимостей датчика и кабелей, соединяющих датчик с измерительной схемой;
- из-за неточного совпадения профиля датчика с характеристикой бака.

## ГЛАВА 5. ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

### 5.1 Цели и принципы стандартизации

**Стандартизация** - деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ и услуг [2].

Стандартизация разделяется на государственную, национальную и международную.

**Государственная стандартизация** - форма развития и проведения стандартизации, осуществляемая под руководством государственных органов по единым Государственным планам стандартизации.

**Национальная стандартизация** - проводится в масштабе государства без государственной формы руководства.

**Международная стандартизация** - проводится специальными международными организациями, или группой государств, с целью облегчения взаимной торговли, научных, технических и культурных связей.

Стандартизация осуществляется в целях:

- повышения уровня безопасности жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, экологической безопасности;
- повышения уровня безопасности объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- обеспечения научно-технического прогресса;
- повышения конкурентоспособности продукции, работ, услуг;
- рационального использования ресурсов;
- технической и информационной совместимости;
- сопоставимости результатов исследований (испытаний) и измерений, технических и экономико-статистических данных;
- взаимозаменяемости продукции.

Стандартизация осуществляется в соответствии с принципами:

- добровольного применения стандартов;
- максимального учета при разработке стандартов законных интересов заинтересованных лиц;
- применения международного стандарта, как основы разработки национального стандарта.;
- недопустимости создания препятствий производству и обращению продукции, выполнению работ и оказанию услуг в большей степени;
- обеспечения условий для единообразного применения стандартов.

При проведении стандартизации применяются следующие методы: упорядочение объектов стандартизации, параметрическая стандартизация,

унификация продукции, агрегатирование, комплексная стандартизация, опережающая стандартизация.

## 5.2 Категории стандартов

**Стандарт** - документ, устанавливающий требования к группам однородной продукции и в необходимых случаях требования к конкретной продукции, правила, обеспечивающие её разработку, производство и применение, а также требования к иным объектам стандартизации, устанавливаемым Росстандартом по согласованию с правительством (Рис. 34).



Рис.34 Функции РОССТАНДАРТа

К документам в области стандартизации, используемым на территории Российской Федерации, относятся [18]:

- национальные стандарты;
- национальные военные стандарты;
- межгосударственные стандарты, введенные в действие в РФ;
- правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации;
- общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, применяемые в установленном порядке;
- стандарты организаций.

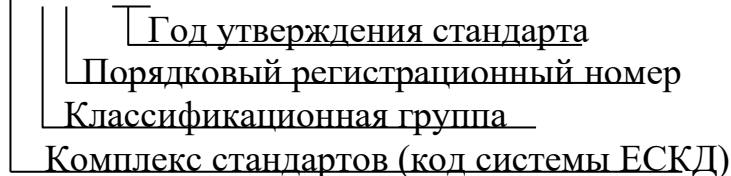
**Стандарты организаций** - обязательны только для предприятия, утверждавшего данный стандарт.

Если национальный стандарт входит в систему (комплекс) общетехнических или организационно-методических национальных стандартов, то обозна-

чение его включает одно- двухразрядный код системы стандартов, отделенный от остальной цифровой части обозначения точкой.

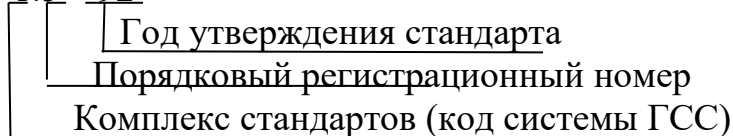
Примеры: ГОСТ 9.022-90; ГОСТ 8.401 – 85; ГОСТ 61.0-2006.

ГОСТ Р 2.51 – 93



В случае отсутствия в структуре обозначения стандарта классификационной группы порядковый регистрационный номер проставляется непосредственно после кода системы

ГОСТ Р 1.5 – 92



В обозначение стандартов на изделия, используемые только в атомной энергетике, добавляется буква А, проставляемая после двух последних цифр года утверждения стандарта.

Национальный стандарт, оформленный на основе применения аутентичного текста международного или регионального стандарта (например, ИСО/МЭК 2593: 1993) и не содержащий дополнительных требований, обозначается как ГОСТ Р ИСО/МЭК 2593 – 98.

В стандартах ЕСКД обеспечена согласованность с рекомендациями ИСО и МЭК.

Весь комплекс стандартов системы ЕСКД, а их свыше 160, разделяется на следующие группы:

- 0 - Общие положения (ГОСТы 2.001 - 2.004);
- 1 - Основные положения (ГОСТы 2.101 - 2.125);
- 2 - Обозначения изделий и документов (ГОСТ 2.201);
- 3 - Общие правила выполнения чертежей (ГОСТы 2.301 - 2.321);
- 4 - Правила выполнения чертежей различных изделий (ГОСТы 2.401 - 428);
- 5 - Правила учета и обращения документации (ГОСТы 2.501 - 2.503);
- 6 - Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации (ГОСТы 2.601 - 2.608);
- 7 - Правила выполнения схем и обозначения условно-графические (ГОСТы 2.701 - 2.711, 2.721 - 2.770, 2.780 - 2.797);
- 8 - Правила выполнения горно-графической документации (ГОСТы 2.801 – 2.804, 2.850 - 2.857);
- 9 - Прочие стандарты.

### 5.3 Научные основы стандартизации. Параметрическая стандартизация

При оценке стандартизации используется ряд коэффициентов:

$$K_n = \frac{n - n_0}{n} 100 \%,$$

коэффициент применимости (стандартизации), где  $n$  - общее число деталей в изделии, шт.;  $n_0$  - число оригинальных деталей, шт.

$$K_{yn} = \frac{n_{yn}}{n} 100 \%,$$

$$K_{cm} = \frac{n_{cm}}{n} 100 \%,$$

коэффициент стандартизации, где  $n_{cm}$  - количество стандартизованных деталей.

**Система предпочтительных чисел** - математическая закономерность (ряд), которая используется для установления так называемых параметрических рядов.

**Параметрический ряд** - совокупность числовых значений параметров, построенная с изменяющейся по закону предпочтительных чисел (рядов) дискретностью в требуемом интервале изменений.

К разновидностям параметрических рядов относятся:

- размерные ряды - совокупность числовых значений геометрических характеристик (размеров) изделий, родственных между собой по функционально-эксплуатационному назначению или конструктивным формам;
- конструктивно-унифицированные ряды - совокупность изделий одинакового или различного функционально-эксплуатационного назначения, построенную на основе конструктивной общности агрегатов, узлов или деталей.

Системы предпочтительных чисел, используемые для задания параметрических рядов, должны отвечать следующим требованиям:

- простота принципа построения и легкость запоминания.
- включать единицу, а также десятикратные её значения.
- допускать неограниченный рост числа членов ряда в направлении возрастания и убывания численных значений членов.
- величина относительной разности любых двух смежных членов должна быть постоянной  $\delta_n = \text{const}$ .

Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют арифметические и геометрические прогрессии, которые используются как основа системы предпочтительных чисел.

Вспомним их: арифметическая прогрессия: 2,4,6,8, ...,20,22, знаменатель прогрессии  $r = 2$ .

Любой член прогрессии находится в соответствии с выражением:

$$a_n = a_1 + r(n-1),$$

где:  $a_1$  - первый член прогрессии;  $r$  - разность прогрессии (знаменатель прогрессии);  $n$  - номер члена.

Найдем относительную разность двух смежных членов:

$$\delta_n = \frac{a_{n+1} - a_n}{a_n} = \frac{a_1 + r(n-1+1) - a_1 - r(n-1)}{a_1 + r(n-1)} = \frac{r}{a_1 + r(n-1)},$$

т.е.  $\delta_n \neq const$  зависит от номера члена арифметической прогрессии и уменьшается при увеличении его номера.

Для устранения этого эффекта на практике используют ступенчато-арифметические ряды, в которых разность прогрессии дискретно изменяется от интервала (группы членов) к интервалу, а внутри интервала изменение незначительно, т.е. относительной погрешностью можно практически пренебречь.

Пример: Параметрический ряд для диаметров резьбовых соединений:

1; 1,1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 10; ... 145; 150; 155; 165...

Как видно, разности прогрессии принимают последовательно следующие значения: 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 5 и т.д.

Используется в ГОСТ 8784-81 «Резьба метрическая для диаметров 1 - 600 мм. диаметры и шаги», ГОСТ 9563-60 «Колеса зубчатые. Модули».

Геометрическая прогрессия: 10, 20, 40, 80, 160 ( $g = 2$ )

Для  $n$ -го члена ряда имеем:  $a_n = a_1 \cdot g^{n-1}$ , где  $a_1$  - первый член ряда;  $g$  - знаменатель геометрической прогрессии.

Тогда относительная разность двух смежных членов равна:

$$\delta_n = \frac{a_{n+1} - a_n}{a_n} = \frac{a_1 \cdot g^n - a_1 \cdot g^{n-1}}{a_1 \cdot g^{n-1}} = g - 1,$$

т.е. относительная разность  $\delta_n = (g - 1) = const$ , и не зависит от  $n$ .

Другой важной особенностью геометрической прогрессии является следующее её свойство. Произведение (или частное) двух любых членов  $a_n$  и  $a_m$ , а также целая положительная (или отрицательная) кратная степень любого члена всегда являются членами исходной прогрессии, т.е.  $a_n a_m = a_N$  и  $a_j^k = a_M$ , где  $a_N$  и  $a_M$  - члены геометрической прогрессии, в которую входят  $a_n, a_m, a_j$ .

Значение рассматриваемого свойства в стандартизации иллюстрируется следующим примером. Пусть геометрический ряд определяет вариации линейных размеров изделия параметрического ряда.

В этом случае площади и объемы, образуемые указанными величинами, будут также являться членами рассматриваемого геометрического ряда, укладываясь в заданный параметрический ряд для линейных размеров изделия.

В механике, машиностроении, технике используются ряды типа R (ряды Ренара). Ряды таких чисел включают целые степени десяти и имеют знаменатели прогрессии, равные для рядов R5, R10, R20, R40, R80, соответственно,  $g=1,6; 1,25; 1,12; 1,06; 1,03$ , которые найдены по формуле:

$$g = \sqrt[n]{10}$$

При этом  $n$  будет равен, соответственно,  $n = 5, 10, 20, 40, 80$  и определяет количество чисел в десятичном интервале [1-10].

Такие ряды будут всегда содержать член с числом 3,15, т.е. приблизительно  $\pi$ .

Это означает, что длины окружностей и площади кругов, диаметры которых выражены рядом предпочтительных чисел в виде геометрической прогрессии, могут быть также представлены соответствующими геометрическими рядами.

Геометрические ряды (прогрессии) как ряды предпочтительных чисел имеют и недостатки:

- неравномерная абсолютная разность между двумя смежными членами ряда.
- необходимость округления членов ряда.

Пример: допустим, в интервале от 3,15 до 50 мм необходим ряд диаметров круглого проката, состоящий из 7 членов при равномерном увеличении значений диаметров.

В арифметической прогрессии, при  $a = 3,15; a + 6x = 50 \Rightarrow x = 7,81$ . Получаем ряд: 3,15; 10,96; 18,77; 26,58; 34,39; 42,20; 50.

В геометрической прогрессии,  $a; ax; \dots ax^6$ .

При  $a = 3,15; ax^6 = 50 \Rightarrow x = 1,6$ . Получаем ряд: 3,15; 5; 8; 12,5; 20; 32; 50.

После установления целесообразной для стандартизации номенклатуры параметров изделий определяется диапазон и градация параметрического ряда.

Под интервалом параметрического ряда понимают любую ограниченную последовательность членов ряда.

Под диапазоном параметрического ряда - максимальный интервал ряда. Диапазон параметрического ряда определяется практической потребностью в изделиях данного вида. Крайние члены выбираются так, чтобы была покрыта значительная часть потребности.



## ГЛАВА 6 ОСНОВЫ СЕРТИФИКАЦИИ

### 6.1 Общие сведения о сертификации

**Сертификация** - форма подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров, осуществляемого органом по сертификации [2].

То есть сертификация представляет собой комплекс действий, в результате которых специальным документом (сертификатом) или знаком соответствия подтверждается соответствие объекта нормативным требованиям.

Правовая основа сертификации:

1. Закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании»
2. «Воздушный кодекс Российской Федерации» от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 31.12.2017)
3. Приказ МТ РФ от 25.09.2015 г. № 285 «Об утверждении ФАП «Требования к юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, осуществляющим ТО гражданских ВС. форма и порядок выдачи документа, подтверждающего соответствие юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, осуществляющих ТО гражданских ВС, требованиям ФАП»
4. Приказ МТ РФ от 17.06.2019 года N 184 ФАП «Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей. Часть 21»
5. ГОСТ Р 40.002-2000 «Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Основные положения»
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2000 «Общие требования к органам по сертификации продукции»

**Система сертификации** – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом [2].

Подтверждение соответствия на территории Российской Федерации может носить добровольный или обязательный характер.

Добровольное подтверждение соответствия осуществляется в форме добровольной сертификации.

Обязательное подтверждение соответствия осуществляется в формах:

- принятия декларации о соответствии;
- обязательной сертификации.

Добровольная сертификация осуществляется по инициативе заявителя. Добровольное подтверждение соответствия может осуществляться для установления соответствия национальным стандартам, стандартам организаций, системам добровольной сертификации, условиям договоров.

Объектами добровольной сертификации являются продукция, процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работы и услуги.

Обязательной сертификации уполномоченным органом, в порядке, установленном федеральными авиационными правилами, подлежат [1]:

1) аэродромы, предназначенные для осуществления коммерческих воздушных перевозок на самолетах пассажироместимостью более чем двадцать человек, а также аэродромы, открытые для выполнения международных полетов гражданских ВС;

2) пилотируемые гражданские ВС, авиационные двигатели, воздушные винты и бортовое авиационное оборудование гражданских ВС;

3) светосигнальное и метеооборудование, устанавливаемое на сертифицированных аэродромах, предназначенных для взлета, посадки, руления и стоянки гражданских ВС, а также радиотехническое оборудование и оборудование авиационной электросвязи, используемые для обслуживания воздушного движения.

## 6.2 Сертификация организаций по ТО АТ

Организации по ТО классифицируются в зависимости от годового объема работ по ТО (табл. 10) [17].

Таблица 10

Классификация авиационно-технических баз

Группа АТБ	Класс аэропортов	Годовой объем работы АТБ в тысячах приведенных единиц технического обслуживания
I	I	от 180 до 240
II	II	от 120 до 180
III	III	от 60 до 120
IV	IV	от 20 до 60
V	V	от 10 до 20

За приведенную единицу ТО при проектировании следует принимать условную величину трудозатрат на выполнение определенного вида работ по ТО ВС. Трудозатраты на одну приведенную единицу 8,50 чел/ч. Для I-II, 9,00 - для III и 9,50 – для IV-V групп авиационно-технических баз (АТБ).

Сертификационные требования к Организациям по ТО АТ установлены ФАП и включают [6]:

- 1) порядок выполнения работ и структура управления;
- 2) документационное и информационное обеспечение ТО;
- 3) обеспеченность квалифицированным инженерно-техническим персоналом (ИТП);
- 4) обеспеченность производственной базой и средствами ТО;
- 5) процессы технического обслуживания;
- 6) материально-техническое и финансовое обеспечение;
- 7) система контроля качества.

Рассмотрим содержание основных сертификационных требований по каждой из контролируемых характеристик.

Для получения сертификата, в уполномоченный орган подается заявление, копии заверенных учредительных документов и перечень заявляемых категорий работ. Заявление и прилагаемые документы рассматриваются в 20-дневный срок. Сертификат хранится в месте осуществления основной деятельности организации по ТО и является бессрочным.

Проверка с выездом в организацию по ТО осуществляется с использованием контрольных карт, в которых указывается соответствие или несоответствие заявителя требованиям ФАП. Карты подписываются руководителем уполномоченного. Подтверждение соответствия проводится раз в два года.

Неотъемлемой частью сертификата является приложение, в котором указываются разрешенные виды работ:

- разрешение категории «А», позволяет выполнять ТО ВС и установленных на нем компонентов.

- разрешение «А1» позволяет проводить ТО ВС с максимальной взлетной массой более 5700 кг, «А2» - с максимальной взлетной массой 5700 кг и менее, «А3» - вертолетов, «А4» - ТО ВС, не предусмотренных разрешениями «А1», «А2» и «А3».

- разрешение категории «В», позволяет проводить ТО двигателей (их компонентов) и вспомогательной силовой установки.

Виды работ, указанные в приложении к сертификату, должны быть описаны в руководстве.

Разрешение «В1» позволяет проводить ТО ГТД, «В2» -поршневых двигателей, «В3» - ВСУ;

- разрешение категории «С» позволяет проводить ТО не установленных на ВС и не связано с конкретным типом ВС, двигателей и ВСУ.

- организация по ТО, имеющая разрешение «D1», может проводить неразрушающий контроль в сторонних организациях. Разрешение «D1» не связано с конкретным типом ВС, двигателей.

В организации по ТО должны быть:

- производственные площади для размещения ВС и хранения оборудования, инструмента и материалов, помещения для управления работами по ТО;

- изолированные помещения для выполнения экологически опасных работ (покраска, очистка, мойка, сварка, механическая обработка);

- помещения и условия для ТО изделий ВС;

- вентиляция, освещение, возможность поддержания температуры, влажности для выполнения заявленных (разрешенных) работ;

- помещения и площади для хранения запасных частей, расходных материалов, снятых с обслуживаемых ВС (исправные неисправные отдельно).

Организация по ТО использует испытанные, проверенные, поверенные или откалиброванные инструменты и оборудование для выполнения разрешенных видов работ.

При выполнении ТО должны использоваться оборудование, инструменты и материалы, рекомендованные разработчиком ВС. Разрешается использование иного оборудования и инструментов с характеристиками, эквивалентными указанным в документации разработчика ВС.

Организация по ТО в руководстве указывает перечни имеющейся документации по ТО. Документация по ТО должна быть доступной для персонала организации по ТО, участвующего в выполнении, организации или контроле работ по ТО. Производственная документация на ТО разрабатывается на основе эксплуатационной документации разработчика, на языке, на котором разработана и утверждена эксплуатационная документация разработчика ВС.

### **Требования к персоналу организации по ТО**

Ответственный по кадрам принимает на работу персонал в количестве, достаточном для выполнения планируемого объема работ и обеспечивает получение и контроль знаний и навыков своих работников путем проведения их подготовки, стажировки и проверок их знаний и навыков. В Руководстве Организации по ТО указывается руководящий состав.

Руководитель организации по ТО назначает лицо из состава руководящего персонала, обеспечивающее функционирование системы качества, реализацию мероприятий по обеспечению качества и своевременное информирование руководителя по проблемам обеспечения качества ТО.

Организация по ТО определяет персонал, контролирующий качество заявленных работ.

Организация по ТО может привлекать персонал другой организации по ТО (не более 50% от общего количества подтверждающего персонала). Это требование должно соблюдаться при формировании всех подразделений и смен. Должен вестись перечень подтверждающего персонала (ФИ, должность, вид выполняемой работы и др.)

Подготовка персонала организации по ТО состоит из первоначальной и периодической подготовки (проводимой не реже, чем один раз в 3 года).

Организация по ТО может самостоятельно изготавливать детали и сборочные единицы в соответствии с эксплуатационной документацией ВС.

## **6.3 Руководство по управлению организации по ТО**

Руководство (документ) Организации по ТО должно соответствовать требованиям ФАП и должно быть согласовано с уполномоченным органом.

Руководство включает в себя несколько частей.

Часть 1. Основные данные:

– полное наименование организации, ее адрес, номер телефона, факса, адрес электронной почты, место осуществления основной деятельности;

- организационную структуру организации по ТО, отражающую все уровни управления, функциональные подразделения;
- список руководящего персонала (руководитель, заместитель руководителя по качеству, заместитель руководителя по производственной деятельности (при наличии)).
- данные о численности персонала подразделений организации по ТО;
- перечень заявленных (разрешенных) типов ВС, с указанием выполняемых на каждом из них видов работ (форм ТО) для каждого места деятельности, включая специальные виды работ.
- процедуры внесения изменений в руководство.

#### Часть 2. Общие правила и процедуры технического обслуживания:

- процедуры оценки поставщиков компонентов, материалов, инструмента и оборудования, а также организаций или лиц, работающих по договору;
- правила приемки и проверки компонентов, материалов для ТО от поставщиков;
- процедуры хранения, маркировки и выдачи со склада запчастей, материалов, инструмента и оборудования для ТО и правила поверки, проверки, калибровки;
- правила использования инструмента и оборудования во время ТО;
- процедуры получения документации разработчика ВС.
- планирование выполнения ТО и оценку трудозатрат персонала;
- описание системы сбора, хранения и предоставления информации о произведенных организацией по ТО работах;
- процедуры выполнения изменений конструкции воздушного судна, устранения повреждений, выявленных во время ТО, оформления свидетельства о ТО ВС;
- описание процедур системы сбора информации о надежности АТ;
- порядок возврата неисправных компонентов на склад.

#### Часть 3. Процедуры системы контроля качества:

- процедура выполнения внутреннего аудита организации по ТО;
- требования к квалификации и опыту работы персонала и его учет;
- требования к специалистам организации по ТО, выполняющим специальные виды работ, выполняющим внутренний аудит;
- процедура контроля качества работ на ВС;

Система контроля качества включает политику организации по ТО в области качества, распределение функций между руководящим персоналом организации по ТО и ее подразделениями, программу внутренних проверок.

Сертификат подлежит аннулированию по заявлению организации по ТО, если невозможно выполнять ТО по заявленным работам, при нарушении выдачи свидетельства о ТО ВС и прекращения деятельности (ликвидация) организации по ТО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. «Воздушный кодекс Российской Федерации» от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 30.04.2021)
2. Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ (ред. от 22.12.2020) «О техническом регулировании» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021)
3. Федеральный закон "Об обеспечении единства измерений" от 26.06.2008 N 102-ФЗ
4. Положение о единицах величин, допускаемых к применению в РФ . Утверждено Постановлением Правительства РФ от 31 октября 2009 г. N 879.
5. О внесении изменений в приложение №3 к Положению о единицах величин, допускаемых к применению в РФ. Утверждено Постановлением Правительства РФ от 15 августа 2015 г. N 847
6. Приказ МТ РФ от 25.09.2015 г. № 285 «Об утверждении ФАП «Требования к юр. лицам, индивидуальным предпринимателям, осуществляющим ТО ГВС. форма и порядок выдачи документа, подтверждающего соответствие юр. лиц, индивидуальных предпринимателей, осуществляющих ТО ГВС, требованиям ФАП»
7. Приказ МТ РФ от 17.06.2019 года N 184 ФАП «Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей. Часть 21»
8. Приложение 5 к Конвенции о международной гражданской авиации. Единицы измерения, подлежащие использованию в воздушных и наземных операциях/ Номер заказа: AN 5 ISBN 978-92-9231-563-4 - ИКАО, 2010. - 60 с.
9. Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации «Эксплуатация ВС» Издание девятое Июль 2010 года Часть I Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты
10. Международный документ МОЗМ D2. Узаконенные (официально допущенные к применению) единицы измерений. Приложение В
11. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. - Питер, 2013. – 494 с.
12. Кириллин В. А. Техническая термодинамика. - Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.
13. Деньгуб В. М., Смирнов В. Г. Единицы величин. Словарь справочник. - М.: Издательство стандартов, 1990. С. 64. - 240 с
14. Леонтьев М.К Виброметрирование авиационных ГТД: Учебное пособие. - М.: Изд-во МАИ, 1998. - 20 с.:ил.
15. РМГ 29 – 2013 Метрология Основные термины и определения. - Официальное издание М.: Стандартиформ, 2014
16. Метрология, стандартизация и сертификация Альбом схем и рисунков Под редакцией А.В. Зиновьева изд. ВВИА, 2004 г.
17. Пособие по проектированию АТБ (к ВНТПШ-85) МГА Москва 1986
18. ГОСТ Р 1.0-2004 Стандартизация в Российской Федерации Основные положения. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. Основы метрологии	4
1.1 Краткий исторический обзор развития отечественной метрологии	4
1.2 Метрология в системе ТО авиационной техники	5
1.3 Основные понятия и определения метрологии	6
1.4 Виды физических величин и единиц, их системы и шкалы	7
1.5 Основы теории измерений. Классификация измерений методов и видов измерений	9
Глава 2. Основы взаимозаменяемости	14
2.1 Обеспечение единства измерений. Поверка средств измерений	14
2.1.1 Государственная система обеспечения единства измерений	14
2.1.2 Поверочные схемы и их классификация. Поверка средств измерений	17
2.1.3 Эталоны единиц физических величин	21
2.2 Понятие о взаимозаменяемости деталей, размерах и отклонениях	25
2.2.1 Понятия о взаимозаменяемости деталей, размерах и отклонениях	25
2.2.2 Поля допусков отверстий и валов	27
2.2.3 Понятие о качествах	28
Глава 3 Теория погрешностей измерений	30
3.1 Общие сведения о погрешностях	30
3.2 Классификация погрешностей	30
3.3 Погрешности по закономерности проявления во времени	32
Глава 4 Методы и средства измерений	35
4.1 Классификация средств измерений. Методы и средства измерений электрических, магнитных и радиотехнических величин	35
4.1.1 Классификация СИ	35
4.1.2 Методы и средства измерений электрических, магнитных и радиотехнических величин	39
4.1.3 Классы точности СИ	46
4.2 Методы и средства измерений неэлектрических величин	49
4.2.1. Методы и средства измерений неэлектрических величин	49
4.2.2 Классификация измерительных преобразователей	50
4.2.3 Измерение давления. Емкостные, индукционные и потенциометрические преобразователи	52
4.3 Измерение частоты вращения. Контроль виброперемещений	
Определение запаса и расхода топлива	55
4.3.1 Назначение и типы тахометров	55
4.3.2 Приборы для измерения виброперемещений и виброускорений	57
4.3.3. Назначение системы измерения запаса и расхода топлива	61
4.3.4 Принцип работы емкостного топливомера	64
Глава 5. Основы стандартизации	67

5.1 Цели и принципы стандартизации	67
5.2 Категории стандартов	68
5.3 Научные основы стандартизации. Параметрическая Стандартизация	70
Глава 6 Основы сертификации	73
6.1 Общие сведения о сертификации.	73
6.2 Сертификация организаций по ТО АТ	74
6.3 Руководство по управлению организации по ТО	76
Литература	78