

Міністерство світи і науки України  
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
фізико-технічний факультет  
кафедра радіоелектронної автоматики

В.Б.Мазуренко

МЕТРОЛОГІЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ

Конспект лекцій

Дніпро

2018

Наведено конспект лекцій з курсу «Метрологія та стандартизація», який розроблено у відповідності до освітньо-професійних програм першого рівня вищої освіти «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та «Кібербезпека». Для студентів фізико-технічного факультету ДНУ, що навчаються за спеціальностями 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 125 «Кібербезпека» на першому рівні вищої освіти.

Укладач: старший викладач кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара Мазуренко Валерій Борисович.

## Лекція № 1

**Тема:** Введение в курс "Метрология и стандартизация". Общие сведения и термины. Физические величины.

**Оглавление**

Введение в курс «Метрология и стандартизация» .....	2
Модуль "Измерения и метрология" .....	3
Метрология как наука.....	3
Значение измерений в человеческой деятельности.....	4
Краткий исторический обзор .....	5
Физическая величина как свойство объектов окружающего мира .....	8
Измерение и наука об измерениях .....	9
Качественная характеристика измеряемых величин.....	10
Контрольные вопросы .....	12

**Источники:**

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»  
<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>
2. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення
3. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
4. Тарасова В. В., Метрологія, стандартизація і сертифікація. Підручник / В. В. Тарасова, А. С. Малиновська, М. Ф. Рибак; за ред. В.В.Тарасової. – Київ : Центр навчальної літератури, 2006. – 264 с

## **Введение в курс «Метрология и стандартизация»**

Надлежащее качество определяется результатом совокупной деятельности стандартизации, метрологии и оценки соответствия (сертификации). Учитывая важную роль каждого из этих видов деятельности, в Украине приняты законы «Про стандартизацію», «Про метрологію і метрологічну діяльність» и «Про технічні регламенти та оцінку відповідності». В данном курсе будут изучаться две составляющие деятельности по обеспечению качества: метрология и стандартизация, а также будут даны основные определения, связанные с проведением сертификации.

Основная цель прохождения студентами курса «Метрология и стандартизация» – овладение терминологией и базовыми принципами метрологии и стандартизации, а также освоение приемов выполнения технических измерений. Курс включает в себя лекционную часть и практические занятия. Курс состоит из двух модулей, первый из которых посвящен общей теории измерений и, собственно, метрологии. При прохождении второго модуля будут рассмотрены вопросы стандартизации и сертификации.

В результате обучения студенты будут:

- знать основы метрологического обеспечения, принципов измерения, методов и средств обеспечения их единства;
- знать основные положения теории точности измерений;
- знать основные метрологические характеристики средств измерений;
- знать основы государственной системы стандартизации, сертификации, лицензированию;
- знать основные принципы стандартизации; категории нормативных документов по стандартизации и виды стандартов; принципы государственного надзора за соблюдением стандартов;
- знать основные объекты сертификации и лицензирования.
- уметь осуществлять обработку и анализ результатов измерений;
- уметь оценивать соответствие методики измерения нормативным документам в профессиональной отрасли;
- уметь оценивать пригодность измерительных средств для проведения работ по контролю технических параметров;
- уметь пользоваться нормативно документацией по метрологическому обеспечению измерений.

## Модуль "Измерения и метрология"

---

Мы начинаем изучение курса с прохождения модуля "Измерения и Метрология". Задачей данного модуля является освоение студентами основ метрологических знаний и техники проведения измерений. В ходе изучения будут рассмотрены:

- основы метрологического обеспечения, принципы измерений, методы и способы обеспечения их единства;
- основные положения теории ошибок и методы обеспечения точности измерений;
- принципы построения средств измерений;
- основы Государственной метрологической системы.

### Метрология как наука

---

*Метрология* – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Основное понятие метрологии – измерение. Получение количественной информации о характеристиках свойств объектов и явлений окружающего мира опытным путём (т.е. экспериментально) называется измерением. В отличие от количественной информации, получаемой теоретическим путём, т.е. посредством вычислений и расчётов, такая информация называется измерительной. Во время измерений проявляются некоторые объективные законы природы. Кроме того, при получении измерительной информации должны соблюдаться определённые правила и нормы, устанавливаемые законодательным путём. Всё это составляет предмет науки об измерениях – метрологии.

Предметом метрологии является извлечение измерительной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью. Средства метрологии – это совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное использование. В зависимости от предмета различают три раздела метрологии: теоретическая (фундаментальная), законодательная и практическая (прикладная) метрология.

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

*Законодательная метрология* – раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств

измерений, направленных на обеспечение единства и необходимой точности измерений в интересах общества.

*Практическая (прикладная) метрология* – раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии.

### **Значение измерений в человеческой деятельности**

---

Измерения - один из важнейших путей познания природы человеком. Они играют огромную роль в современном обществе. Наука, техника и промышленность не могут существовать без них. Каждую секунду в мире производятся многие миллиарды измерительных операций, результаты которых используются для обеспечения надлежащего качества и технического уровня выпускаемой продукции, обеспечения безопасной и безаварийной работы транспорта, для медицинских и экологических диагнозов и других важных целей. Практически нет ни одной сферы деятельности человека, где бы интенсивно не использовались результаты измерений, испытаний и контроля.

Диапазон измеряемых величин и их количество постоянно растет. Так, например, длина измеряется в диапазоне от  $10^{-10}$  м до  $10^{17}$  м, температура - от 0.5 К до  $10^6$  К, электрическое сопротивление - от  $10^{-6}$  Ом до  $10^{17}$  Ом. Сила электрического тока - от  $10^{-16}$  А до  $10^4$  А. Мощность - от  $10^{-15}$  Вт до  $10^9$  Вт. С ростом диапазона измеряемых величин возрастает и сложность измерений. Они, по сути дела, перестали быть одноактным действием и превратились в сложную процедуру подготовки и проведения измерительного эксперимента, обработки и интерпретации полученной информации. Поэтому следует говорить об измерительных технологиях, понимаемых как последовательность действий, направленных на получение измерительной информации требуемого качества.

Другой фактор, подтверждающий важность измерений, – их значимость. Основой любой формы управления, анализа, прогнозирования, планирования контроля или регулирования является достоверная исходная информация, которая может быть получена только путем измерения требуемых физических величин, параметров и показателей. Естественно, что только высокая и гарантированная точность результатов измерений обеспечивает правильность принимаемых решений.

Сотрудничество с зарубежными странами, совместная разработка научно-технических программ требуют взаимного доверия к измерительной информации. Ее высокое качество, точность и достоверность, единообразие

принципов и способов оценки точности результатов измерений имеют первостепенное значение.

### **Краткий исторический обзор**

---

Термин «метрология» образован из двух греческих слов: «метрон» – мера и «логос» – учение. В дословном переводе «метрология – это учение о мерах или, как принято определять в настоящее время это понятие, – наука об измерениях.

Измерения выполнялись человечеством с незапамятных времен. Уже в древности проводились измерения времени, расстояния между поселениями, веса (массы) физических тел, площади земельных участков и др. Как правило, при этом использовались антропологические единицы измерений, т.е. единицы измерений, связанные с человеком и размерами его тела. Например, использовались следующие меры:

- перст – ширина указательного пальца (в метрической системе мер около 2 см);
- вершок – ширина сложенных вместе двух пальцев, указательного и среднего (около 4,4 см);
- пядь малая – расстояние между концами вытянутых большого и указательного пальцев руки (около 19 см);
- пядь великая – от кончика мизинца до кончика большого пальца, растянутых по одной линии (от 22 до 23 см);
- косая сажень – расстояние от носка левой ноги до конца пальцев правой руки, вытянутой по диагонали (от 216 до 248 см).

Антропологические единицы обладают очевидными недостатками (у разных людей разные «пяди», «вершки», «сажени» и др.). Для преодоления недостатка «чистых» антропологических единиц уже сравнительно давно стали использовать в качестве образцовых мер и эталонов деревянные сажени, медные фунты, мерные бутылки и др. Вещественные образцовые меры и эталоны не могли преодолеть всех недостатков измерений, основанных на антропологических единицах. Требовался переход на принципиально новые единицы измерений, что и было сделано при создании метрической системы мер. Научное обоснование такого перехода обеспечила метрология.

Метрология как наука зародилась в конце XVIII в. во времена Великой французской буржуазной революции 1789 г. Основоположники метрологии – Кулон, Лавуазье, Лагранж, Лаплас и другие известные ученые – предложили перейти от антропологических единиц к естественным единицам измерений (в дальнейшем получившим название естественных единиц). В основу естественных единиц измерений были положены такие единицы, как метр,

килограмм и секунда, связанные с размерами Земли и вращением ее вокруг своей оси. За единицу массы (единицу «веса» в первоначальной редакции) был принят килограмм, приравненный к массе («весу») воды определенного объема при заданной температуре. 7 мая 1795 г. Конвент принял закон о внедрении метрической системы мер во Франции. Фактически же это внедрение происходило длительное время и потребовало больших усилий.

Первые определения основных единиц метрической системы мер следующие.

Метр – это  $1/40 \cdot 10^6$  часть земного меридиана, проходящего через г. Париж.

Килограмм – вес 1 дм<sup>3</sup> чистой воды при температуре +4 °С.

Секунда – это 1/86400 часть солнечных суток.

Таким образом, от единиц, связанных с размерами тела человека, был сделан переход к естественным единицам измерений, связанным с размерами Земли, с периодом вращения Земли вокруг своей оси, характеристиками природных веществ и др.

Первые определения метрических мер измерения имели чисто академический (научный) вид (отсюда и название «естественнонаучные единицы»), и их практическое использование было затруднено. Например, в определении килограмма есть нечеткое понятие «чистая вода». Это какая вода: из озера, реки, родника или как-то специально приготовленная? Кроме того, возникают трудности при воспроизведении объема 1 дм<sup>3</sup> и при поддержании температуры воды +4 °С, что требуется по приведенному определению килограмма. Для преодоления этих недостатков был сделан переход на материальное воспроизведение единиц измерений. Например, метр был воспроизведен в виде платиновой линейки, а затем в виде расстояния между штрихами, нанесенными на двутавровую балку из сплава платины и иридия. Аналогично килограмм стал воспроизводиться в виде цилиндрической гири из сплава платины и иридия. Соответственно изменились определения единиц измерений, причем определение метра просуществовало до 1960 г., а определение килограмма (как массы международного прототипа килограмма) оказалось настолько удачным, что существует до сих пор.

В царской России основоположником метрологии принято считать Дмитрия Ивановича Менделеева (1834-1907), хотя и до него проводились отдельные работы по метрологии и метрологическому обеспечению измерений. В 1893 г. им была создана Главная палата мер и весов, являвшаяся, по существу, научно-исследовательским институтом метрологического профиля. В Англии аналогичная организация (Метрологическое отделение

Национальной физической лаборатории) была создана в 1900 г, а в США – в 1901 г. (Национальное бюро стандартов).

8 октября 1901 года по инициативе Менделеева в Харькове была открыта первая в Украине поверочная палатка для выверки и клеймения торговых мер и весов. С этого события берет начало не только история метрологии и стандартизации в Украине, но и более чем столетняя история Национального научного центра «Институт метрологии».

В 1922 году Харьковская палатка была преобразована в Украинскую Главную палату мер и весов, а в 1933 году - в Украинский научно-исследовательский институт метрологии и стандартизации.

В 1992 году функции головной организации по обеспечению единства измерений в Украине возложены на ГНПО «Метрологія» (г. Харьков). На базе объединения были организованы Головной центр Государственной службы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, а также Украинский метрологический центр Государственной службы единого времени и эталонных частот.

В 2002 году институт Указом Президента Украины № 250/2002 от 15 марта 2002 г. получил статус национального научного центра и был переименован в Национальный научный центр «Институт метрологии».

Созданные в ННЦ «Институт метрологии» эталонная база и линейно-геодезический полигон внесены в Государственный реестр научных объектов, составляющих национальное достояние. На сегодняшний день в Украине в Реестр государственных эталонов единиц измерения внесено 69 государственных эталонов, из которых 52 созданы и функционируют в ННЦ «Институт метрологии».

Под руководством Д.И. Менделеева была проведена работа по сличению русской системы эталонов (аршин, сажень, фунт) с английскими и метрическими эталонами мер и весов. Была сделана попытка перейти на метрическую систему мер (метр, килограмм), но удалось добиться лишь ее факультативного применения.

Метрическая система мер как обязательная была официально признана лишь после революции 1917 г., когда 14 сентября 1918 г. был принят декрет Совнаркома «О введении Международной метрической системы мер и весов». Практически же это удалось сделать лишь через 9 лет – в 1927 г.

## **Физическая величина как свойство объектов окружающего мира**

---

Окружающая нас реальность представлена объектами, свойствами и явлениями материального и духовного мира. Объектом материального мира, например, является пространство, а его свойством — протяженность. Последняя может характеризоваться различными способами. Общепринятой характеристикой (мерой) пространственной протяженности служит *длина*. Однако протяженность реального физического пространства является сложным свойством, которое не может характеризоваться только длиной. Для полного описания пространства рассматривается его протяженность по нескольким направлениям (координатам) или дополнительно используются такие меры, как *угол*, *площадь*, *объем*. Это связано с тем, что пространство является многомерным.

Любые события и явления в реальном мире происходят не мгновенно, а имеют некоторую длительность. Это свойство окружающего нас мира качественно отличается от пространственной протяженности. Его также можно характеризовать по-разному, но общепринятой мерой здесь является *время*.

Свойство тел сохранять при отсутствии внешних воздействий состояние покоя или равномерного прямолинейного движения называется инертностью. Мерой инертности служит *масса*.

Свойство тел, состоящее в том, что они нагреты до некоторого состояния, качественно отличается от предыдущего. Оно могло бы характеризоваться средней скоростью теплового движения молекул, но распространение получила другая мера нагретости тел, называемая термодинамической *температурой*.

Общепринятые или установленные законодательным путем характеристики (меры) различных свойств, общие в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем, их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальные для них, называются *физическими величинами*. Кроме вышеперечисленных длины, времени, массы и температуры к ним относятся *плоский и телесный угол*, *скорость*, *ускорение*, *сила* и *давление*, *мощность* и *энергия*, *яркость*, *освещенность*, *сила электрического тока*, *напряженность электрического поля* и многие другие.

Объектами измерений являются физические величины (ФВ). **Физическая величина** трактуется как одно из свойств физического объекта, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

### Измерение и наука об измерениях

Одномерные и многомерные свойства объектов и явлений окружающего мира являются предметами познания (рис. 1). Теория познания – ГНОСЕОЛОГИЯ (от древнегреч. γνῶσις; — знание, познание и λόγος; — речь, слово, учение или наука) — относится к философии. В ней различаются категории качества и количества. Точными количественными исследованиями занимаются естественные науки. Методами исследований служат теория и эксперимент. В свою очередь эксперименты могут выполняться с применением и без применения технических средств.

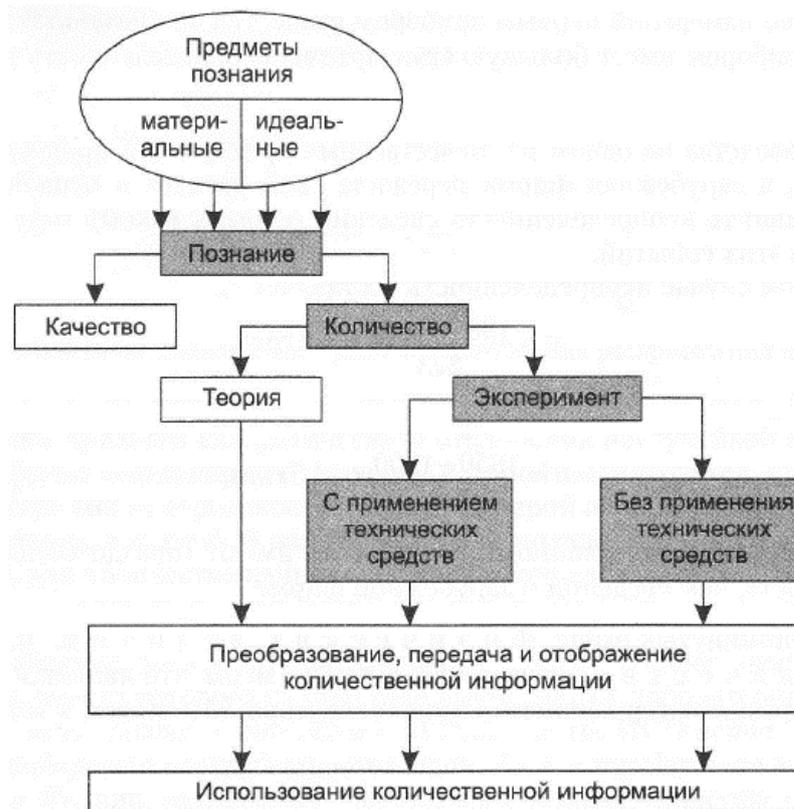


Рис. 1. Стилизованная схема получения и использования количественной информации

Полученная тем или иным способом количественная информация о свойствах объектов и явлений окружающего мира преобразуется, передается и представляется в наглядной форме в информационно-измерительных системах или других устройствах отображения и регистрации информации.

Использование этой информации является конечной целью познавательной деятельности.

Получение информации о количественных характеристиках свойств объектов и явлений окружающего мира опытным путем (то есть экспериментально) называется **ИЗМЕРЕНИЕМ**. В отличие от количественной информации, получаемой теоретическим путем, то есть посредством вычислений и расчетов, такая информация называется *измерительной*. На рис. 1 выделены элементы, относящиеся к получению измерительной информации.

Во время измерений проявляются некоторые объективные законы природы. Кроме того, при получении измерительной информации должны соблюдаться определенные правила и нормы, установленные законодательным путем. Все это составляет предмет науки об измерениях — **МЕТРОЛОГИИ**. Базисное положение этой науки определил Д. И. Менделеев в словах: «... наука начинается... с тех пор, как начинают измерять; точная наука немыслима без меры».

### **Качественная характеристика измеряемых величин**

Формализованным отражением качественного различия между измеряемыми физическими величинами служит их размерность. Размерность обозначается символом  $\dim$ , происходящим от слова *dimension*, которое в зависимости от контекста может переводиться и как размер, и как размерность.

Размерность основных физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. Для длины, массы и времени, например,

$$\dim l = L; \dim m = M; \dim t = T.$$

При определении размерности производных физических величин руководствуются следующими правилами:

1. Размерности левой и правой частей уравнения обязаны совпадать, так как приравняться друг к другу могут только одинаковые свойства. Объединяя левые и правые части уравнения, можно прийти к выводу, что алгебраически могут суммироваться только величины, имеющие одинаковые размерности.

2. Алгебра размерностей мультипликативна, то есть состоит всего лишь из двух действий — умножения и деления.

2.1. Размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Так, если зависимость между величинами имеет вид  $Q = A \cdot B \cdot C$ , то

$$\dim Q = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C.$$

2.2. Размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей, то есть, если  $Q = \frac{A}{B}$  то

$$\dim Q = \frac{\dim A}{\dim B}$$

2.3. Размерность любой величины, возведенной в степень, равна ее размерности в той же степени. Так, если  $Q = A^n$ , то

$$\dim Q = \prod_i^n A^n$$

Например, если скорость определяется по формуле  $v = l/t$ , то  $\dim v = \dim l / \dim t = L/T = LT^{-1}$ . Если сила по второму закону Ньютона  $F = ma$ , где  $a = v/t$  — ускорение тела, то  $\dim F = \dim m \cdot \dim a = ML/T^2 = MLT^{-2}$ .

Таким образом, всегда можно выразить размерность производной физической величины через размерности основных физических величин с помощью степенного выражения:

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma \dots,$$

где L, M, T, ... — размерности соответствующих основных физических величин;

$\alpha, \beta, \gamma, \dots$  — показатели размерности. Каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулем. Если все показатели размерности равны нулю, то такая величина называется безразмерной. Она может быть относительной, определяемой как отношение одноименных величин (например, относительная диэлектрическая проницаемость), или логарифмической, определяемой как логарифм относительной величины (например, логарифм отношения мощностей или напряжений).

Итак, размерность является качественной характеристикой измеряемой величины. Она отражает ее связь с основными физическими величинами и зависит от выбора последних.

Теория размерностей повсеместно применяется для оперативной проверки правильности формул. Если размерности левой и правой частей уравнения не совпадают, то есть не соблюдается первое правило, то в выводе формулы, к какой бы области знаний она ни относилась, следует искать ошибку.

## Контрольные вопросы

---

1. Дайте определение метрологии как науки.
2. Что является предметом метрологии?
3. Различают три раздела метрологии. Какие?
4. Наименьший измеренный размер составляет величину порядка  $10^{-10}$  м. Какому объекту природы соответствует эта величина? Какое свойство объекта измерялось?
5. Наибольший измеренный размер составляет величину порядка  $10^{17}$  м. Какому объекту природы соответствует эта величина? Какое свойство объекта измерялось?
6. Какими средствами было измерено расстояние  $10^{17}$  м?
7. Каким объектам соответствует значение силы тока  $10^4$  А?
8. Приведите примеры измерений, выполняемых при проведении торговых операций.
9. Какие известные ученые считаются основателями метрологии?
10. Какой период истории считается началом появления метрологии?
11. Какие естественные единицы измерения были предложены основоположниками метрологии?
12. Кто из ученых внес наибольший вклад в развитие метрологии в царской России?
13. Какое первое метрологическое учреждение было открыто на территории Украины?
14. Где сберегается большинство эталонов единиц физических величин в Украине?
15. Что такое единица физической величины?
16. Перечислите некоторые из известных Вам физических величин.
17. Дайте определение понятию "измерение".
18. Повторите тезис Д.И.Менделеева о связи науки и измерений.
19. Что называют измерением? Дайте определение понятия "измерение".
20. В чем выражается качественное отличие физических величин?
21. Приведите пример записи размерности какой-либо физической величины.
22. Что означают заглавные латинские буквы, такие как L, M, T... в выражениях для размерности физической величины?
23. Что означают малые греческие буквы, такие как  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , ... в выражениях для размерности физической величины?
24. Зависит ли размерность физической величины от выбора основных физических величин?
25. Как можно проверить правильность формул?

26. Как можно проверить правильность результата, полученного при проведении расчетов по формулам?
27. Какие измерения проводятся при эксплуатации автомобиля?
28. Назовите измерения, проводимые в медицине, которые Вам известны.
29. Какие измерения необходимо проводить, по-вашему, на борту самолета для обеспечения его полета?
30. Какие измерения необходимо проводить, по-вашему, на борту ракеты для обеспечения ее полета к Марсу?
31. Назовите средства измерений, которыми Вы пользуетесь в быту.
32. Назовите измерительные приборы, которые используются при эксплуатации автомобиля.
33. Назовите известные Вам медицинские измерительные приборы.
34. Назовите некоторые измерительные приборы, которыми оснащаются самолеты.

## Лекція № 2

**Тема:** Количественная характеристика измеряемой величины. Первая и вторая аксиомы метрологии. Шкалы.

**Оглавление**

Количественная характеристика измеряемых величин .....	2
Априорная информация и первая аксиома метрологии.....	3
Вторая аксиома метрологии.....	4
Измерительные шкалы .....	5
Шкала наименований (шкала классификации).....	6
Шкала порядка (шкала рангов).....	8
Шкала интервалов.....	11
Шкала отношений .....	13
Абсолютные шкалы .....	14
Контрольные вопросы по теме .....	16

**Источники:**

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Питер, 2010. — 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
3. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»  
<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

## Количественная характеристика измеряемых величин

Любое свойство может проявляться в большей или меньшей степени, то есть имеет количественную характеристику. Следовательно, любое свойство может быть измерено. «Измеряй все доступное измерению и делай доступным то, что еще недоступно» (Галилео Галилей).

Количественной характеристикой любого свойства служит размер, хотя не принято говорить «размер длины», «размер массы» или «размер показателя качества». Говорят просто «длина», «масса» или «показатель транспортабельности».

Размер является объективной количественной характеристикой, не зависящей от выбора единиц измерения. Например, 1000 мм; 100 см; 1 м; 0,001 км – четыре варианта представления одного и того же размера. Каждый из них является значением физической величины (в данном случае – длины) – выражением размера в тех или иных единицах измерения.

**Значение физической величины** – это выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Значение физической величины  $Q$  можно представить в виде произведения:

$$Q = q[Q] \quad (1)$$

где  $q$  – отвлечённое число, называемое *числовым значением*, а  $[Q]$  – *размер единицы* измерения данной ФВ. Значение ФВ находится путем измерения или вычисления в соответствии с *основным уравнением измерения* (1).

**Единица физической величины** – это ФВ фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице. Она применяется для количественного выражения однородных ФВ. Размер единицы физической величины – количественная определенность единицы физической величины, воспроизводимой или хранимой средством измерений.

Из-за зависимости числовых значений от размеров единиц роль последних очень велика. Если допустить произвол в выборе единиц, то результаты измерений окажутся несопоставимы между собой, то есть нарушится единство измерений. Чтобы этого не произошло, единицы измерений устанавливаются по определенным правилам и закрепляются законодательным путем. Наличие законодательной метрологии отличает эту науку от других естественных наук (физики, химии и т. д.) и направлено на обеспечение единства измерений.

Представление о трудностях, которые возникают при использовании разных единиц измерения, можно получить из следующих примеров:

1. Дюймовые доски длиной 3 м и шириной 20 см отпускаются со склада по цене 5000 грн. за кубометр. Сколько стоят 10 досок?

2. На мировом рынке нефть продается по цене 55 американских долларов за баррель. Оценить объем выручки от экспорта 150 тыс. т нефти.

3. Расстояние от Речного порта до Монастырского острова 5 км. За какое время преодолевает это расстояние прогулочный катер, развивающий скорость 15 узлов?

4. Во многих странах температура измеряется по шкале Фаренгейта. Если в Париже  $68^{\circ}\text{F}$ , а в Днепре  $20^{\circ}\text{C}$ , то где теплее?

### **Априорная информация и первая аксиома метрологии**

Правильно поставленная измерительная задача включает указание на то, что нужно измерить, и с какой неопределенностью (раньше устанавливалась точность или погрешность).

Указание на то, что нужно измерить, содержит априорную (от лат. a priori – предшествующую опыту, в данном случае измерению) информацию. В частности, из постановки задачи должна быть ясна размерность измеряемой величины. Вытекает из постановки задачи и некоторое априорное представление о размере той величины, которую предстоит измерить. Ведь не может же он находиться в пределах от  $-\infty$  до  $+\infty$ !

Если бы априорной информации о размере измеряемой величины не было, и интервал ее возможных значений был бы бесконечно большим, любое измерение должно было бы давать бесконечно большое количество измерительной информации, что, в свою очередь, потребовало бы затраты бесконечно большого количества энергии, а это невозможно. Поэтому наличие априорной информации является обязательным условием измерения.

Без априорной информации измерение невозможно.

Это утверждение представляет собой *первую аксиому метрологии*. Она относится к ситуации перед измерением и говорит о том, что если мы не знаем, что собираемся измерять, не располагаем необходимой качественной и количественной информацией, то ничего и не узнаем. С другой стороны, если о какой-либо величине известно все (в частности, ее количественная характеристика), то измерение не нужно. Таким образом, измерение обусловлено дефицитом априорной информации о количественной характеристике какой-то величины и направлено на его уменьшение. Измерение – это уточнение значения измеряемой величины.

Для решения измерительной задачи априорная информация о размере измеряемой величины является необходимой, но не достаточной. Для того чтобы установить значение измеряемой величины с заданной неопределенностью, часто нужно располагать опытом предшествовавших

измерений, хорошо знать средство измерений, учитывать влияние условий измерений и т. д. От умелого использования априорной информации, полученной из различных источников, во многом зависит успех дела.

Аксиомы не доказываются, а являются отражением многовекового опыта, накопленного человечеством.

## Вторая аксиома метрологии

### Способ получения измерительной информации

«Невозможно определить или измерить одну величину иначе, как приняв в качестве известной другую величину этого же рода и указав соотношение, в котором она находится с ней» (Л. Эйлер). Эти слова великого ученого перекликаются с народной мудростью, говорящей о том, что «все познается в сравнении». Действительно, никто еще не придумал иного способа получения информации о размере физической величины, кроме как путем сравнения его с другим размером такой же физической величины, то есть имеющей такую же размерность. Этот факт можно сформулировать в виде *второй аксиомы метрологии*:

Измерение есть сравнение размеров опытным путем.

Вторая аксиома относится к процедуре измерения и говорит о том, что сравнение размеров опытным путем является единственным способом получения измерительной информации. При этом не уточняется, каким образом сравниваются размеры, с помощью каких приспособлений, приборов или даже может быть без них. Просто утверждается, что другого способа нет.

Вариантов сравнения между собой двух размеров  $Q_i$  и  $Q_j$  всего три:

$$Q_i \diamond Q_j \quad (2)$$

$$Q_i - Q_j < \Delta \quad (3)$$

$$\frac{Q_i}{Q_j} = x \quad (4)$$

Первый из них – самый простой. Экспериментальное решение неравенства (2) позволяет ответить на вопрос: какой из двух размеров больше другого (либо они равны), но ничего не говорит о том, *на сколько* больше, или *во сколько раз*. Это наименее информативное измерение. Более информативно сравнение по правилу (3). Оно позволяет получить ответ на вопрос о том, *на сколько* один размер больше или меньше другого (в частном случае они могут оказаться равными). Так, например, подсыпая песок на чашу весов, можно добиться того, что коромысло весов уравновесится. Тогда можно будет сказать, что масса первого изделия больше массы второго на массу песка  $\Delta m$ .

Для того, чтобы ответить на вопрос, *во сколько раз* один размер больше или меньше другого (в частном случае они могут оказаться и равными), нужно сравнить размеры между собой по правилу (4), т.е. посмотреть, сколько раз  $j$ -й размер укладывается в  $i$ -м. Это будет означать, что  $j$ -й размер выступает в качестве единицы измерения.

К единицам измерений предъявляются совершенно определённые требования. В частности, для обеспечения единства измерений они должны быть установлены по определённым правилам и закреплены законодательным путём. Следовательно, измерение по правилу (4) представляет собой сравнение неизвестного размера  $Q_i$  с узаконенной единицей измерения  $Q_j=[Q]$ , с целью определения числового значения  $q$  измеряемой физической величины, которое показывает, *во сколько раз* неизвестный размер больше размера единицы, или *на сколько* единиц он больше нуля. Таким образом, последняя разновидность способа сравнения является самой информативной. Она позволяет определить *значение измеряемой физической величины*  $Q$ , т.е. выразить её размер в общепринятых (узаконенных) единицах в кратном или дольном отношении, и отвечает на вопрос, *во сколько раз* или *на сколько* (единиц) один размер больше (меньше) другого.

### Измерительные шкалы

---

**Шкала физической величины** представляет собой упорядоченную совокупность значений этой величины, принятую по соглашению на основании результатов точных измерений. Согласно теории измерений измерение трактуется как *отображение* элементов *эмпирической* системы с отношениями (совокупность объектов, их свойств и отношений) на элементы *абстрактной* системы с отношениями (совокупность оценок и правил их образования), осуществляемое по определенной системе *правил соотнесения* эмпирической и абстрактной систем (совокупность правил и процедур оценивания). Совокупность правил, позволяющих выполнить такое сопоставление эмпирической системы отношений в числовую систему отношений, называется **шкалой**. В соответствии с логической структурой проявления свойств в теории измерений различают пять основных типов шкал измерений: две – неметрические шкалы:

- шкала наименований или шкала классификации,
- шкала порядка.

и три – метрические шкалы:

- шкала интервалов,
- шкала отношений,
- абсолютные шкалы.

## Шкала наименований (шкала классификации)

Такие шкалы используются для классификации объектов, свойства которых проявляются только в отношении эквивалентности (совпадения или несовпадения). Эти свойства нельзя считать физическими величинами, поэтому шкалы такого вида не являются шкалами физических величин. Это самый простой тип шкал, основанный на приписывании качественным свойствам объектов чисел, играющих роль имен. Условные номера в качестве имен присваиваются по следующему правилу: нельзя присваивать одно имя (число) двум разным объектам. Поскольку числа характеризуются только отношениями эквивалентности, то в них отсутствует понятие нуля, «больше» или «меньше» и единицы измерения.



Рис. 1 Пример классификации

Измерение, которое классифицирует объекты безотносительно к их рангу или к расстояниям между ними, называется *номинальным измерением* (от латинского *nomen* – имя). В результате номинального измерения мы относим объект к некоторой категории, как бы присваиваем объекту имя. Очевидно, что номинальное измерение является исключительно качественным измерением. Единственный факт, существенный при номинальных измерениях, заключается в том, что одинаковым характеристикам, состояниям и явлениям присваиваются одни и те же метки, а различным характеристикам – разные. Сущностью такого измерения является безусловный смысл равенства и неравенства. Процедура присвоения ограничена лишь тем, что одно имя можно присвоить лишь одному объекту (классу).

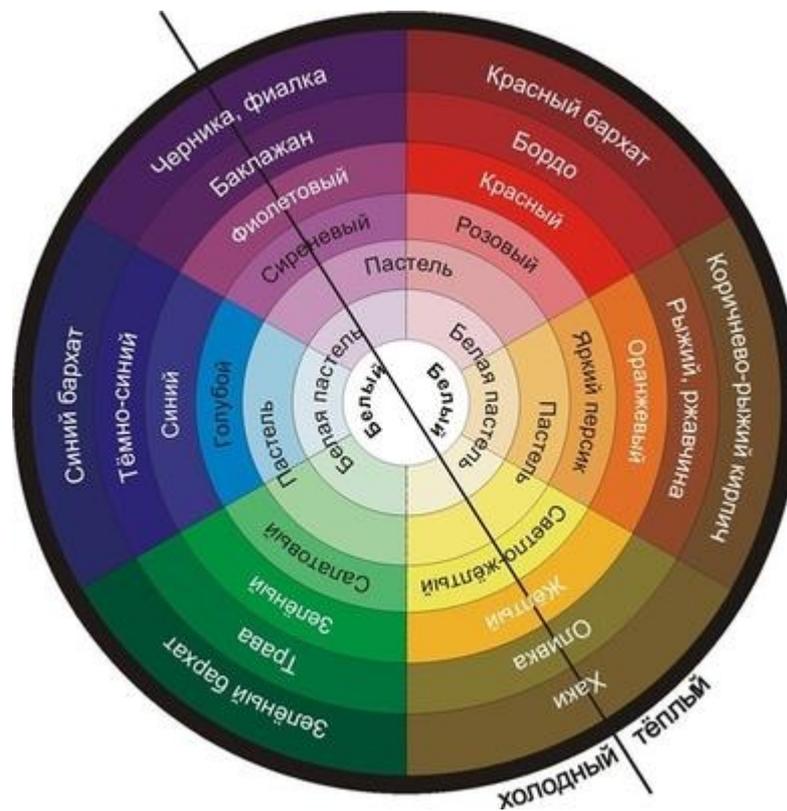


Рис.2 Пример шкалы наименований

Примером номинального измерения в технических науках служит целый класс измерений, осуществляемых системами обнаружения. Эти системы конструируются так, чтобы результат их действия был двоичным. Системы пожарной сигнализации вырабатывают сигнал «пожара нет», когда температура ниже определенного значения, и сигнал «пожар», когда температура превышает это значение. Номинальное измерение не может указать, какое из событий или явлений больше или меньше. Все, что можно определить, это «случилось» или «не случилось». Если число возможных исходов больше двух, то номинальное измерение может указать, какое именно событие произошло. Например, цвет любой вещи можно определить по названию подходящего цвета в атласе цветов, предназначенном для идентификации цвета.

Кроме того, с помощью номинального измерения осуществляют классификацию, которая существует во многих разновидностях: например, с помощью диагностических средств классифицируют болезнь, также классифицируют флору, фауну, проводят контроль изделий (классификация на годные и бракованные), осуществляют сложную процедуру распознавания образов и т.д. Номинальная шкала, используемая для классификации, называется шкалой классификации. При классификации существенно лишь то, что единственное отношение в системе объектов, передаваемое шкалой

класифікації, – это *отношение эквивалентности*. Так, все годные изделия эквивалентны в том смысле, что могут быть использованы.

Единственное отношение в системе объектов, передаваемое шкалой классификации, – отношение эквивалентности.

### Шкала порядка (шкала рангов)

Результат экспериментального решения неравенства  $Q_i < Q_j$  может быть представлен на шкале порядка, являющейся упорядоченной последовательностью опорных (реперных) точек, обозначаемых буквами, цифрами или символами и соответствующих размерам  $Q_0 < Q_1 < Q_2 < Q_3 \dots < Q_n$ , о каждом из которых известно, что он больше предыдущего, но меньше последующего, хотя сами размеры неизвестны (рис. 3). Шкала является монотонно изменяющейся и позволяет установить отношение «больше – меньше» между величинами, характеризующими это свойство. Если для обозначения реперных точек используются цифры, то они называются баллами. Обозначения нельзя ни складывать, ни вычитать, ни делить, ни перемножать.

На шкале порядка не определены никакие математические операции.

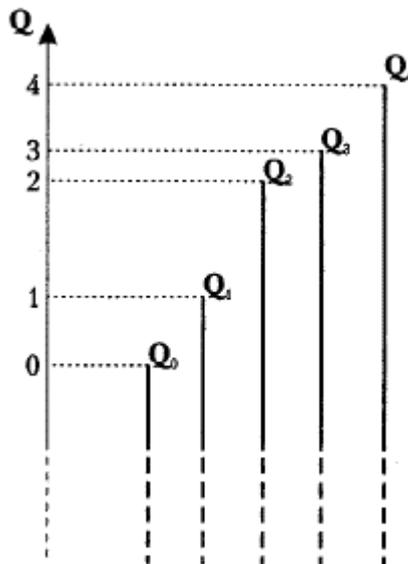


Рис. 3 Построение шкалы порядка

В то же время, если один размер по шкале порядка меньше другого, а последний в свою очередь меньше третьего, то и первый размер меньше третьего. Т.е. для любых чисел  $a$ ,  $b$  и  $c$  таких, что  $a < b$  и  $b < c$ , справедливо соотношение  $a < c$  (транзитивность). Эти свойства транзитивности означают, что на шкалах порядка определены (т.е. могут выполняться) логические операции.

Так как размеры, которым соответствуют реперные точки, неизвестны, то бессмысленно говорить о масштабе на шкале порядка. По шкалам порядка не только нельзя определить, чему равен измеряемый размер  $Q_i$ , но и невозможно сказать, на сколько (или во сколько раз) он больше или меньше размера  $Q_j$ . В шкалах порядка принципиально невозможно ввести единицы измерения, так как для них не установлено отношение пропорциональности. Хотя нуль может и существовать.

Тем не менее, в областях, где к измерительной информации не предъявляются высокие требования, шкалы порядка применяются довольно широко. В промышленности, например, для измерений по шкалам порядка используются шаблоны. В образовательных учреждениях по шкале порядка измеряются знания учащихся:

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
82-89	<b>B</b>	добре	
75-81	<b>C</b>		
64-74	<b>D</b>	задовільно	
60-63	<b>E</b>		
0-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

При одномерной шкале порядок должен быть линейным: все объекты должны поддаваться выстраиванию в цепочку по какому-либо признаку (некоторые из них могут занять одно и то же место в цепочке - быть эквивалентными). Так, студенты после экзамена разбиваются на классы получивших оценки 2, 3, 4 и 5 в порядке роста их знаний, но для экзаменатора и внутри этих классов есть различия. Здесь существенно, что более знающему студенту присваивается большее число, и переставлять эти числа уже нельзя.

Группа допустимых преобразований для шкалы порядка должна уничтожать пропорциональность (ведь знания, оцененные на 4, нельзя считать вдвое более обширными или глубокими, чем знания, оцененные на 2) и

отношение «быть суммой» (получить 2 и 3 - не то же, что получить 5), сохраняя лишь отношения большего и меньшего.

Итак, порядковое измерение занимает нижнюю ступень в количественных измерениях. Упорядочение в шкале порядка может осуществляться по внешним признакам - нумерация - или по внутренним свойствам - ранжирование. Пример первой процедуры - нумерация мест в театре, домов, исследуемых образцов, промышленных изделий и т.д. Примеры второй процедуры - ранжирование силы ветра (волнения) на море (12-балльная шкала Бофорта для силы морского ветра) (табл. 1), ранжирование силы землетрясений (шкала Рихтера), шкала вязкости Энглера, ранжирование твердости минералов (шкала Мооса).

Шкала Бофорта для измерения силы ветра

Таблица 1

<i>Балл</i>	<i>Название</i>	<i>Признак</i>
0	Штиль	Дым идёт вертикально
1	Тихий	Дым идёт слегка наклонно
2	Лёгкий	Ощущается лицом, шелестят листья
3	Слабый	Развеваются флаги
4	Умеренный	Поднимается пыль
5	Свежий	Вызывает волны на воде
6	Сильный	Свистит в вантах, гудят провода
7	Крепкий	На волнах образуется пена
8	Очень крепкий	Трудно идти против ветра
9	Шторм	Срывает черепицу
10	Сильный шторм	Вырывает деревья с корнем
11	Жестокий шторм	Большие разрушения
12	Ураган	Опустошительное действие

Широкое распространение получили шкалы порядка с нанесенными на них реперными точками. К таким шкалам относится шкала Мооса для определения твердости минералов (табл. 2). В ней определенным стандартным минералам от талька до алмаза в порядке возрастания их твердости присвоены целые числа от 1 до 10.

Минералогическая шкала твёрдости

Таблица 2

<i>Балл</i>	<i>Твёрдость</i>
0	Меньше твёрдости талька
1	Равна или больше твёрдости талька, но меньше твёрдости гипса
2	Равна или больше твёрдости гипса, но меньше твёрдости известкового шпата
3	Равна или больше твёрдости известкового шпата, но меньше твёрдости плавикового шпата
4	Равна или больше твёрдости плавикового шпата, но меньше твёрдости апатита

5	Равна или больше твёрдости апатита, но меньше твёрдости полевого шпата
6	Равна или больше твёрдости полевого шпата, но меньше твёрдости кварца
7	Равна или больше твёрдости кварца, но меньше твёрдости топаза
8	Равна или больше твёрдости топаза, но меньше твёрдости корунда
9	Равна или больше твёрдости корунда, но меньше твёрдости алмаза
10	Равна твёрдости алмаза или больше её

Определение значений величин с помощью шкал порядка нельзя считать измерениями, так как на них отсутствуют единицы измерения. Операцию по приписыванию числа требуемой величине следует считать оценением. Оценивание по шкалам порядка является неоднозначным и весьма условным.

### Шкала интервалов

Результат экспериментального сравнения  $i$ -го размера с  $j$ -тым размером по правилу  $Q_i - Q_j < \Delta$  может быть представлен на шкале интервалов. Пример построения шкалы интервалов приведен на рис. 4, где в качестве  $j$ -го размера выбран второй. Если бы для сравнения были выбраны третий или четвертый размеры, то ноль сместился бы выше по шкале интервалов; если бы первый или нулевой – ниже. Таким образом, начало отсчета на шкале интервалов не определено и зависит от выбора размера, с которым производится сравнение. Для обеспечения единства измерений этот размер должен быть общепринятым или установленным законодательно. Так, например, по температурным шкалам Цельсия и Реомюра сравнение ведется с температурой таяния льда, по шкале Фаренгейта – с температурой смеси льда с солью и нашатырем (рис. 5).

На шкалах интервалов уже может быть установлен масштаб. С этой целью, кроме начала отсчета, выбирают еще одну опорную (реперную) точку и разбивают полученный интервал между точками на определенное число делений (градаций – от лат. *gradus* – ступень). В частности, на трех температурных шкалах второй опорной точкой является температура кипения воды при номинальном значении атмосферного давления. На шкале Цельсия интервал между опорными точками разбит на 100 градаций – градусов; на шкале Реомюра – на 80; на шкале Фаренгейта – на 180, при том что по сравнению с предыдущими шкалами начало отсчета сдвинуто на  $32^{\circ}\text{F}$  в сторону низких температур. На шкале Кельвина в качестве второй опорной точки выбрана температура таяния льда, а интервал между реперными точками разбит на 273,16 части с тем, чтобы одна такая часть, называемая

кельвином, в точності равнялась  $1^{\circ}\text{C}$ . Это значительно упрощает переход от одной шкалы к другой.

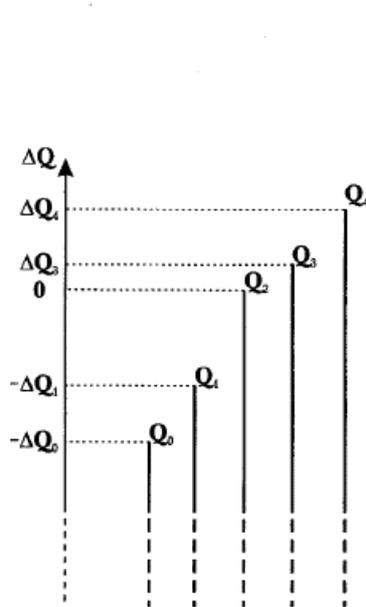


Рис. 4 Построение шкалы интервалов

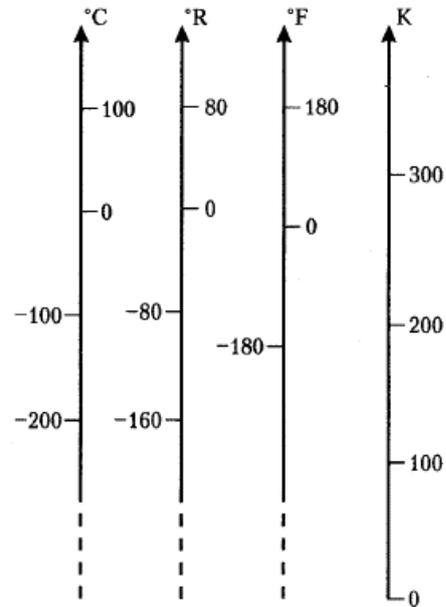


Рис. 5 Температурные шкалы Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ), Реомюра ( $^{\circ}\text{R}$ ), Фаренгейта ( $^{\circ}\text{F}$ ) и Кельвина (К)

Градации являются единицами измерения интервалов между размерами, но не самих размеров физических величин. Само собой разумеется, что в качестве градаций могут использоваться узаконенные единицы измерения физических величин. Выражение интервала в тех или иных единицах измерения называется его значением. Интервалы можно сравнивать между собой как по принципу: на сколько один интервал больше или меньше другого, так и по принципу: во сколько раз. Что же касается размеров физических величин, то по шкале интервалов можно получить только информацию о том, на сколько один размер больше или меньше другого. Если, например, второй размер больше первого на семь градаций, а третий меньше второго на две, то первый меньше третьего на пять градаций.

На шкале интервалов определены только аддитивные математические операции.

Получить информацию о том, во сколько раз один размер больше другого, по шкале интервалов невозможно. Для этого нужно знать сами размеры, сведений о которых на шкале интервалов нет.

Получить информацию о том, во сколько раз один размер больше другого, по шкале интервалов невозможно. Для этого нужно знать сами размеры, сведений о которых на шкале интервалов нет.

Из рассмотренного примера и всего вышесказанного следует, что

- для обеспечения единства измерений на шкале интервалов нужно иметь общепринятое или установленное законодательным путем начало отсчета;
- для решения вопроса о том, во сколько раз один размер больше или меньше другого, нужно знать сами размеры.

К шкалам интервалов относится летоисчисление по различным календарям, в которых за начало отсчета принято, например, сотворение мира либо рождество Христово.

### Шкала отношений

---

Шкала отношений служит для представления результатов измерений, полученных посредством экспериментального сравнения  $i$ -го размера с  $j$ -м по

правилу  $\frac{Q_i}{Q_j} = x$ . Если в качестве  $j$ -го размера выбран размер узаконенной

единицы измерения  $[Q]$ , то на шкале отношений откладывается числовое значение  $q$  измеряемой величины, которое показывает, во сколько раз ее размер -  $Q$  больше размера единицы измерения  $[Q]$ :

$$q = \frac{Q}{[Q]}$$

В этих шкалах существует однозначный естественный критерий нулевого количественного проявления свойства и единица измерений, установленная по соглашению. С формальной точки зрения эта шкала является шкалой интервалов с естественным началом отсчета. К значениям, полученным по шкале отношений, применимы все арифметические действия, что имеет важное значение при измерении физических величин.

Шкалы отношений являются самыми совершенными, самыми информативными и самыми распространенными. На них представлена информация о самих размерах физических величин, в частности об их значениях. Это позволяет решать и на сколько, и во сколько раз один размер больше или меньше другого.

|| На шкалах отношений определены любые математические операции.

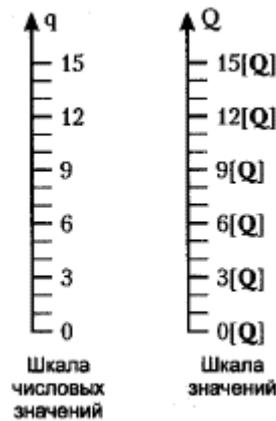


Рис. 6. Шкалы отношений

Можно ли измерить время?

Нет, так как нет начала отсчета. Можно измерить лишь интервал времени. В зависимости от его продолжительности он может быть разделен на меньшие интервалы и выражен в веках, годах, месяцах, днях, часах, минутах или узаконенных единицах измерения – секундах.

Можно ли измерить температуру?

Да, так как известно начало отсчета – абсолютный ноль температуры, при котором прекращается тепловое движение молекул. Узаконенной единицей измерения температуры является кельвин.

Можно ли измерить пространство?

Нет, так как нет начала отсчета. Можно измерить лишь расстояние (интервал) между двумя точками пространства. Узаконенной единицей измерения длины является метр.

Можно ли измерить вес?

Да, так как известно начало отсчета. Ему соответствует отсутствие взвешиваемого предмета.

Можно ли измерить плоский угол?

Да, так как известно начало отсчета. Ему соответствует параллельность образующих линий.

### **Абсолютные шкалы**

Процесс ужесточения (усиления) шкал приводит к понятию абсолютной шкалы, которая устанавливает однозначное (единственно возможное) соответствие между объектами и числами. Иначе говоря, абсолютные шкалы обладают всеми признаками шкал отношений, но дополнительно имеют естественное однозначное определение единицы измерения и соответственно не зависят от принятой системы единиц измерения.

Абсолютная шкала может использоваться для измерения относительных величин. Действительно, такие величины, как коэффициент усиления или затухания, коэффициент трения, коэффициент полезного действия, добротность колебательной системы, вероятность, относительная частота появления события в серии испытаний и т. п. выражаются отвлеченными числами, не зависящими от выбора единиц, а при измерении этих величин не требуется эталонов. Свойствами относительных величин обладают также геометрические и фазовые углы. Относительные величины могут выражаться в безразмерных единицах (когда отношение двух одноименных величин равно 1), в процентах % (когда отношение равно  $10^{-2}$ ), промилле ‰ (отношение равно  $10^{-3}$ ) или в миллионных долях *ppm* (*parts per million* отношение равно  $10^{-6}$ ).

Особый интерес представляет группа величин с ограниченными шкалами (такие, как коэффициент полезного действия, вероятность). Их значения могут находиться только в пределах от 0 до 1, причем конечные точки этого диапазона физически как бы бесконечно удалены, недостижимы (на практике это обстоятельство вынуждает перейти к логарифмическим оценкам вблизи этих точек).

Логарифмическая величина представляет собой логарифм безразмерного отношения двух одноименных физических величин. Логарифмические величины применяют для выражения уровня звукового давления, усиления, ослабления, выражения частотного интервала и т.д. Единицей логарифмической величины является бел (Б), определяемый соотношением  $1Б = \lg \frac{P_2}{P_1}$ , где  $P_1$  и  $P_2$  – одноименные энергетические величины мощности, энергии, плотности энергии и т.д. Дольной единицей от бела является децибел, равный 0,1 Б.

### Контрольные вопросы по теме

---

1. Что является количественной характеристикой измеряемой величины?
2. Дайте определение понятию "Значение физической величины".
3. Запишите основное уравнение измерения.
4. Что называется единицей физической величины?
5. Как Вы понимаете термин "априори"?
6. Какая информация называется априорной?
7. Сформулируйте первую аксиому метрологии?
8. Как можно объяснить причину существования первой аксиомы метрологии?
9. Правильно ли утверждать, что измерение – это уточнение значения измеряемой величины? Объясните свою точку зрения.
10. Сформулируйте вторую аксиому метрологии?
11. В чем состоит измерение? В чем суть измерения?
12. Какие существуют варианты сравнения двух размеров?
13. Кай вариант сравнения размеров является самым простым и наименее информативным?
14. Кай вариант сравнения размеров является наиболее информативным?
15. Как определяется понятие «шкала физической величины»?
16. Согласно теории измерений шкала представляет собой "отображение". О каком отображении идет речь?
17. Перечислите пять основных типов шкал измерений.
18. Какие шкалы являются метрическими, а какие шкалы являются неметрическими?
19. Какое измерение называют номинальным?
20. Что можно установить в результате номинального измерения?
21. Какой тип отношений между объектами предает шкала наименований?
22. Приведите примеры шкал наименований, применяемых в науке.
23. Приведите примеры шкал наименований, применяемых в медицине.
24. Приведите примеры шкал наименований, применяемых в технике.
25. Какие отношения между величинами позволяет устанавливать шкала порядка?
26. К какой из шкал можно применить понятие масштаба?
27. Приведите примеры шкал порядка.
28. В каких шкалах определяются операции сложения?
29. Приведите примеры шкал интервалов.
30. На каких шкалах определены все математические операции?
31. На каких шкалах ноль устанавливается на основе естественных свойств физических величин?

32. На каких шкалах ноль устанавливается на основе соглашения?
33. На каких шкалах единица измерений устанавливается на основе соглашения?
34. На каких шкалах единица измерений устанавливается на основе естественных свойств физических величин?
35. Считается, что нельзя измерить абсолютное время. Почему?
36. Считается, что нельзя измерить протяженность пространства. Почему?

## Лекція № 3

**Тема:** Системы единиц измерения физических величин.

**Оглавление**

Определение системы физических величин и единиц.....	3
Существующие системы единиц.....	3
СГС .....	3
Электромагнитная система СГСМ, электростатическая система СГСЭ .....	4
Практическая система МКС.....	4
Система МКСА.....	4
МКГСС.....	4
Переход к международной системе единиц.....	4
Международная система единиц СИ .....	5
Основные единицы .....	6
Производные единицы СИ.....	7
Системные и внесистемные единицы физических величин.....	9
Кратные и дольные единицы ФВ .....	11
Достоинства Международной системы единиц.....	12
Перевод результатов измерений из одной системы измерения в другую .....	13
Контрольные вопросы по теме .....	14

**Источники:**

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
3. ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.

4. ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.
5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»  
<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

## Определение системы физических величин и единиц

---

Система физических величин – это совокупность физических величин (ФВ), связанных между собой зависимостью. Для удобства и однозначности условно считается, что в системе величин есть группа величин, независимых друг от друга.

*Основная физическая величина* – это физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы. *Производная физическая величина* – это физическая величина, входящая в систему, и определяемая через основные величины.

Каждая физическая величина в системе единиц имеет свою размерность. Размерность – это выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в котором коэффициент пропорциональности принят как единица. Основные величины выбираются обосновано, но в общем произвольным образом. Производные величины выражаются через основные на основе известных уравнений связи между ними.

Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, называется *системой единиц физических величин*.

## Существующие системы единиц

---

Унификация единиц измерений, получившая с созданием метрической системы мощный импульс, в дальнейшем сменилась появлением и распространением многочисленных и разнообразных систем единиц. В начале XX в. насчитываюсь до двух десятков различных систем единиц. Наиболее известные и широко использовавшиеся системы следующие:

### **СГС**

В данной системе основными единицами измерения являются: сантиметр – грамм – секунда. Основными производными единицами, довольно часто встречающимися в науке и технике, являются:

- единица силы – дина,  $\text{г}\cdot\text{см}/\text{с}^2$ ;
- единица энергии – эрг,  $\text{г}\cdot\text{см}^2/\text{с}^2$ ;
- единица мощности – эрг/с,  $\text{г}\cdot\text{см}^2/\text{с}^3$ ;
- единица давления – бария,  $\text{дин}/\text{см}^2$ ,  $\text{г}/(\text{см}\cdot\text{с}^2)$ ;
- единица динамической вязкости – пуаз,  $\text{г}/(\text{см}\cdot\text{с})$ ;
- единица кинематической вязкости – стокс,  $\text{см}^2/\text{с}$ ;

## ***Электромагнитная система СГСМ, электростатическая система СГСЭ***

Эти системы являются развитием системы СГС и включают в себя единицы измерения физических величин электромагнитной природы. Наиболее известные величины этих систем:

- единица магнитной индукции – Гаусс
- единица напряженности магнитного поля – Эрстед
- единица магнитного потока – Максвелл

### ***Практическая система МКС***

Основные единицы: метр – килограмм – секунда

### ***Система МКСА***

Основные единицы: метр – килограмм – секунда – ампер

### ***МКГСС***

Основные единицы: метр – килограмм-сила – секунда

## **Переход к международной системе единиц**

---

В начале и первой половине XX века проблема унификации единиц стала как никогда актуальной.

Вопрос о создании единой Международной системы единиц впервые был поднят еще в 1913 г. на V Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ), но практические работы в этой области начались лишь в середине XX в.

В 1948 г. на IX ГКМВ было рассмотрено предложение о принятии Международной практической системы с основными единицами – метром, килограммом, секундой и одной из практических электрических единиц.

В 1954 г. на X ГКМВ было решено, что международная система должна быть универсальна, т.е. охватывать все области измерений, и в качестве ее основных единиц следует принять метр, килограмм, секунду, ампер, градус Кельвина и свечу (канделу).

Наконец, в 1960 г. XI ГКМВ приняла решение:

- присвоить системе, основанной на шести основных единицах, наименование «Международная система единиц»;
- установить международное сокращенное наименование этой системы «SI» (от начальных букв Systeme International);
- ввести таблицу приставок для образования кратных и дольных единиц.

Международная система продолжала совершенствоваться и развиваться. Так, была добавлена седьмая основная единица – моль (единица измерения количества вещества). Кроме того, наименование «градус Кельвина» было

заменено наименованием «Кельвин» и дано новое определение единице измерения времени (секунде).

Система СИ – единственная система единиц физических величин, которая принята и используется в большинстве стран мира. Система СИ состоит из 7 основных, 2 дополнительных и ряда производных единиц. На территории нашей страны система единиц СИ действует с 1 января 1982 г. в соответствии с ГОСТ 8.417–81 «ГСИ. Единицы физических величин». Она возникла как логическое развитие предшествовавших ей систем единиц: СГС, МКГСС, МКС основные единицы: метр – килограмм – секунда и др. В настоящее время в Украине действуют следующие стандарты, которые определяют систему единиц физических величин в полном соответствии с системой СИ:

- ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.
- ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.

Международными стандартами в области систем физических величин являются стандарты серии ISO 31. В настоящее время идет совершенствование этих стандартов и их замена новой серией ISO/IEC 80000. Часть стандартов серии ISO 31 еще продолжают действовать, часть уже заменена на стандарты серии ISO/IEC 80000.

### **Международная система единиц СИ**

---

Единицы СИ должны применяться во всей вновь разрабатываемой технической документации и в публикациях, а также в учебных процессах всех учебных заведений, в учебниках и учебных пособиях. Оговорено применение и некоторых единиц, не входящих в СИ.

Стандарт не распространяется на единицы, применяемые в научных исследованиях и при публикациях их результатов, если в них не рассматриваются и не используются результаты измерений определенных физических величин, а также на единицы величин, оцениваемых по условным шкалам (например, шкалы твердости Роквелла и Виккерса, светочувствительности фотоматериалов и др.).

В настоящее время Международную систему составляют следующие единицы величин:

- 1) семь основных (табл. 1, табл. 2);
- 2) производные единицы (табл. 3 – 5);

- 3) 20 абсолютных и 10 относительных внесистемных единиц, допускаемых к применению наравне с единицами СИ (табл. 6; 7);
- 4) восемь внесистемных единиц, временно допускаемых к применению (табл. 8).

### Основные единицы

Основные единицы Международной системы СИ приведены в таблице 1, а их определение в таблице 2.

Основные единицы ФВ системы СИ

Таблица 1

№ п/п	Физическая величина			Единица измерения ФВ		
	Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение	
				рус. укр.	международное	
<b>Основные</b>						
1	Длина	L	<i>l</i>	метр	м	m
2	Масса	M	<i>m</i>	килограмм	кг	kg
3	Время	T	<i>t</i>	секунда	с	s
4	Сила электрического тока	I	<i>I</i>	ампер	A	A
5	Термодинамическая температура	Θ	T	кельвин	K	K
6	Количество вещества	N	<i>n, ν</i>	моль	моль	mol
7	Сила света	J	<i>J</i>	кандела	кд	cd
<b>Дополнительные</b>						
	Плоский угол	–	–	радиан	рад	rad
	Телесный угол	–	–	стерадиан	ср	sr

Определение основных единиц ФВ системы СИ

Таблица 2

Наименование	Определение
Длина	Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ с [XVII ГКМВ (1983 г.), резолюция 1]
Масса	Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма [I ГКМВ (1889 г.) и III ГКМВ (1901 г.)]
Время	Секунда есть время, равное $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 [XIII ГКМВ (1967 г.), резолюция I]
Электрический ток (сила электрического тока)	Ампер есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным 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 [МКМВ (1946 г.), резолюция 2, одобренная IX ГКМВ (1948 г.)]

Термодинамическая температура	Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды [XIII ГКМВ (1967 г.), резолюция 4]
Количество вещества	Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицам или специфицированными группами частиц [XIV ГКМВ(1971 г.), резолюция 3]
Сила света	Кандела есть сила 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 [XVI ГКМВ (1979 г.), резолюция 3]

### Производные единицы СИ

**Производная единица системы единиц** – это единица производной ФВ системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами или же с основными и уже определенными производными единицами.

Примеры производных единиц СИ, образованных с использованием основных единиц СИ, приведены в табл. 3. Примеры производных единиц СИ, имеющих специальное название, приведены в табл. 4.

Примеры производных единиц СИ, наименования которых Таблица 3 образованы из наименований основных единиц

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское, украинское
Площадь	квадратный метр	$m^2$	$m^2$
Скорость	метр в секунду	$m/s$	$m/c$
Ускорение	метр на секунду в квадрате	$m/s^2$	$m/c^2$
Плотность	килограмм на кубический метр	$kg/m^3$	$кг/м^3$
Плотность электрического тока	ампер на квадратный метр	$A/m^2$	$A/м^2$
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	$A/m$	$A /м$
Молярная концентрация компонента	моль на кубический метр	$mol/m^3$	моль/ $m^3$
Яркость	кандела на квадратный метр	$cd/m^2$	кд/ $m^2$

Производные единицы системы СИ, имеющие специальное название

Таблица 4

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение через единицы СИ
Частота	$T^{-1}$	герц	Гц	$s^{-1}$
Сила, вес	$LM T^{-2}$	ньютон	Н	$mkgs^{-2}$
Давление, механическое напряжение	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Па	$m^{-1}kgs^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	$L^2MT^{-2}$	джоуль	Дж	$m^2kgs^{-2}$
Мощность	$L^2MT^{-3}$	ватт	Вт	$m^2kgs^{-3}$
Количество электричества	$TI$	кулон	Кл	$sA$
Электрическое напряжение, потенциал, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	В	$m^2kgs^{-3}A^{-1}$
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	Ф	$m^{-2}kg^{-1}s^4A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ом	$m^2kgs^{-3}A^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	См	$m^{-2}kg^{-1}s^3A^2$
Поток магнитной индукции	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Вб	$m^2kgs^{-2}A^{-1}$
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	Тл	$kg s^{-2} A^{-1}$
Индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	Гн	$m^2kgs^{-2}A^{-2}$
Световой поток	$J$	люмен	лм	$cd sr$
Освещенность	$L^{-2}J$	люкс	лк	$m^{-2}cd sr$
Активность радионуклида	$T^{-1}$	беккерель	Бк	$s^{-1}$
Поглощенная доза ионизирующего излучения	$L^2T^{-2}$	грей	Гр	$m^2s^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	$L^2T^{-2}$	зиверт	Зв	$m^2s^{-2}$

Примеры производных единиц СИ, наименования которых образованы с использованием наименований, приведенных в табл. 4

Таблица 5

Величина	Единица			Выражение через основные единицы СИ
	Наименование	Обозначение	русское	
Момент силы	ньютон-метр	$N \cdot m$	Н · м	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Динамическая вязкость	паскаль-секунда	$Pa \cdot s$	Па · с	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
Плотность заряда (пространственная)	кулон на кубический метр	$C/m^3$	Кл/м <sup>3</sup>	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
Электрическое смещение	кулон на квадратный метр	$C/m^2$	Кл/м <sup>2</sup>	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
Напряженность электрического поля	вольт на метр	$V/m$	В/м	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Диэлектрическая проницаемость	фарад на метр	$F/m$	Ф/м	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^{-2}$
Магнитная проницаемость	генри на метр	$H/m$	Гн/м	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$

### **Системные и внесистемные единицы физических величин**

Единицы ФВ делятся на системные и внесистемные. *Системная единица* – единица ФВ, входящая в одну из принятых систем. Все основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными. *Внесистемная единица* – это единица ФВ, не входящая ни в одну из принятых систем единиц. Внесистемные единицы разделяют на четыре вида:

1. Допускаемые наравне с единицами СИ, например: единица массы – тонна; единицы плоского угла – градус, минута, секунда; единица объема – литр и др. Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ, приведены в таблице 6.

2. Допускаемые к применению в специальных областях, к которым относятся: единицы длины (в астрономии) – астрономическая единица, парсек, световой год; единица оптической силы (в оптике) – диоптрия; единица энергии (в физике) – электрон-вольт, приведены в таблице 7.

3. Временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ, например: в морской навигации – морская миля; в ювелирном деле единица массы – карат и др. Эти единицы должны изыматься из употребления в соответствии с международными соглашениями (таблица 8).

4. Изъятые из употребления, к ним относятся единицы давления – миллиметр ртутного столба; единица мощности – лошадиная сила и др.

Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ Таблица 6

Величина	Единица				
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ	Область применения
		международное	русское		
Масса	тонна	T	T	$1 \cdot 10^3 \text{ kg}$	Все области
	атомная единица массы	U	а.е.м.	$1,660502 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	Атомная физика
Время	минута	Min	мин	60 s	Все области
	час	H	ч	3 600 s	
	сутки	D	сут	86 400 s	
Плоский угол	градус	...°	... °	$(\pi/180) \text{ rad}$	То же
	минута	...'	...'	$(\pi/10\ 800) \text{ rad}$	
	секунда	...''	...''	$(\pi/648\ 000) \text{ rad}$	
	град (гон)	gon	град	$(\pi/200) \text{ rad}$	Геодезия

Объем, вместимость	литр	L	л	$1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$	Все области
Длина	астрономическая единица	Ua	а.е.	$1,49598 \cdot 10^{11} \text{ m}$	Астрономия
	световой год	Ly	св.год	$9,4605 \cdot 10^{15} \text{ m}$	
	парсек	Рс	пк	$3,0857 \cdot 10^{16} \text{ m}$	
Оптическая сила	диоптрия	—	дптр	$1 \text{ m}^{-1}$	Оптика
Площадь	гектар	Ha	га	$1 \cdot 10^4 \text{ m}^2$	Сельское хозяйство
Энергия	электрон-вольт	eV	эВ	$1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ j}$	Физика
	киловатт-час	kW · h	кВт · ч	$3,6 \cdot 10^6 \text{ j}$	Для счетчиков электрической энергии
Полная мощность	вольт-ампер	V · A	В · А		Электротехника
Реактивная мощность	вар	Vaz	вар		То же
Электрический заряд; количество электричества	ампер-час	A · h	А · ч	$3,6 \cdot 10^3 \text{ C}$	То же

*Примечания.* 1. Наименования и обозначения единиц времени (минута, час, сутки), плоского угла (градус, минута, секунда), астрономической единицы, диоптрии и атомной единицы массы не допускается применять с приставками.

2. Допускается также применять другие единицы времени, получившие широкое распространение, например, неделя, месяц, год, век, тысячелетие.

**Внесистемные относительные и логарифмические Таблица 7**  
**величины и их единицы, постоянно допускаемые к применению**  
**наравне с единицами СИ**

Величина	Наименование	Обозначение		Значение
		международное	русское	
Относительная величина; КПД; относительное удлинение; относительная плотность; деформация; относительная диэлектрическая и магнитная проницаемость; магнитная восприимчивость и др.	единица	1	1	1
	процент	%	%	$1 \cdot 10^{-2}$
	промилле	‰	‰	$1 \cdot 10^{-3}$
	миллионная доля	ppm	млн <sup>-1</sup>	$1 \cdot 10^{-6}$
Логарифмическая величина; уровень звукового давления; усиление; ослабление и др.	бел	В	Б	$1В = \lg(P_2/P_1)$ при $P_2 = 10P_1$ ; $1В = 2\lg(F_2/F_1)$ при $F_2 = \sqrt{10}F_1$ , где $P_1, P_2$ — мощность, энергия и т. п.; $F_1, F_2$ — напряжение, сила тока и др.
	децибел	dB	дБ	0,1 В
Логарифмическая величина; уровень громкости	фон	phon	фон	1 фон равен уровню громкости звука, для которого уровень звукового давления равногромкого с ним звука частотой 1 000 Гц равен 1 дБ (1фон = 1дБ при $f = 1 000$ Гц)
Логарифмическая величина; частотный интервал	октава	—	окт	1 октава равна $\log_2(f_2/f_1)$ при $(f_2/f_1) = 2$
	декада	—	дек	1 декада равна $\lg(f_2/f_1)$ при $(f_2/f_1) = 10$ , где $f_2, f_1$ — частоты
Логарифмическая величина (натуральный логарифм безразмерного отношения физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную)	непер	Нр	Нп	1 Нп = 0,8686...Б 1 Нп = 8,686... дБ

**Внесистемные единицы, временно допускаемые к Таблица 8**  
**применению наравне с единицами СИ**

Измеряемая величина	Наименование единицы	Единица			Применение
		Обозначение		Соотношение с единицей СИ	
		международное	русское		
Длина	морская миля	n mile	миля	1 852 м	В морской навигации
Масса	карат	—	кар	$2 \cdot 10^{-4}$ кг	Для драгоценных камней и жемчуга
Линейная плотность	текс	tex	текс	$1 \cdot 10^{-6}$ кг/м	В текстильной промышленности
Скорость	узел	kn	уз	0,514 м/с	В морской навигации
Частота вращения	оборот в секунду	r/s	об/с	$1 \text{ с}^{-1}$	Электротехника
	оборот в минуту	r/min	об/мин	$0,016 \text{ с}^{-1}$	
Давление	бар	bar	бар	$1 \cdot 10^5$ Па	Физика
Ускорение	гал	Gal	Гал	$0,01 \text{ м/с}^2$	Гравиметрия

### **Кратные и дольные единицы ФВ**

Различают кратные и дольные единицы ФВ. *Кратная единица* – это единица ФВ, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы. *Дольная единица* – единица ФВ, в целое число раз меньшая системной или

внесистемной единицы. Приставки для образования кратных и дольных единиц СИ приведены в таблице 9.

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований Таблица 9

Множитель	Приставка	Обозначение приставки		Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
$10^{18}$	экса	E	Э	$10^{-1}$	деци	d	д
$10^{15}$	пета	P	П	$10^{-2}$	сантим	c	с
$10^{12}$	тера	T	Т	$10^{-3}$	милли	m	м
$10^9$	гига	G	Г	$10^{-6}$	микро	$\mu$	мк
$10^6$	мега	M	М	$10^{-9}$	нано	n	н
$10^3$	кило	k	к	$10^{-12}$	пико	p	п
$10^2$	гекто	h	г	$10^{-15}$	фемто	f	ф
$10^1$	дека	Da	да	$10^{-18}$	атто	a	а

### Достоинства Международной системы единиц

СИ – универсальна. Она охватывает почти все области физических явлений и почти все отрасли народного хозяйства.

Построение СИ отвечает современному уровню метрологии – оптимальный выбор основных единиц и, в частности, их числа и размеров, согласованность производных единиц, образование кратных и дольных единиц посредством десятичных приставок и некоторые другие положения.

Международной системе присуща достаточная гибкость. Она допускает применение и некоторого числа внесистемных единиц. Это живая и развивающаяся система. Так, например, число основных единиц сравнительно недавно увеличено с шести до семи и может быть еще увеличено, если это будет необходимо для охвата какой-либо дополнительной области явлений. В будущем не исключено также смягчение некоторых действующих в СИ регламентирующих правил.

Международная система призвана стать повсеместно применяемой единственной системой единиц физических величин. Унификация единиц представляет давно назревшую необходимость. Уже сейчас СИ принята в большинстве стран мира и сделала ненужными многочисленные системы единиц, котировавшиеся еще несколько десятилетий назад.

Международная система единиц признана многими влиятельными международными организациями, включая Организацию Объединенных Наций (ООН). Среди признавших СИ – Международная организация по стандартам

(ИСО), Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), Международная электротехническая комиссия (МЭК), Международный союз фундаментальной и прикладной физики и др.

### **Перевод результатов измерений из одной системы измерения в другую**

---

При работе с технической и научной литературой, выпущенной в зарубежных странах или до ввода в действие системы СИ, возникает потребность выполнения перехода от одной системы измерения к другой. Чаще всего необходимо перейти к системе СИ. Для выполнения пересчета пользуются формулами связи между единицами разных систем. Например, если имеется значение силы в динах, то для того, чтобы получить значение силы в ньютонах необходимо значение в динах разделить на 100000, так как  $1\text{Н} = 100000\text{дин}$ . То есть, если в СГС  $F=250000\text{дин}$ , то в СИ сила того же размера  $F=2,5\text{Н}$ .

Для сравнения любых двух величин необходимо, чтобы эти величины были выражены в одних и тех же единицах измерения или, что то же самое, приведены к одной и той же системе единиц измерения физических величин.

## Контрольные вопросы по теме

---

1. Что такое система физических величин?
2. Что такое система единиц физических величин?
3. Как связаны между собой система физических величин и система единиц физических величин?
4. Дайте определение основной физической величины.
5. Дайте определение производной физической величины.
6. Приведите примеры систем единиц физических величин.
7. Назовите примеры: какие единицы физических величин принимались в качестве основных в различных системах?
8. Когда была создана международная система единиц?
9. С какого времени начала действовать система СИ на территории нашей страны?
10. Какими государственными стандартами устанавливается использование системы СИ в Украине?
11. Какие международные стандарты в области систем физических величин Вам известны?
12. Где в соответствии с требованиями стандартов должны применяться единицы системы СИ?
13. Распространяются ли требования стандарта о необходимости применения единиц СИ на научные исследования и публикации?
14. Какие четыре категории физических величин предусматривает Международная система единиц СИ?
15. Сколько основных физических величин предусматривает система СИ?
16. Какие физические величины являются основными в СИ?
17. Что такое производная единица в СИ?
18. Приведите примеры производных единиц СИ.
19. Какие единицы физических величин в СИ называют системными?
20. Какие единицы физических величин в СИ называют внесистемными?
21. Приведите примеры внесистемных единиц, допускаемых к применению наравне с единицами СИ.
22. Приведите примеры внесистемных относительных и логарифмических величин, постоянно допускаемые к применению наравне с единицами СИ.
23. Приведите примеры внесистемных единиц, допускаемых к применению в специальных областях.
24. Приведите примеры внесистемных единиц, временно допускаемых к применению наравне с единицами СИ.
25. Приведите примеры внесистемных единиц, изъятых из употребления.
26. Какие единицы называют кратными?

27. Какие единицы называют дольными?
28. Какие приставки используются для кратных единиц?
29. Приведите примеры кратных единиц.
30. Приведите примеры дольных единиц.
31. Какие приставки используются для дольных величин?
32. В каких случаях возникает необходимость перевода результатов измерений из одной системы единиц физических величин в другую?
33. Каким образом выполняют перевод результатов измерений из одной системы единиц физических величин в другую?

## Лекція № 4

**Тема:** Види и методы измерений**Оглавление**

Виды измерений.....	2
Классификация видов измерений по способу получения числового значения измеряемой величины.....	5
Методы измерений.....	8
Контрольные вопросы по теме .....	10

**Источники:**

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
3. ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.
4. ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.
5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

## Виды измерений

**Вид измерений** – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин. Виды измерений определяются физическим характером измеряемой величины, требуемой точностью измерения, необходимой скоростью измерения, условиями и режимом измерений и т. д. В метрологии существует множество видов измерений, и число их постоянно увеличивается (рис. 1).

Можно, например, выделить виды измерений в зависимости от:

- *цели измерений*: контрольные, диагностические и прогностические, лабораторные и технические, эталонные и поверочные и т. д.;
- *по условиям, определяющим точность результата*, измерения делятся на три класса:

**1. Измерения максимально возможной точности**, достижимой при существующем уровне техники. В этот класс включены все высокоточные измерения и в первую очередь эталонные измерения, связанные с максимально возможной точностью воспроизведения установленных единиц физических величин. Сюда относятся также измерения физических констант, прежде всего универсальных, например, измерение абсолютного значения ускорения свободного падения.

**2. Контрольно-поверочные измерения**, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторого заданного значения. В этот класс включены измерения, выполняемые лабораториями государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов, а также состоянием измерительной техники и заводскими измерительными лабораториями. Эти измерения гарантируют погрешность результата с определенной вероятностью, не превышающей некоторого, заранее заданного значения.

**3. Технические измерения**, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений. Примерами технических измерений являются измерения, выполняемые в процессе производства на промышленных предприятиях, в сфере услуг и др.

- *метода измерений*: непосредственной оценки, сравнения с мерой, противопоставления, дифференциальный, нулевой, замещения (совпадений);
- *по числу измерений величины*:
  - Однократное измерение — измерение, выполненное один раз.

- Многократное измерение — измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, то есть состоящее из ряда однократных измерений
- *реализованной точности при повторении измерений:*
  - Равноточные измерения — ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.
  - Неравноточные измерения — ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.
- *в зависимости от способа выражения результатов измерений* различают абсолютные и относительные измерения.
  - Абсолютными называют измерения, которые основаны на прямых измерениях одной или нескольких основных величин или на использовании значений физических констант. Примерами абсолютных измерений являются: определение длины в метрах, силы электрического тока в амперах, ускорения свободного падения в метрах на секунду в квадрате.
  - Относительными называют измерения, при которых искомую величину сравнивают с одноименной величиной, играющей роль единицы или принятой за исходную. Примерами относительных измерений являются: измерение относительной влажности воздуха, определяемой как отношение количества водяных паров в 1 куб.м воздуха к количеству водяных паров, которое насыщает 1 куб.м воздуха при данной температуре.
- *связи с объектом:* бесконтактные, контактные;
- *степени достаточности измерений:* необходимые, избыточные.
- *по характеру зависимости измеряемой величины от времени* измерения выделяют статические и динамические измерения.
  - Статические – это измерения, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени. Такими измерениями являются, например, измерения размеров изделия, величины постоянного давления, температуры и др.
  - Динамические – это измерения, в процессе которых измеряемая величина изменяется во времени, например, измерение давления и температуры при сжатии газа в цилиндре двигателя.

- *в зависимости от типа применяемых измерительных средств*, различают инструментальный, экспертный, эвристический и органолептический методы измерений.
  - Инструментальный метод основан на использовании специальных технических средств – средств измерения, в том числе автоматизированных и автоматических.
  - Экспертный метод оценки основан на использовании суждений группы специалистов.
  - Эвристические методы оценки основаны на интуиции.
  - Органолептические методы оценки основаны на использовании органов чувств человека.
- *по количеству одновременно измеряемых параметров* оценка состояния объекта может проводиться поэлементными и комплексными измерениями.
  - Поэлементный метод характеризуется измерением каждого параметра изделия в отдельности. Например, эксцентриситета, овальности, огранки цилиндрического вала.
  - Комплексный метод характеризуется измерением суммарного показателя качества, на который оказывают влияние отдельные его составляющие. Например, измерение радиального биения цилиндрической детали, на которое влияют эксцентриситет, овальность и др.; контроль положения профиля по предельным контурам и т. п.
- *по способу преобразования измеряемой величины и форме представления результата измерения* делятся на: аналоговые и цифровые.
  - При аналоговых измерениях измерительный прибор непрерывно преобразует измеряемую величину, результатом которого является перемещение указателя относительно шкалы. Заключение о численном значении величины делает оператор, отмечая положение указателя относительно отметок шкалы прибора.
  - В случае цифровых измерений сравнение физической величины с рядом образцовых значений осуществляется в приборе автоматически, оператор же получает численное значение измеренной величины в цифровой форме.

Существует другой подход к построению классификации видов измерений: при установлении классификация видов измерений в качестве классификационного признака принимается физическая величина. В этом случае классификация должна отвечать следующим требованиям: включать применяемые в стране физические величины; не допускать возможности включения одной и той же измеряемой физической величины в различные виды измерений; однозначно определять принадлежность измеряемой физической величины к тому или иному виду измерений; обеспечивать возможность обработки на ЭВМ измерительной информации о материальных объектах (документации, эталонах, средствах измерений, другой продукции и т.д.). Подобная классификация видов измерений может иметь следующий вид:

1. Измерения геометрических величин
2. Измерения механических величин
3. Измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ
4. Измерения давления, вакуумные измерения
5. Измерения физико-химического состава и свойств веществ
6. Теплофизические и температурные измерения
7. Измерения времени и частоты
8. Измерения электрических и магнитных величин, радиотехнические и радиоэлектронные измерения. В обоснованных случаях этот вид измерений может быть разделен на два вида:
  - 8.1 Измерения электрических и магнитных величин
  - 8.2 Радиотехнические и радиоэлектронные измерения
9. Измерения акустических величин
10. Оптико-физические измерения
11. Измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант

### **Классификация видов измерений по способу получения числового значения измеряемой величины**

---

Наиболее часто используют классификацию видов измерений по способу получения числового значения измеряемой величины. В этом случае все измерения делят на четыре основных вида:

- прямые измерения;
- косвенные измерения;
- совокупные измерения;
- совместные измерения.

*Прямыми* называют измерения, при которых искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Простейшие

примеры прямых измерений: измерение длины линейкой, температуры термометром, электрического напряжения вольтметром и пр. Уравнение прямого измерения:  $y = Cx$ , где  $C$  – цена деления средства измерения. Прямые измерения – основа более сложных видов измерений.

*Косвенными* называют измерения, результат которых определяют на основе прямых измерений величин, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью  $y = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — результаты прямых измерений,  $y$  – измеряемая величина.



Рис. 1 Классификация видов измерений

Пример: объем прямоугольного параллелепипеда определяется по результатам прямых измерений длины в трех взаимно перпендикулярных направлениях: электрическое сопротивление по результатам измерений падения напряжения и силы тока и т.д.

Находить значения некоторых величин легче и проще путем косвенных измерений, чем путем прямых. Иногда прямые измерения невозможно осуществить. Нельзя, например, измерить плотность твердого тела, определяемую обычно по результатам измерений объема и массы. Косвенные измерения некоторых величин позволяют получить значительно более точные результаты, чем прямые.

*Совокупными* называют измерения, в которых значения измеряемых величин находят по данным повторных измерений одной или нескольких



$$R_0(1 + \alpha t_1 + \beta t_1^2) = R_{t_1}$$

$$R_0(1 + \alpha t_2 + \beta t_2^2) = R_{t_2}$$

$$R_0(1 + \alpha t_3 + \beta t_3^2) = R_{t_3}$$

Эти уравнения называются условными. Они представляют зависимость  $R$  от  $t$  при фиксированных значениях  $t$ . Иначе говоря, совместные измерения позволяют получить систему уравнений, связывающих зависимые величины между собой при различных их значениях.

Таким образом, любой процесс измерения представляет собой тот или иной прием сравнения измеряемой величины с величиной, воспроизводимой мерой при использовании различных средств измерений.

## Методы измерений

---

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

**Принцип измерений** – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений (например, использование силы тяжести при измерении массы взвешиванием, или применение эффекта Доплера для измерения скорости).

Прямые измерения – основа более сложных измерений, и поэтому целесообразно рассмотреть методы прямых измерений. Различают:

**1. Метод непосредственной оценки** – метод, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора, например, измерение давления пружинным манометром, массы на весах, силы электрического тока амперметром.

**2. Метод сравнения с мерой (метод сравнения)** метод, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Пример:

- а) измерение массы на рычажных весах с уравновешиванием гирями (мерами массы с известными значениями);
- б) измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с известной ЭДС нормального элемента.

**3. Метод замещения** – метод сравнения с мерой, в которой измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины.

Пример:

Взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов (метод Борда).

**4. Метод измерений дополнением (метод дополнения)** – метод, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению.

**5. Нулевой метод** – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля.

**6. Дифференциальный метод** – метод, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами. Метод характеризуется измерением разности между измеряемой величиной и известной величиной, воспроизводимой мерой. Метод позволяет получить результат высокой точности при использовании относительно грубых средств измерения.

Нулевой метод аналогичен дифференциальному, но разность между измеряемой величиной и мерой сводится к нулю. При этом нулевой метод имеет то преимущество, что мера может быть во много раз меньше измеряемой величины.

Если говорить о методах проведения косвенных измерений, то укажем, что косвенных методов измерения существует очень большое количество. Каждый из методов использует специфические свойства измеряемой величины и обычно носит название того принципа или явления, которые положены в основу способа получения измерительной информации. Для примера приведем классификацию методов измерения высоты уровня жидкости в емкости.



Рис. 2 Пример классификации косвенных методов измерения

## Контрольные вопросы по теме

---

1. Определите термин «вид измерения».
2. Как можно разделить виды измерений в зависимости от цели измерений?
3. Как можно разделить виды измерений по условиям, определяющим точность результата?
4. Какие измерения называют измерениями максимально возможной точности?
5. Какие измерения называют контрольно-поверочными измерениями?
6. Какие измерения относят к техническим измерениям?
7. Вы проводите лабораторную работу и выполняете некоторое измерение. Это измерение можно классифицировать как измерение максимально возможной точности, контрольно-поверочное измерение или техническое измерение?
8. Каким образом классифицируются измерения по числу выполняемых измерений?
9. Какие измерения, по-вашему, встречаются на практике чаще: однократные или многократные?
10. Каким образом классифицируются измерения по реализованной точности при повторении измерений?
11. Какие измерения, по-вашему, встречаются на практике чаще: равноточные или неравноточные?
12. Если измерение однократное, оно может быть неравноточным? Может ли оно быть равноточным?
13. Каким образом классифицируются измерения в зависимости от способа выражения результатов измерений?
14. Как называются измерения, проводимые на расстоянии от объекта?
15. Как, по-вашему, о какой достаточности идет речь при классификации измерений на необходимые и избыточные? Достаточно с какой точки зрения?
16. Какие измерения называют динамическими?
17. Какие измерения называют статическими?
18. Как можно разделить виды измерений в зависимости от типа применяемых измерительных средств?
19. Какая шкала измерений, по-вашему, применяется при проведении экспертной оценки?
20. Что называют органолептическими методами оценки?
21. Какая шкала измерений, по-вашему, применяется при проведении оценки органолептическими методами?
22. Чем отличаются поэлементные измерения от комплексных?

23. Чем отличаются аналоговые измерения от цифровых?
24. Можно ли классифицировать измерения по типу физических величин?
25. Как классифицируют виды измерений по способу получения числового значения измеряемой величины?
26. Какие измерения называют прямыми?
27. Приведите примеры прямых измерений.
28. Какие измерения называют косвенными?
29. Приведите примеры косвенных измерений.
30. Какие измерения называют совокупными?
31. Приведите примеры совокупных измерений.
32. Какие измерения называют совместными?
33. Приведите примеры совместных измерений.
34. Дайте определение понятию метод измерения.
35. Дайте определение понятию принцип измерения.
36. Перечислите известные Вам методы прямых измерений.
37. Приведите пример измерения методом непосредственной оценки.
38. Приведите пример измерения методом сравнения с мерой.
39. Приведите пример измерения методом измерений дополнением.
40. Приведите пример измерения дифференциальным методом.
41. Приведите пример измерения нулевым методом.
42. Каким образом выполняется измерение методом замещения?

## Лекція № 5

**Тема:** Класифікація погрешностей**Оглавление**

Погрешность: основные термины и определения .....	2
Результат измерения. Третья аксиома метрологии. ....	3
Классификация погрешностей.....	5
По характеру проявления.....	5
По способу выражения.....	7
В зависимости от причин возникновения .....	8
По зависимости абсолютной погрешности от значений измеряемой величины .....	9
По влиянию внешних условий .....	10
В зависимости от влияния характера изменения измеряемых величин.....	10
Контрольные вопросы по теме .....	11

**Источники:**

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
3. ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.
4. ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.
5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

## Погрешность: основные термины и определения

Качество средств и результатов измерений принято характеризовать, указывая их погрешности. Введение понятия «погрешность» требует определения и четкого разграничения трех понятий: истинного и действительного значения измеряемой ФВ и результата измерения.

*Истинным* называется значение ФВ, идеальным образом характеризующее свойство данного объекта как в количественном, так и в качественном отношении. Истинное значение величины неизвестно, его применяют только в теоретических исследованиях. Оно не зависит от средств нашего познания. Истинное значение физической величины может быть соотнесено с понятием абсолютной истины. Оно может быть получено только в результате бесконечного процесса измерений с бесконечным совершенствованием методов и средств измерений. На практике это абстрактное понятие приходится заменять понятием «действительное значение».

*Действительным* называется значение ФВ, найденное экспериментально и настолько близкое к истинному, что в поставленной измерительной задаче оно может быть использовано вместо него.

*Результат измерения* представляет собой значение величины, полученное путем измерения.

*Погрешность результата измерения* – это отклонение результата измерения  $X$  от истинного (или действительного) значения  $Q$  измеряемой величины:

$$\Delta X = X - Q \quad (5.1)$$

Она указывает границы неопределенности значения измеряемой величины. Близость к нулю погрешности результата измерения отражает *точность результата измерений*, которая является одной из характеристик качества измерения. Считают, что чем меньше погрешность измерения, тем больше его точность.

*Погрешность средства измерений* – разность между показанием СИ и истинным (действительным) значением измеряемой ФВ. Она характеризует *точность средства измерений* (характеристику качества СИ, отражающую близость его погрешности к нулю). Понятия погрешности результата измерения и погрешности средства измерений во многом близки друг к другу и классифицируются по одинаковым признакам.

### **Результат измерения. Третья аксиома метрологии.**

Совместное влияние множества различных факторов, точный учет которых невозможен, а итог непредсказуем, приводит к тому, что результат измерения оказывается случайным. Это положение может быть сформулировано в виде третьей аксиомы метрологии:

Результат измерения является случайным.

Такое утверждение не является чем-то необычным. Все события в нашей жизни, обусловленные множеством обстоятельств, являются случайными. Вероятность наступления конкретного события может быть высокой или низкой, какой-нибудь другой, но она никогда не равна нулю или единице.

Стохастический характер реальных событий и явлений – закон природы. Этим реальность отличается от теоретических абстракций, где в качестве математических моделей часто используются аналитические зависимости. В случаях, когда элемент случайности в событиях и явлениях проявляется особенно явно, для математического моделирования используется теория вероятностей. Адекватным математическим аппаратом для описания реальных случайных событий и явлений служит математическая статистика.

Третья аксиома метрологии – одно из проявлений всеобщего закона природы. В случайности результата измерения нетрудно убедиться, предложив кому-нибудь измерить периметр здания или внутреннего помещения в нем. При повторных выполнениях измерительной процедуры все время будут получаться разные значения результата измерения, если не проводить при этом округление. В том же самом можно убедиться при измерении мгновенных значений электрического напряжения или силы постоянного электрического тока, если не загроублять показания вольтметра и амперметра.

При измерении по шкале порядка результатом измерения является экспериментальное решение неравенства

$$Q_i \diamond Q_j \quad (5.2)$$

Согласно третьей аксиоме метрологии, оно является случайным. Особенно явно случайный характер решения проявляется при незначительном различии между сравниваемыми размерами. При неоднократном повторении процедуры сравнения в этом случае возможны другие решения. При явном несоответствии сравниваемых размеров случайным характером решения можно пренебречь.

При измерении по шкале интервалов случайным является размер интервала. При повторных выполнениях измерительной процедуры он всякий раз будет получаться несколько иным.

При измерении по шкале отношений случайным является результат сравнения по правилу

$$\frac{Q_i}{Q_j} = x \quad (5.3)$$

При сравнении неизвестного размера  $Q$  с узаконенной единицей измерения  $[Q]$

$$\frac{Q}{[Q]} = x \neq q \quad (5.4)$$

Этим реальная измерительная процедура отличается от ее теоретической модели:

$$q = \frac{Q}{[Q]}, \quad (5.5)$$

которая отражает основное уравнение измерения  $Q = q[Q]$  (лекция 2).

Результат экспериментального сравнения (он называется *отсчетом*) неизвестного размера  $Q$  с узаконенной единицей измерения  $[Q]$  не только не равен неслучайному числовому значению измеряемой величины  $q$ , но имеет совершенно иную физическую природу. Это безразмерное случайное число  $x$ , подчиняющееся тому или иному закону распределения вероятности.

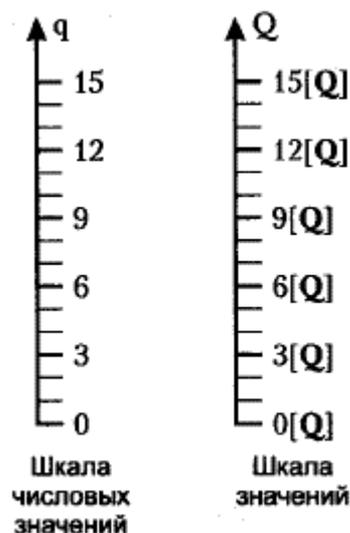


Рис. 5.1 Градуировка шкалы отношений

Отсчетные устройства большинства средств измерений проградуированы не в безразмерных числовых значениях  $q$ , а непосредственно в значениях измеряемой величины (рис. 5.1). Отклик таких средств измерений на входное воздействие называется *показанием*:

$$X = x[Q] \quad (5.6)$$

которое отличается от неслучайного значения  $Q$  физической величины (5.5) тем, что является случайной величиной, подчиняющейся тому же закону распределения вероятности, что и отсчет, но имеющей размерность, совпадающую с размерностью измеряемой величины.

В показания средств измерений могут вноситься поправки, учитывающие влияние тех или иных факторов. В таких случаях только после внесения в показание поправки можно говорить о получении результата измерения. Однако, в любом случае результат измерения остается случайным.

Из третьей аксиомы метрологии вытекает важное следствие:

Результат измерения не имеет конкретного значения.

Ни при каких обстоятельствах, например, нельзя сказать, что результат измерения длины составляет 102,5 см или результат измерения силы тока равен 12,7 А. Это отдельные значения каждого из результатов измерений. Представление же о самих результатах измерений можно составить лишь на основе анализа массивов экспериментальных данных, полученных при измерении длины и силы электрического тока.

## **Классификация погрешностей**

---

### ***По характеру проявления***

По характеру проявления погрешности делятся на случайные, систематические, прогрессирующие и промахи, или грубые погрешности.

***Случайная погрешность*** – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений одного и того же размера ФВ, проведенных с одинаковой тщательностью в одних и тех же условиях. В появлении таких погрешностей, изображенных на рис. 5.2(а), не наблюдается какой-либо закономерности, они обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса получаемых результатов. Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения, однако их можно существенно уменьшить, увеличив число наблюдений. Описание случайных погрешностей возможно только на основе теории случайных процессов и математической статистики. Для получения результата, минимально отличающегося от истинного значения измеряемой

величини, проводять многократные измерения требуемой величины с последующей математической обработкой экспериментальных данных.

**Систематическая погрешность** – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно меняющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ. Постоянная и переменная систематические погрешности показаны на рис. 5.2(б). Их отличительный признак заключается в том, что они могут быть предсказаны, обнаружены и благодаря этому почти полностью устранены введением соответствующей поправки.

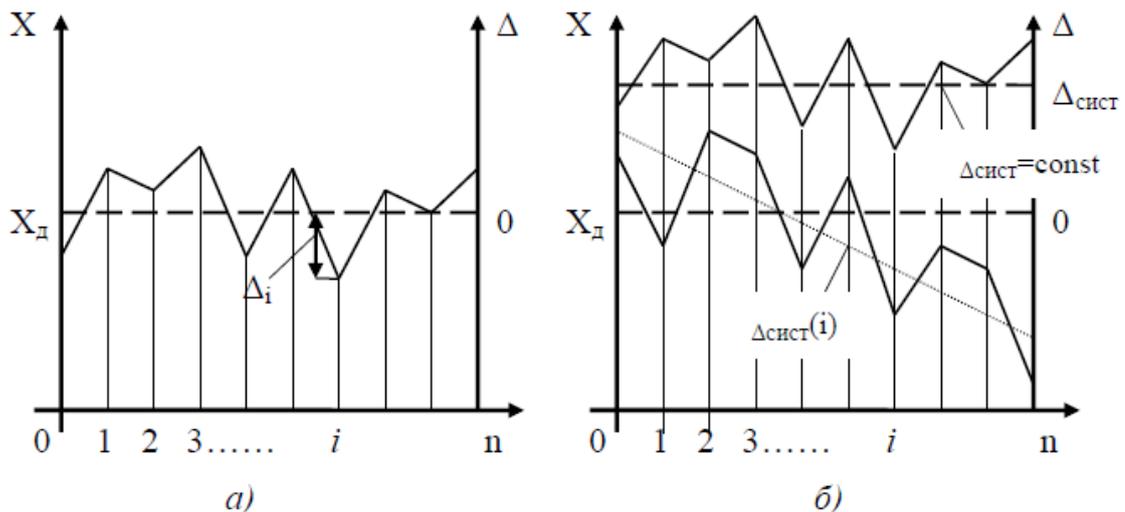


Рис. 5.2. Изменение: а – случайной, б – постоянной и переменной систематических погрешностей от измерения к измерению

Отдельным видом систематической погрешности рассматривается *прогрессирующая (дрейфовая) погрешность* – это непредсказуемая погрешность, медленно меняющаяся во времени. Прогрессирующие погрешности могут быть скорректированы поправками только в данный момент времени, а далее вновь непредсказуемо изменяются. Их изменение во времени представляет собой нестационарный случайный процесс, поэтому в рамках хорошо разработанной теории стационарных случайных процессов они могут быть описаны лишь с известными оговорками.

**Грубая погрешность (промах)** – это случайная погрешность результата отдельного наблюдения, входящего в ряд измерений; для данных условий она резко отличается от остальных результатов этого ряда.



Рис 5.3. Классификация погрешностей

### ***По способу выражения***

По способу выражения различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности.

*Абсолютная погрешность* описується формулою (5.1) і виражається в одиницях вимірюваної величини. Однак вона не може в повній мірі служити показателем точності вимірювань, так як одне і те ж її значення, наприклад,  $\Delta x = 0,05\text{м}$  при  $x = 100\text{м}$ , відповідає достатньо високій точності вимірювань, а при  $x = 1\text{м}$  – низької. Тому і вводиться поняття *відносної погрешності*.

*Относительная погрешность* есть отношение абсолютной погрешности измерения к действительному или измеренному значению измеряемой величины:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x}, \quad \text{или} \quad \delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (5.7)$$

Из этих отношений находят относительную погрешность в долях измеряемой величины или процентах. Эта наглядная характеристика точности результата измерения (считают, что чем меньше погрешность измерения, тем больше его точность) не годится для нормирования погрешности СИ, так как при изменении значений  $x$ , относительная погрешность принимает различные значения вплоть до бесконечности при  $x=0$ . В связи с этим для указания и нормирования погрешности СИ используется еще одна разновидность погрешности – приведенная.

*Приведенная погрешность средства измерений* – это относительная погрешность, в которой абсолютная погрешность СИ отнесена к условно принятому значению  $x_N$ , постоянному во всем диапазоне измерений или его части:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N}, \quad \text{или} \quad \gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100\% \quad (5.8)$$

Условно принятое значение  $x_N$  называют *нормирующим*. Чаще всего за него принимают верхний предел измерений данного СИ, применительно к которым и используется главным образом понятие «приведенная погрешность». Приведенную погрешность обычно выражают в процентах.

### ***В зависимости от причин возникновения***

В зависимости от причин возникновения различают инструментальные погрешности измерения, погрешности метода измерений, погрешности из-за изменения условий измерения и субъективные погрешности измерения.

*Инструментальная погрешность измерения* обусловлена погрешностью применяемого СИ. Иногда эту погрешность называют *аппаратурной*.

*Погрешность метода измерений (методическая погрешность)* – составляющая систематической погрешности измерений из-за несовершенства принятого метода измерений, эта погрешность обусловлена: отличием принятой модели объекта измерения от модели, адекватно описывающей его свойство, которое определяется путем измерения; влиянием способов применения СИ. Это имеет место, например, при измерении

напряжения вольтметром с конечным значением внутреннего сопротивления. В таком случае вольтметр шунтирует участок цепи, на котором измеряется напряжение, и оно оказывается меньше, чем было до присоединения вольтметра; влиянием алгоритмов (формул), по которым производятся вычисления результатов измерений. Вследствие упрощений, принятых в уравнениях для измерений, нередко возникают существенные погрешности, для компенсации действия которых следует вводить поправки. Иногда погрешность метода называют *теоретической погрешностью*; влиянием других факторов, не связанных со свойствами используемых СИ. Отличительной особенностью погрешностей метода является то, что они не могут быть указаны в документации на используемое СИ, поскольку от него не зависят; их должен определять оператор в каждом конкретном случае. В связи с этим оператор должен четко различать фактически измеряемую им величину и величину, подлежащую измерению. Иногда погрешность метода может проявляться как случайная.

*Погрешность (измерения) из-за изменения условий измерения* – это составляющая систематической погрешности измерения, являющаяся следствием неучтенного влияния отклонения в одну сторону какого-либо из параметров, характеризующих условия измерений, от установленного значения. Этот термин применяют в случае неучтенного или недостаточно учтенного действия той или иной влияющей величины (температуры, атмосферного давления, влажности воздуха, напряженности магнитного поля, вибрации и др.); неправильной установки средств измерений, нарушения правил их взаимного расположения и др.

*Субъективная (личная) погрешность измерения* обусловлена погрешностью отсчета оператором показаний по шкалам СИ, диаграммам регистрирующих приборов. Она вызвана состоянием оператора, его положением во время работы, несовершенством органов чувств, эргономическими свойствами СИ.

### ***По зависимости абсолютной погрешности от значений измеряемой величины***

По зависимости абсолютной погрешности от значений измеряемой величины различают погрешности:

- *аддитивные*  $\Delta_a$ , не зависящие от измеряемой величины;
- *мультипликативные*  $\Delta_m$ , которые прямо пропорциональны измеряемой величине, и
- *нелинейные*  $\Delta_n$ , имеющие нелинейную зависимость от измеряемой величины.

Эти погрешности применяют в основном для описания метрологических характеристик СИ. Такое их разделение весьма существенно при решении вопроса о нормировании и математическом описании погрешностей СИ.

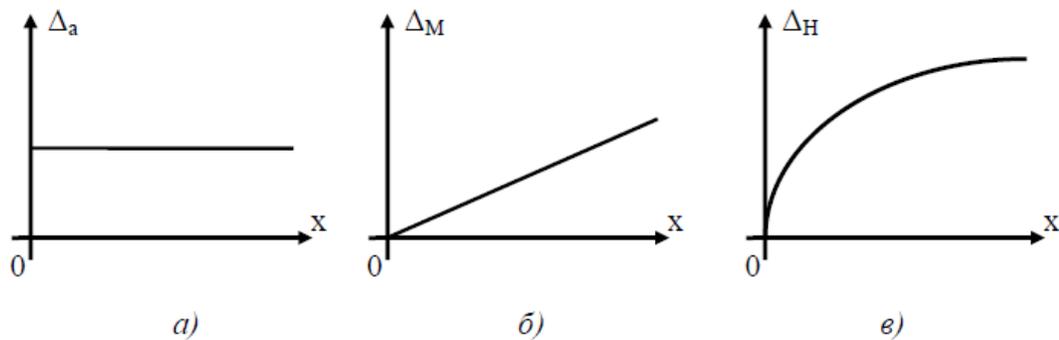


Рис.5.4. Аддитивная (а), мультипликативная (б) и нелинейная (в) погрешности

### ***По влиянию внешних условий***

По влиянию внешних условий различают основную и дополнительную погрешности СИ.

*Основная погрешность средства измерений* – погрешность СИ, применяемого в нормальных условиях. Для каждого средства оговариваются условия эксплуатации, при которых нормируется его погрешность.

*Дополнительная погрешность средства измерений* – составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности, вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

### ***В зависимости от влияния характера изменения измеряемых величин***

В зависимости от влияния характера изменения измеряемых величин погрешности СИ делят на статические и динамические.

*Статической* называется погрешность средства измерений, применяемого для измерения ФВ, принимаемой за неизменной.

*Динамической* называется погрешность СИ, возникающая дополнительно при измерении изменяющейся (в процессе измерений) ФВ. Динамическая погрешность СИ обусловлена несоответствием его реакции на скорость (частоту) изменения измеряемого сигнала.

### Контрольные вопросы по теме

---

1. Какое значение называют истинным значением физической величины?
2. Почему невозможно получить истинное значение физической величины?
3. Какое значение называют действительным значением физической величины?
4. Чем отличаются истинное и действительное значения физической величины?
5. Что называется результатом измерения?
6. Что называется погрешностью результата измерения?
7. Через какие параметры выражается погрешность результата измерения? Что указывает погрешность?
8. Как связаны понятия точность результата измерения и погрешность результата измерения?
9. Дайте определение понятию погрешность средства измерения.
10. Является ли результат измерения детерминированной величиной?
11. Сформулируйте третью аксиому метрологии.
12. Система обнаружения пожара классифицирует состояние объекта как "пожар" или "норма". В чем состоит погрешность измерения в данном случае?
13. Что называется отсчетом?
14. Что называется показанием?
15. В чем отличие показания от отсчета?
16. Что такое погрешность результата измерений?
17. Как разделяются погрешности измерения по характеру проявления?
18. Дайте определение случайной погрешности.
19. Дайте определение систематической погрешности.
20. Дайте определение грубой погрешности.
21. Что такое абсолютная погрешность?
22. Что такое относительная погрешность?
23. Что такое приведенная погрешность?
24. Как по-другому называют инструментальную погрешность? Почему?
25. Дайте определение методической погрешности.
26. Приведите пример методической погрешности.
27. Что такое субъективная погрешность измерения?
28. Чем отличаются аддитивные погрешности от мультипликативных?
29. Как различают погрешности по зависимости абсолютной погрешности от значений измеряемой величины?
30. Чем отличается дополнительная погрешность от основной?
31. В каких случаях появляется динамическая погрешность?

32. В каком случае динамическую погрешность можно классифицировать как дополнительную?

## Лекція № 6

**Тема:** Систематические погрешности**Оглавление**

Систематические погрешности и их классификация .....	3
Основные способы обнаружения и устранения систематических погрешностей.....	5
Метод измерений замещением .....	5
Метод противопоставления .....	6
Метод компенсации погрешности .....	7
Метод рандомизации .....	8
Устранение переменных и монотонно изменяющихся систематических погрешностей .....	8
Анализ знаков неисправленных случайных погрешностей .....	8
Графический метод.....	8
Метод симметричных наблюдений.....	9
Специальные статистические методы устранения систематических погрешностей.....	10
Исключение систематических погрешностей путем введения поправок .....	10
Контрольные вопросы по теме .....	12

**Источники:**

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
3. ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.
4. ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.

5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»  
<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

## Систематические погрешности и их классификация

Систематическая погрешность представляет собой определенную функцию влияющих факторов, состав которых зависит от физических, конструктивных и технологических особенностей СИ, условий их применения, а также от индивидуальных качеств наблюдателя. В метрологической практике при оценке систематических погрешностей должно учитываться влияние следующих основных составляющих процесса измерения:

1. Объект измерения перед измерением должен быть достаточно хорошо изучен с целью корректного выбора его модели. Чем полнее модель соответствует объекту, тем точнее могут быть получены результаты измерения.

2. Субъект измерения его вклад в погрешность измерения необходимо уменьшать путем подбора операторов высокой квалификации и соблюдения требований эргономики при разработке СИ.

3. Метод и средство измерений их правильный выбор чрезвычайно важен и производится на основе априорной информации об объекте измерения. Чем больше априорной информации, тем точнее может быть проведено измерение. Основной вклад в систематическую погрешность вносит, как правило, методическая погрешность.

4. Условия измерения обеспечение и стабилизация нормальных условий являются необходимыми требованиями для минимизации дополнительной погрешности, которая по своей природе, как правило, является систематической.

Систематические погрешности принято классифицировать по двум признакам: по характеру изменения и по причинам возникновения погрешности.

В зависимости от **характера изменения** систематические погрешности измерения подразделяются на постоянные, прогрессивные, периодические и погрешности, изменяющиеся по сложному закону.

В зависимости от **причин возникновения** систематические погрешности измерения делятся на инструментальные погрешности измерения, погрешности метода измерений, погрешности из-за изменения условий измерения и субъективные погрешности измерения.

Систематические погрешности искажают результат измерений, поэтому их необходимо исключать из результата измерения путем введения поправок или регулировкой прибора с доведением систематических составляющих погрешности до минимума.

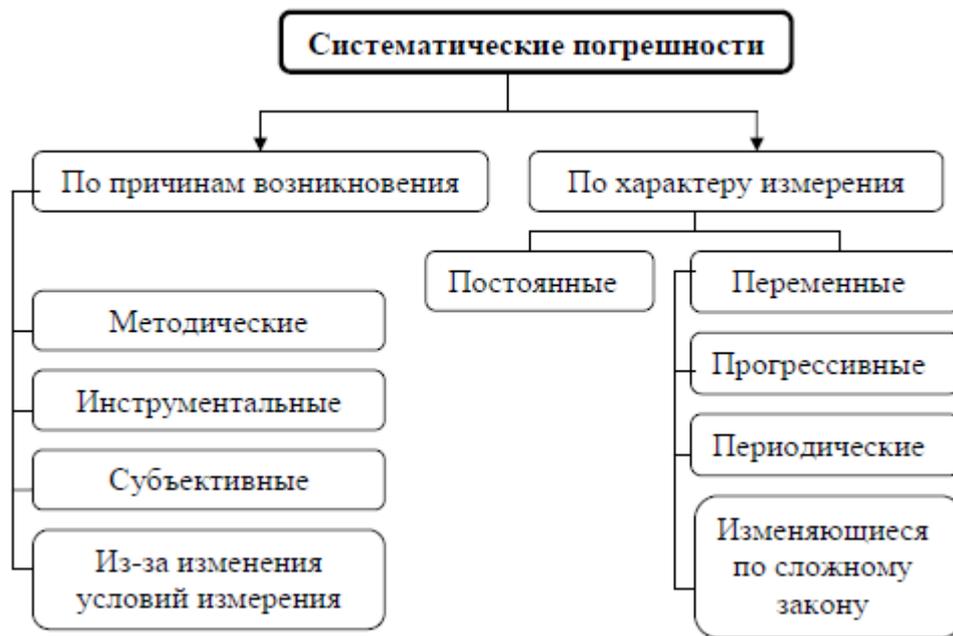


Рис. 5.1. Классификация систематических погрешностей

Существует также понятие **неисключенная систематическая погрешность** – составляющая погрешности результата измерений, обусловленная погрешностями вычисления и введения поправок на влияние систематических погрешностей или систематической погрешностью, поправка на действие которой не введена вследствие ее малости.

Иногда этот вид погрешности называют **неисключенным остатком** систематической погрешности.

Неисключенная систематическая погрешность характеризуется ее границами.

Границы неисключенной систематической погрешности  $\Theta$  при числе слагаемых  $N < 3$  вычисляют по формуле

$$\Theta = \pm \sum_{i=1}^N |\Theta_i|$$

где  $\Theta_i$  – граница  $i$ -й составляющей неисключенной систематической погрешности.

При числе неисключенных систематических погрешностей  $N \geq 4$  вычисления проводят по формуле

$$\Theta = \pm K \sqrt{\sum_{i=1}^N \Theta_i^2}$$

где  $K$  – коэффициент зависимости отдельных неисключенных систематических погрешностей.

Все перечисленные составляющие систематических погрешностей вызывают искажение результата измерений. Наибольшую опасность в этом отношении имеют не выявленные систематические погрешности, которые могут быть причиной ошибочных научных выводов, неудовлетворительной конструкции СИ и снижения качества продукции в производстве.

### **Основные способы обнаружения и устранения систематических погрешностей**

---

Результаты наблюдений, полученные при наличии систематической погрешности, называются неисправленными. При проведении измерений стараются в максимальной степени исключить или учесть влияние систематических погрешностей. Это может быть достигнуто следующими путями:

- а) устранением источников погрешностей до начала измерений. В большинстве областей измерений известны главные источники систематических погрешностей и разработаны методы, исключаяющие их возникновение или устраняющие их влияние на результат измерения. В связи с этим в практике измерений стараются устранить систематические погрешности не путем обработки экспериментальных данных, а применением СИ, реализующих соответствующие методы измерений;
- б) определением поправок и внесением их в результат измерения;
- в) оценкой границ неисключенных систематических погрешностей.

Постоянная систематическая погрешность не может быть найдена методами совместной обработки результатов измерений. Постоянные систематические погрешности не устраняются при многократных измерениях. Они могут быть обнаружены лишь путем сравнения результатов измерений с другими, полученными с помощью более высокоточных методов и средств. Иногда эти погрешности можно устранить специальными приемами проведения процесса измерений, которые рассматриваются ниже.

Для устранения постоянных систематических погрешностей применяют следующие методы.

#### ***Метод измерений замещением***

Метод измерений замещением является разновидностью метода сравнения с мерой. Сравнение осуществляется замещением измеряемой величины мерой с известным значением величины, причем так, что при этом в состоянии и действии всех используемых СИ не происходит никаких изменений.

**Пример:** при измерении электрических параметров, таких как: сопротивление, емкость, индуктивность – объект подключается в измерительную цепь. В большинстве случаев при этом пользуются нулевыми методами (мостовым, компенсационным и др.), при которых производится электрическое уравнивание цепи. После этого, не меняя схемы, вместо измеряемого объекта включают меру переменного значения (магазин сопротивлений, емкости, индуктивности и т.д.) и, изменяя их значение, добиваются восстановления равновесия цепи. В этом случае способом замещения исключается остаточная неуравновешенность мостовых цепей, влияния на цепь магнитных и электрических полей и др.

**Пример:** взвешивание на пружинных весах, у которых имеется постоянная систематическая погрешность (из-за смещения шкалы, например). Взвешивание производится в два приема (рис. 5.2).

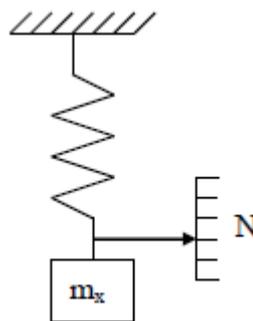


Рис. 5.2. Иллюстрация метода измерений замещением (метод Борда)

Вначале на чашу весов помещают взвешиваемое тело массой  $m_x$  и отмечают положение указателя (на отметке  $N$ ). Затем взвешиваемое тело замешают гирями такой массы  $m_0$ , чтобы вновь добиться прежнего отклонения указателя  $N$ . Очевидно, что при одинаковых отклонениях указателя будет выполняться условие  $m_x = m_0$ , и систематическая погрешность весов не скажется на результате взвешивания. Такой способ взвешивания с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов называется методом Борда.

### **Метод противопоставления**

Метод противопоставления, также является разновидностью метода сравнения с мерой, при котором измерение выполняется дважды и проводится так, чтобы в обоих случаях причина постоянной погрешности оказывала на результат наблюдений разные, но известные по закономерности воздействия.

**Пример:** рассмотрим взвешивание на равноплечных весах (рис. 3.2). Условие равновесия весов выглядит следующим образом:  $m_x l_1 = m_0 l_2$ ,

где  $m_x$  – масса взвешиваемого груза;  $m_0$  – масса уравновешивающих гирь;  $l_1$  и  $l_2$  – соответствующие плечи коромысла. Следовательно,  $m_x = m_0 \frac{l_2}{l_1}$ . Если длины плеч  $l_1$  и  $l_2$  одинаковы, то  $m_x = m_0$ .

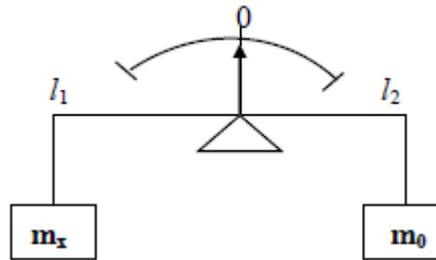


Рис. 5.3 Иллюстрация метода противопоставления

Если же  $l_1 \neq l_2$  (например, из-за технологического разброса длин плеч при их изготовлении), то при взвешивании каждый раз возникает систематическая погрешность  $\Theta = m_0 \left( \frac{l_1}{l_2} - 1 \right)$ . Для исключения этой погрешности взвешивание производится в два этапа. Сначала взвешивают груз  $m_x$ , уравновешивая весы гирями массой  $m_{01}$ . При этом  $m_x l_1 = m_{01} l_2$ . Затем взвешиваемый груз перемещают на ту чашу весов, где прежде были гири и вновь уравновешивают весы гирями массой  $m_{02}$ . Теперь получим  $m_{02} l_1 = m_x l_2$ . Исключив из равенств отношение  $l_1/l_2$ , найдем  $m_x = \sqrt{m_{01} m_{02}}$ . Как видно из формулы, длины плеч не входят в окончательный результат взвешивания.

### **Метод компенсации погрешности**

Метод компенсации погрешности по знаку (метод изменения знака систематической погрешности) предусматривает измерение с двумя наблюдениями, выполняемыми так, чтобы постоянная систематическая погрешность входила в результат каждого из них с разными знаками. Исключается она при вычислении среднего значения:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{(Q + \Theta) + (Q - \Theta)}{2}$$

где  $\bar{X}$  – среднее арифметическое значение измеряемой величины;  $x_1, x_2$  — результаты измерений;  $Q$  – действительное (истинное) значение измеряемой величины;  $\Theta$  – постоянная систематическая погрешность.

Пример: характерным примером метода компенсации является исключение погрешности, обусловленной магнитным полем Земли. Первое измерение

проводят, когда средство измерения находится в любом положении. Перед проведением второго измерения СИ поворачивают в горизонтальной плоскости на  $180^\circ$ . Если в первом случае магнитное поле Земли, складываясь с полем СИ, вызывало положительную погрешность, то при повороте на  $180^\circ$  магнитное поле Земли будет оказывать противоположное действие и вызовет отрицательную погрешность по размеру, равную первой.

### ***Метод рандомизации***

Метод рандомизации – наиболее универсальный способ исключения неизвестных постоянных систематических погрешностей. Суть его состоит в том, что одна и та же величина измеряется различными методами (приборами). Систематические погрешности каждого из них для всей совокупности являются разными случайными величинами. Вследствие этого, при увеличении числа используемых методов (приборов) систематические погрешности взаимно компенсируются.

### **Устранение переменных и монотонно изменяющихся систематических погрешностей**

---

Для устранения переменных и монотонно изменяющихся систематических погрешностей применяют следующие приемы и методы.

#### ***Анализ знаков неисправленных случайных погрешностей***

Если знаки неисправленных случайных погрешностей чередуются с какой-либо закономерностью, то наблюдается переменная систематическая погрешность. Если последовательность знаков «+» у случайных погрешностей сменяется последовательностью знаков «-», или наоборот, то присутствует монотонно изменяющаяся систематическая погрешность. Если группы знаков «+» и «-» у случайных погрешностей чередуются, то присутствует периодическая систематическая погрешность.

#### ***Графический метод***

Графический метод – один из наиболее простых способов обнаружения переменной систематической погрешности в результатах наблюдений. Заключается он в графическом представлении последовательности неисправленных значений результатов наблюдений. На графике через построенные точки проводят плавную кривую, которая выражает тенденцию в изменении результата измерения, если она существует. Если тенденция не наблюдается, то переменную систематическую погрешность считают практически отсутствующей.

**Пример:** Частым случаем погрешности, изменяющейся по определенному закону, является погрешность, прогрессирующая по

линейному закону, например, пропорционально времени. В этом случае погрешность можно оценить и исключить следующим образом. Если известно, что при измерении постоянной величины  $x_0$  систематическая погрешность изменяется линейно во времени, т.е.  $x_{изм} = x_0 + Ct$  (где  $C = const$ ), то для ее исключения достаточно сделать два наблюдения  $x_1$  и  $x_2$  с фиксацией времени  $t_1$  и  $t_2$  (рис. 3.4).

Тогда искомое значение величины будет

$$x_0 = \frac{x_1 t_2 - x_2 t_1}{t_2 - t_1}$$

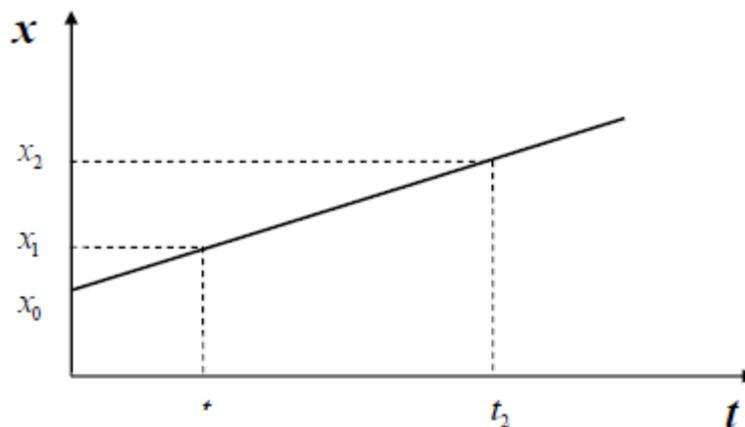


Рис. 5.4 Лінійне изменение систематической погрешности

Если предположение о линейном законе изменения систематической погрешности не очевидно, то для контроля систематической погрешности применяют метод симметричных наблюдений.

### **Метод симметричных наблюдений**

Метод симметричных наблюдений применяется для исключения прогрессирующего влияния какого-либо фактора, являющегося линейной функцией времени (например, постепенного прогрева аппаратуры, падения напряжения в цепи питания, вызванного разрядом аккумулятора и т.д.). Такая функция может быть изображена в виде графика, на котором по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат прогрессивная погрешность. Способ симметричных наблюдений заключается в том, что в течение некоторого интервала времени выполняется несколько измерений одной и той же величины постоянного размера и за окончательный результат принимается полусумма отдельных результатов, симметричных по времени относительно середины интервала. Рекомендуется использовать данный способ, когда не очевидна возможность существования прогрессивной погрешности.

**Пример:** несколько наблюдений выполняют через равные промежутки времени и затем вычисляют средние арифметические симметрично расположенных отсчетов (рис. 5.5), например  $\frac{x_1 + x_5}{2}$  и  $\frac{x_2 + x_4}{2}$ .

Теоретически, при линейной зависимости погрешности от времени, эти средние арифметические должны быть равны это и дает возможность контролировать ход изменения погрешности. Убедившись, что погрешность изменяется по линейному закону, по формуле  $x_0 = \frac{x_1 t_2 - x_2 t_1}{t_2 - t_1}$  находят результат измерения.

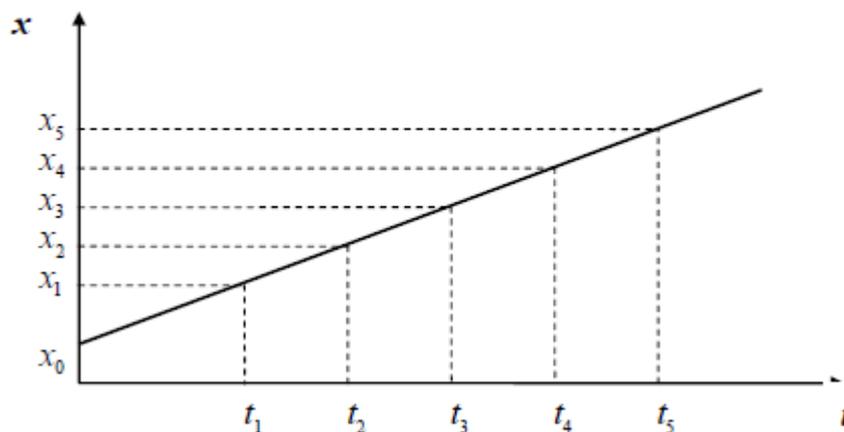


Рис. 5.5 Метод симметричных наблюдений

### **Специальные статистические методы устранения систематических погрешностей**

Существуют специальные статистические методы устранения систематических погрешностей результатов наблюдений: способ последовательных разностей – критерий Аббе (применяется для обнаружения погрешности, изменяющейся во времени); дисперсионный анализ – критерий Фишера (является наиболее эффективным и достоверным, поскольку позволяет не только установить факт наличия погрешности, но и проанализировать источники ее возникновения); критерий Вилкоксона (применяется, если закон распределения результатов измерений неизвестен).

### **Исключение систематических погрешностей путем введения поправок**

В ряде случаев систематические погрешности могут быть вычислены и исключены из результата измерения. Для этого используются поправки. Поправка  $C_j$  – значение величины, одноименной с измеряемой, которое

вводится в результат измерения с целью исключения составляющих систематической погрешности  $\Theta_j$ . При  $C_j = -\Theta_j$   $j$ -я составляющая систематической погрешности полностью устраняется из результата измерения. Поправки определяются экспериментально или в результате специальных теоретических исследований и задаются в виде таблиц, графиков или формул.

Введением одной поправки устраняется влияние только одной составляющей систематической погрешности. Для устранения всех составляющих в результат измерения приходится вводить множество поправок. При этом вследствие ограниченной точности определения поправок случайные погрешности результата измерения накапливаются, и его дисперсия увеличивается.

### Контрольные вопросы по теме

---

1. Какие погрешности называются систематическими?
2. Какие факторы влияют на формирование систематической погрешности?
3. С какой целью необходимо хорошо изучать объект измерения перед измерением?
4. Каким образом исключается влияние субъективных факторов на формирование систематической погрешности?
5. Какая погрешность вносит основной вклад в систематическую погрешность?
6. Каким образом необходимо учитывать условия измерения для уменьшения систематической погрешности измерения?
7. По каким признакам классифицируются систематические погрешности?
8. Каким образом разделяют систематические погрешности в зависимости от характера их изменения?
9. Каким образом разделяют систематические погрешности в зависимости от причин возникновения?
10. Что называют неисключенной систематической погрешностью?
11. Что называют неисключенным остатком систематической погрешности?
12. По какой формуле определяют границы неисключенной систематической погрешности при числе слагаемых меньше трех?
13. По какой формуле определяют границы неисключенной систематической погрешности при числе слагаемых больше трех?
14. Какие результаты измерений называют неисправленными?
15. Какие результаты измерений называют исправленными?
16. Какие способы используют для исключения или учета влияния систематических погрешностей в результате измерений?
17. Может ли быть найдена постоянная систематическая погрешность методами совместной обработки результатов измерений?
18. Может ли быть найдена постоянная систематическая погрешность путем многократного проведения измерений?
19. Может ли быть найдена постоянная систематическая погрешность статистическими методами?
20. Может ли быть найдена прогрессирующая систематическая погрешность статистическими методами?
21. Какие методы прямых измерений позволяют устранить постоянные систематические погрешности?

22. В чем состоит метод измерения замещением?
23. В чем состоит метод измерения Борда?
24. В чем состоит метод противопоставления?
25. Позволяет ли метод противопоставления исключить постоянную систематическую погрешность?
26. В чем состоит метод компенсации систематической погрешности?
27. Позволяет ли метод компенсации исключить постоянную систематическую погрешность?
28. В чем состоит метод рандомизации?
29. Почему метод рандомизации позволяет исключить постоянную систематическую погрешность?
30. В чем заключается анализ знаков неисправленных случайных погрешностей?
31. Каков признак наличия монотонно изменяющейся систематической погрешности при проведении анализа знаков неисправленных случайных погрешностей?
32. Каков признак наличия периодически изменяющейся систематической погрешности при проведении анализа знаков неисправленных случайных погрешностей?
33. В каком случае может быть применен метод симметричных наблюдений?
34. Какой способ учета и исключения систематической погрешности применяется для исправления результатов измерения?
35. Сколько поправок необходимо внести для исправления результата измерений?

## Лекція № 7

**Тема:** Обработка результатов прямых многократных измерений**Оглавление**

Обработка результатов прямых многократных измерений.....	2
Этапы обработки .....	2
Определение точечных оценок закона распределения результатов измерений (среднее арифметическое и среднего квадратического отклонения).....	3
Определение закона распределения результатов измерений или случайных погрешностей измерений.....	4
Оценка закона распределения по статистическим критериям .....	6
Определение доверительных интервалов случайной погрешности ....	6
Определение границ неисключенной систематической погрешности $\Theta$ результата измерения.....	7
Определение доверительной границы погрешности результата измерения $\Delta_p$ .....	8
Запись результата измерения.....	9
Контрольные вопросы по теме .....	10

**Источники:**

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
3. ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.
4. ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.
5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

## Обработка результатов прямых многократных измерений

---

Непосредственной целью измерений является определение истинных значений постоянной или изменяющейся измеряемой величины. Результат измерений является реализацией случайной величины, равной сумме истинного значения измеряемой величины и погрешности измерений.

Прямые многократные измерения делятся на равноточные и неравноточные. Равноточными называются измерения, которые проводятся средствами измерений одинаковой точности по одной и той же методике при неизменных внешних условиях. При равноточных измерениях средние квадратические отклонения (СКО) результатов всех рядов измерений равны между собой.

Задача обработки результатов многократных измерений заключается в нахождении оценки измеряемой величины и доверительного интервала, в котором находится ее истинное значение. Исходной информацией для обработки является ряд из  $n$  результатов измерений  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , из которых исключены известные систематические погрешности, – *выборка (группа результатов)*. Число  $n$  зависит как от требований к точности получаемого результата, так и от реальной возможности выполнять повторные измерения.

Последовательность обработки результатов прямых многократных измерений состоит из ряда этапов.

### Этапы обработки

---

При статистической обработке группы результатов наблюдений следует выполнить следующие операции:

- исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения;
- вычислить оценку среднего квадратического отклонения результата наблюдения;
- вычислить оценку среднего квадратического отклонения результата измерения;
- проверить гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению;
- вычислить доверительные границы случайной погрешности (случайной составляющей погрешности) результата измерения;

- вычислить границы неисключенной систематической погрешности (неисключенных остатков систематической погрешности) результата измерения;
- вычислить доверительные границы погрешности результата измерения.

Проверку гипотезы о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, следует проводить с уровнем значимости  $q$  от 10 до 2 %. Конкретные значения уровней значимости должны быть указаны в конкретной методике выполнения измерений.

Для определения доверительных границ погрешности результата измерения доверительную вероятность  $P$  принимают равной 0,95.

В тех случаях, когда измерение нельзя повторить, помимо границ, соответствующих доверительной вероятности  $P = 0,95$ , допускается указывать границы для доверительной вероятности  $P = 0,99$ .

В особых случаях, например, при измерениях, результаты которых имеют значение для здоровья людей, допускается вместо  $P = 0,99$  принимать более высокую доверительную вероятность.

### **Определение точечных оценок закона распределения результатов измерений (среднее арифметическое и среднего квадратического отклонения)**

Из результатов наблюдений предварительно должны быть исключены грубые погрешности и промахи.

За результат измерения принимают среднее арифметическое результатов наблюдений, в которые предварительно введены поправки для исключения систематических погрешностей. Если во всех результатах наблюдения содержится постоянная систематическая погрешность, допускается исключать ее после вычисления среднего арифметического неисправленных результатов наблюдений.

На этом этапе определяют:

- среднее арифметическое значение  $X$  измеряемой величины по формуле

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- оценка СКО измеряемой величины  $S_x$  по формуле

$$\tilde{\sigma} = S_x = \sqrt{\tilde{D}[x]} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$$

– оценка СКО среднего арифметического значения  $S_{\bar{x}}$  по формуле

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$$

Полученные точечные оценки позволяют записать результат измерений в виде:

$$Q = \bar{X} \pm S_{\bar{x}}$$

### **Определение закона распределения результатов измерений или случайных погрешностей измерений.**

От выборки результатов измерений  $x_1, x_2, \dots, x_n$  переходят к выборке отклонений от среднего арифметического  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ , где  $\Delta x_i = x_i - \bar{X}$ .

Первым шагом при идентификации закона распределения является построение по исправленным результатам измерений  $x_i$  где  $i = 1, 2, \dots, n$ , вариационного ряда (упорядоченной выборки)  $y_i$ , где  $y_1 = \min(x_i)$  и  $y_n = \max(x_i)$ . В вариационном ряду данные измерений (или их отклонения от среднего арифметического) располагают в порядке возрастания. Далее этот ряд разбивается на оптимальное число  $m$ , как правило, одинаковых интервалов группирования длиной  $h = (y_n - y_1) / m$ . Оптимальным является такое число интервалов  $m$ , при котором возможное максимальное сглаживание случайных флуктуации данных сопровождается минимальным искажением от сглаживания самой кривой искомого распределения.

Далее определяют интервалы группирования экспериментальных данных в виде  $\Delta_1 = (y_1, y_1 + h)$ ;  $\Delta_2 = (y_1 + h, y_1 + 2h)$ ; ... ;  $\Delta_m = (y_n - h, y_n)$  и подсчитывают число попаданий  $n_k$  (частоты) результатов измерений в каждый интервал группирования. Сумма частот должна равняться числу измерений. По полученным значениям рассчитывают вероятности попадания результатов измерений (частоты) в каждый из интервалов группирования по формуле  $p_k = n_k / n$ , где  $k = 1, 2, \dots, m$ .

Проведенные расчеты позволяют построить гистограмму, полигон и кумулятивную кривую. Для построения гистограммы по оси результатов наблюдений  $x$  (рис. 5.6а) откладываются интервалы  $\Delta_k$  в порядке возрастания номеров и на каждом интервале строится прямоугольник высотой  $p_k$ .

Площадь, заключенная под графиком, пропорциональна числу наблюдений  $n$ . Иногда высоту прямоугольника откладывают равной эмпирической плотности вероятности  $p_k^* = p_k / \Delta_k = n_k / (n \Delta_k)$ , которая является оценкой средней плотности в интервале  $\Delta_k$ . В этом случае площадь под

гистограммой равна единице. При увеличении числа интервалов и соответственно уменьшении их длины гистограмма все более приближается к гладкой кривой графику плотности распределения вероятности.

Полигон представляет собой ломаную кривую, соединяющую середины верхних оснований каждого столбца гистограммы (см. рис. 5.6а). Он более наглядно, чем гистограмма, отражает форму кривой распределения. За пределами гистограммы справа и слева остаются пустые интервалы, в которых точки, соответствующие их серединам, лежат на оси абсцисс. Эти точки при построении полигона соединяют между собой отрезками прямых линий. В результате совместно с осью  $x$  образуется замкнутая фигура, площадь которой в соответствии с правилом нормирования должна быть равна единице (или числу наблюдений при использовании частостей).

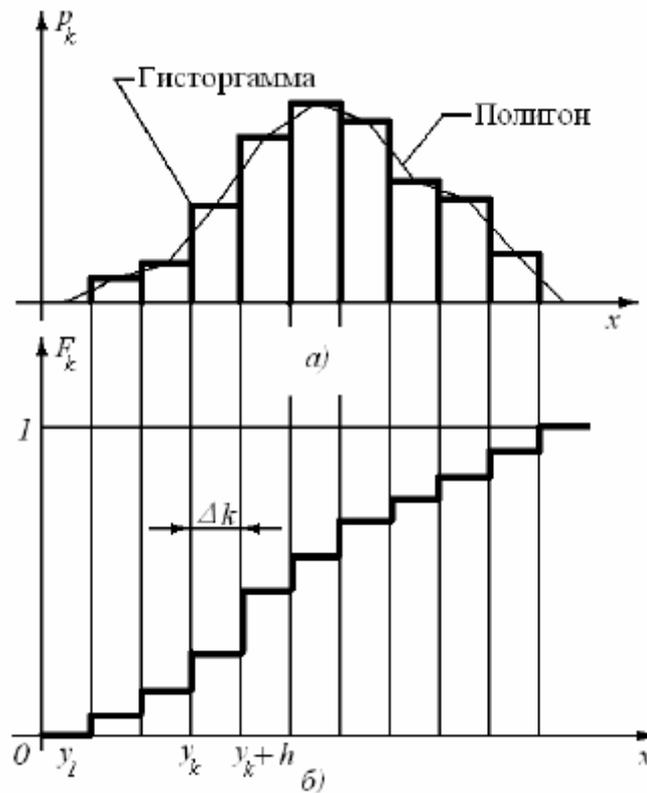


Рис. 5.6 Гистограмма, полигон (а) и кумулятивная кривая (б)

Кумулятивная кривая – это график статистической функции распределения. Для ее построения по оси результатов наблюдений (рис. 5.6б) откладывают интервалы  $\Delta_k$  в порядке возрастания номеров и на каждом интервале строят прямоугольник высотой

$$F_k = \sum_{i=1}^k p_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_k$$

Значение  $F_k$  называется кумулятивной частотой, а сумма  $n_k$  – кумулятивной частотой.

По виду построенных зависимостей может быть оценен закон распределения результатов измерений.

### **Оценка закона распределения по статистическим критериям**

---

При числе наблюдений  $n > 50$  для идентификации закона распределения используется критерий Пирсона  $\chi^2$  (хи-квадрат) или критерий Мизеса—Смирнова ( $\omega^2$ ). При  $50 > n > 15$  для проверки нормальности закона распределения применяется составной критерий (d-критерий). При  $n < 15$  принадлежность экспериментального распределения к нормальному не проверяется.

### **Определение доверительных интервалов случайной погрешности**

---

Доверительные границы случайной погрешности результата измерения в соответствии с настоящей методикой устанавливаются для результатов наблюдений, принадлежащих нормальному распределению. Если это условие не выполняется, методы вычисления доверительных границ случайной погрешности разрабатываются специально. Как правило, руководствуются следующими соображениями:

В качестве функции плотности распределения вероятностей погрешности измерений принимают закон, близкий к нормальному, если имеются основания предполагать, что реальная функция плотности распределения – функция симметричная, одномодальная, отличная от нуля на конечном интервале значений аргумента, и другая информация о плотности распределения отсутствует.

Если имеется информация о том, что хотя бы одно из указанных выше условий не выполнено, принимают другую аппроксимацию функции плотности распределения вероятностей погрешности измерений, более соответствующую решаемой измерительной задаче.

В качестве функции плотности распределения вероятностей составляющих погрешности измерений, для которых известны только пределы допускаемых значений, т.е. границы интервала, в пределах которых находится соответствующая составляющая погрешности измерений с вероятностью 1, при расчетах характеристик погрешности измерений принимают закон равномерной плотности, если отсутствует информация об ином виде распределения.

Если удалось идентифицировать закон распределения результатов измерений, то с его использованием находят квантильный множитель  $z_p$  при заданном значении доверительной вероятности  $P$ . В этом случае доверительные границы случайной погрешности  $\Delta = \pm z_p S_{\bar{x}}$ .

Квантиль в математической статистике – это значение, которое заданная случайная величина не превышает с фиксированной вероятностью.

### **Определение границ неисключенной систематической погрешности $\Theta$ результата измерения**

Под этими границами понимают, найденные нестатистическими методами границы интервала, внутри которого находится неисключенная систематическая погрешность.

Неисключенная систематическая погрешность результата образуется из составляющих, в качестве которых могут быть неисключенные систематические погрешности:

- метода;
- средств измерений;
- вызванные другими источниками.

В качестве границ составляющих неисключенной систематической погрешности принимают, например, пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерений, если случайные составляющие погрешности пренебрежимо малы.

При суммировании составляющих неисключенной систематической погрешности результата измерения неисключенные систематические погрешности средств измерений каждого типа и погрешности поправок рассматривают как случайные величины. При отсутствии данных о виде распределения случайных величин их распределения принимают за равномерные.

Границы неисключенной систематической погрешности  $\Theta$  при числе слагаемых  $N < 3$  вычисляют по формуле

$$\Theta = \pm \sum_{i=1}^N |\Theta_i|$$

где  $\Theta_i$  – граница  $i$ -й составляющей неисключенной систематической погрешности.

При числе неисключенных систематических погрешностей  $N \geq 4$  вычисления проводят по формуле

$$\Theta = \pm K \sqrt{\sum_{i=1}^N \Theta_i^2}$$

где  $K$  – коэффициент зависимости отдельных неисключенных систематических погрешностей.

Коэффициент  $K$  принимают равным  $1,1$  при доверительной вероятности  $P = 0,95$ . При доверительной вероятности  $P = 0,99$  коэффициент  $K$  принимают равным  $1,4$ .

### Определение доверительной границы погрешности результата измерения $\Delta_p$

Данная операция осуществляется путем суммирования СКО случайной составляющей  $S_{\bar{x}}$  и границ неисключенной систематической составляющей  $\Theta$  в зависимости от соотношения  $\frac{\Theta}{S_x}$ .

Анализ соотношения между неисключенной систематической погрешностью и случайной погрешностью показывает, что если  $\frac{\Theta}{S_x} < 0,8$ , то неисключенной систематической погрешностью можно пренебречь и принять границы погрешности результата равным  $\Delta_p = \pm z_p S_{\bar{x}}$  ( $z_p$  – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности  $P$  и числа проведенных измерений  $n$ ). Если  $\frac{\Theta}{S_x} > 8$ , то случайной погрешностью можно пренебречь и принять границы погрешности результата равным  $\Delta = \pm \Theta$ .

Если оба неравенства не выполняются, вычисляют СКО результата как сумму неисключенной систематической погрешности и случайной составляющей:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Theta_i^2}{3} + S_{\bar{x}}^2}$$

Границы погрешности результата измерения в этом случае вычисляют по формуле

$$\Delta_p = \pm K S_{\Sigma}$$

Коэффициент  $K$  вычисляют по эмпирической формуле

$$K = \frac{z_p S_{\bar{x}} + \Theta}{S_{\bar{x}} + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Theta_i^2}{3}}}$$

### **Запись результата измерения**

---

Результат измерения записывается в виде  $x = \bar{X} \pm \Delta_p$  при доверительной вероятности  $P=P_d$ . При отсутствии данных о функциях распределения составляющих погрешности результаты измерений представляют в виде  $\bar{X}; S_{\bar{x}}; n; \Theta$ .

### Контрольные вопросы по теме

---

1. Что служит исходной информацией при проведении обработки результатов многократных измерений.
2. Приведите последовательность операций, которые выполняются при проведении обработки результатов многократных измерений.
3. Какое значение доверительной вероятности является стандартным при определении доверительных границ погрешности результата измерения?
4. В каких случаях при определении доверительных границ погрешности результата измерения принимается значение доверительной вероятности  $P = 0,99$ ?
5. В каких случаях при определении доверительных границ погрешности результата измерения принимается значение доверительной вероятности выше  $0,99$ ?
6. На каком этапе обработки из результатов наблюдений должны быть исключены грубые погрешности и промахи?
7. Какую величину принимают в качестве результата измерения?
8. На каком этапе обработки должны из результатов наблюдений быть исключены систематические погрешности?
9. Запишите формулу, по которой рассчитывается среднее арифметическое значение измеряемой величины.
10. Запишите формулу, с помощью которой определяется оценка среднего квадратического отклонения измеряемой величины.
11. Запишите формулу, с помощью которой определяется оценка среднего квадратического отклонения среднего арифметического значения измеряемой величины.
12. Запишите формулу, с помощью которой определяется оценка среднего квадратического отклонения результата измерений.
13. Как записывается результат измерений на основе точечных оценок статистических параметров измеряемой величины?
14. Как располагают данные измерений в вариационном ряду?
15. Чему должна быть равна сумма частот?
16. Каким образом связаны частоты и частоты попадания в класс?
17. Чему должна быть равна сумма частостей?
18. Нарисуйте пример гистограммы и полигона.
19. Что представляет собой кумулятивная кривая?
20. Какие статистические критерии используются при проведении оценки закона распределения случайной погрешности?
21. Каким образом можно определить понятие "границы неисключенной систематической погрешности результата измерений"?

22. Из каких составляющих складывается неисключенная систематическая погрешность результата измерений?

23. По какой формуле вычисляют границы неисключенной систематической погрешности  $\Theta$  при числе слагаемых  $N < 3$  ?

24. Каким образом выбирают коэффициент при вычислении границы неисключенной систематической погрешности  $\Theta$ , когда число составляющих больше трех?

25. В каких случаях при определении доверительной границы погрешности результата измерений пренебрегают неисключенной систематической погрешностью?

26. В каких случаях при определении доверительной границы погрешности результата измерений пренебрегают случайной погрешностью?

27. В каком виде представляют результат прямых многократных измерений?

## Лекція № 8

**Тема:** Грубые погрешности и методы их исключения**Оглавление**

Причины появления грубых погрешностей .....	2
Критерии «трех сигм» .....	3
Критерий Романовского .....	3
Контрольные вопросы по теме .....	5

**Источники:**

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
3. ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.
4. ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.
5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

## Причины появления грубых погрешностей

Грубая погрешность, или промах, это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. Источником грубых погрешностей нередко бывают ошибки, допущенные оператором во время измерений. К ним можно отнести:

- неправильный отсчет по шкале измерительного прибора, происходящий из-за неверного учета цены малых делений шкалы;
- неправильная запись результата наблюдений, значения отдельных мер использованного набора, например, гирь.

Грубые погрешности, как правило, возникают при однократных измерениях и обычно устраняются путем повторных измерений. Их причинами могут быть внезапные и кратковременные изменения условий измерения или оставшиеся незамеченными неисправности в аппаратуре.

Корректная статистическая обработка выборки возможна только при ее однородности, т.е. в том случае, когда все ее члены принадлежат к одной и той же генеральной совокупности. В противном случае обработка данных бессмысленна. «Чужие» отсчеты по своим значениям могут существенно не отличаться от «своих» отсчетов. Их можно обнаружить только по виду гистограмм или дифференциальных законов распределения. Наличие таких аномальных отсчетов принято называть загрязнением выборки, однако выделить члены выборки, принадлежащие каждой из генеральных совокупностей, практически невозможно.

Особую неприятность доставляют отсчеты, которые хотя и не входят в компактную группу основной массы отсчетов выборки, но и не удалены от нее на значительное расстояние, – так называемые предполагаемые промахи. Отбрасывание «слишком» удаленных от центра выборки отсчетов называется цензурированием выборки. Это осуществляется с помощью специальных критериев.

При однократных измерениях обнаружить промах не представляется возможным. Для уменьшения вероятности появления промахов измерения проводят два-три раза и за результат принимают среднее арифметическое полученных отсчетов. При многократных измерениях для обнаружения промахов используют статистические критерии, предварительно определив, какому виду распределения соответствует результат измерений.

Вопрос о том, содержит ли результат наблюдений грубую погрешность, решается общими методами проверки статистических гипотез. Проверяемая гипотеза состоит в утверждении, что результат наблюдения  $x$ , не содержит грубой погрешности, т.е. является одним из значений измеряемой величины.

Пользуясь определенными статистическими критериями, пытаются опровергнуть выдвинутую гипотезу. Если это удастся, то результат наблюдений рассматривают как содержащий грубую погрешность и его исключают.

В процессе выявления грубых погрешностей задаются уровнем значимости  $q$  – вероятностью того, что сомнительный результат действительно мог иметь место в данной совокупности результатов измерений.

### **Критерии «трех сигм»**

---

Критерии «трех сигм» применяется для результатов измерений, распределенных по нормальному закону. По этому критерию считается, что результат, возникающий с вероятностью  $q < 0,003$  маловероятен, и его можно считать промахом, если  $|\bar{X} - x_i| > 3S_x$ , где  $S_x$  – оценка СКО измерений. Величины  $\bar{X}$  и  $S_x$  вычисляют без учета экстремальных значений  $x_i$ . Данный критерий надежен при числе измерений  $n > 20 \dots 50$ .

Это правило обычно считается слишком жестким, поэтому рекомендуется назначать границу цензурирования в зависимости от объема выборки: при  $6 < n < 1000$  она равна  $4S_x$ ; при  $100 < n < 10000$  –  $4,5S_x$ ; при  $1000 < n < 10000$  –  $5S_x$ . Данное правило также используется только при нормальном распределении.

### **Критерий Романовского**

---

Критерий Романовского применяется в случае, если число измерений  $n < 20$ . При этом вычисляется отношение  $\left| \frac{x_i - \bar{X}}{S_x} \right| = \nu$  и сравнивается с критерием  $\nu_p$ , выбранным по таблице при заданном уровне значимости. Если  $\nu \geq \nu_p$ , то результат  $x_i$ , считается промахом и отбрасывается.

Для выявления промахов применяется также вариационный критерий Диксона.

Применение рассмотренных критериев требует осмотрительности и учета объективных условий измерений. Конечно, оператор должен исключить результат наблюдения с явной грубой погрешностью и выполнить новое измерение. Но он не имеет права отбрасывать более или менее резко отличающиеся от других результаты наблюдений. В сомнительных случаях лучше сделать дополнительные измерения (не взамен сомнительных, а кроме них) и затем привлекать на помощь рассмотренные выше статистические

критерии. Кроме рассмотренных критериев существуют и другие. например критерии Граббса, Шовене, а также вариационный критерий Диксона.

### Контрольные вопросы по теме

---

1. Какой вид погрешности называют грубой погрешностью?
2. Что является источником грубых погрешностей?
3. Приведите примеры ошибок оператора, которые приводят к появлению грубых погрешностей.
4. Каким образом можно выявить грубую погрешность при проведении однократных измерений?
5. Какие разделы математики применяют для выявления грубых погрешностей?
6. Какую гипотезу проверяют в процессе выявления грубых погрешностей?
7. Какую гипотезу пытаются опровергнуть в процессе выявления грубых погрешностей?
8. При выявлении грубых погрешностей какая величина называется уровнем значимости?
9. В каких случаях в процессе выявления грубых погрешностей применяют критерий «трех сигм»?
10. В чем состоит проверка на отсутствие грубых погрешностей по критерию «трех сигм»?
11. В чем состоит проверка на отсутствие грубых погрешностей по критерию Романовского?
12. Если в результатах измерения выявлена явная грубая погрешность, то данный результат необходимо
  - a) оставить в результатах
  - b) отбросить
  - c) исправить
  - d) отбросить и произвести повторное измерение?

## Лекція № 9

**Тема:** Косвенные измерения. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

### Оглавление

Введение.....	2
МИ 2083-90 «ИЗМЕРЕНИЯ КОСВЕННЫЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНИВАНИЕ ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ»3	
Контрольные вопросы по теме .....	17

### Источники:

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
3. ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.
4. ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.
5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

## **Введение**

---

Данная лекция подается в виде стандарта МИ 2083-90 «ИЗМЕРЕНИЯ КОСВЕННЫЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНИВАНИЕ ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ». Подобное представление полезно с точки зрения ознакомления студентов с построением стандартов и способов изложения требований. Настоящий стандарт содержит всю необходимую информацию для изучения методов определения результатов и оценивания погрешностей косвенных измерений.

КОМИТЕТ СТАНДАРТИЗАЦИИ И МЕТРОЛОГИИ СССР

УДК 531.7  
Группа Т80

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА  
ИЗМЕРЕНИЙ

**ИЗМЕРЕНИЯ КОСВЕННЫЕ**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНИВАНИЕ ИХ**  
**ПОГРЕШНОСТЕЙ**

**МИ 2083-90**

*Дата введения 01.01.92*

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ**

1. РАЗРАБОТАНА НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

ИСПОЛНИТЕЛИ Ж.Ф. Кудряшова, канд. техн. наук

2. УТВЕРЖДЕНА НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» 20.12.89

3. ЗАРЕГИСТРИРОВАНА ВНИИМС 13.07.90 г.

Настоящая рекомендация распространяется на нормативно-техническую документацию, содержащую методики выполнения косвенных измерений, и устанавливает основные положения определения результатов измерений и оценивание их погрешностей при условии, что аргументы, от которых зависит измеряемая величина, принимаются за постоянные физические величины; известные систематические погрешности результатов измерений аргументов исключены, а неисключенные систематические погрешности распределены равномерно внутри заданных границ  $\pm\theta$ .

Термины и определения, используемые в настоящей рекомендации, приведены в приложении 1.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Искомое значение физической величины  $A$  находят на основании результатов измерений аргументов  $a_1, \dots, a_i, \dots, a_m$ , связанных с искомой величиной уравнением

$$A = f(a_1, \dots, a_i, \dots, a_m) \quad (1)$$

Функция  $f$  должна быть известна из теоретических предпосылок или установлена экспериментально с погрешностью, которой можно пренебречь.

1.2. Результаты измерений аргументов и оценки их погрешностей могут быть получены из прямых, косвенных, совокупных, совместных измерений. Сведения об аргументах могут быть взяты из справочной литературы, технической документации.

1.3. При оценивании доверительных границ погрешностей результата косвенного измерения обычно принимают вероятность, равную 0,95 или 0,99. Использование других вероятностей должно быть обосновано.

1.4. Основные положения рекомендации устанавливаются для оценивания косвенно измеряемой величины и погрешностей результата измерения:

при линейной зависимости и отсутствии корреляции между погрешностями измерений аргументов (разд. 2);

при нелинейной зависимости и отсутствии корреляции между погрешностями измерений аргументов (разд. 3);

для коррелированных погрешностей измерений аргументов при наличии рядов отдельных значений измеряемых аргументов (разд. 4).

Примечание. Критерий проверки гипотезы об отсутствии корреляции между погрешностями измерений аргументов приведен в приложении 2.

## 2. КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

2.1. Искомое значение  $A$  связано с  $m$  измеряемыми аргументами  $a_1, a_2, \dots, a_m$  уравнением

$$A = b_1 \cdot a_1 + b_2 \cdot a_2 + \dots + b_m \cdot a_m, \quad (2)$$

где  $b_1, b_2, \dots, b_m$  - постоянные коэффициенты при аргументах  $a_1, a_2, \dots, a_m$  соответственно.

Корреляция между погрешностями измерений аргументов отсутствует.

Примечание. Если коэффициенты  $b_1, b_2, \dots, b_m$  определяют экспериментально, то задача определения результата измерения величины решается поэтапно: сначала оценивают каждое слагаемое  $b_i \cdot a_i$ ; как косвенно измеряемую величину, полученную в результате произведения двух измеряемых величин, а потом находят оценку измеряемой величины  $A$ .

2.2. Результат косвенного измерения  $\tilde{A}$  вычисляют по формуле

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^m b_i \cdot \tilde{a}_i, \quad (3)$$

где  $\tilde{a}_i$  - результат измерения аргумента  $a_i$ ;  $m$  - число аргументов.

2.3. Среднее квадратическое отклонение результата косвенного измерения  $s(\tilde{A})$  вычисляют по формуле

$$s(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \cdot s^2(\tilde{a}_i)}, \quad (4)$$

где  $s(\tilde{a}_i)$  - среднее квадратическое отклонение результата измерения аргумента  $a_i$ .

2.4. Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, вычисляют (без учета знака) по формуле

$$\varepsilon(p) = t_q \cdot S(\tilde{A}), \quad (5)$$

где  $t_q$  - коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности  $P = 1 - q$  и числу степеней свободы  $f_{эф}$ , вычисляемому по формуле

$$f_{эф} = \frac{\left( \sum_{i=1}^m b_i^2 S^2(\tilde{a}_i) \right) - 2 \left( \sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 \cdot S^4(\tilde{a}_i)}{(n_i + 1)} \right)}{\sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 \cdot S^4(\tilde{a}_i)}{(n_i + 1)}}, \quad (6)$$

где  $n_i$  - число измерений при определении аргумента  $a_i$ .

2.5. Границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения вычисляют следующим образом.

2.5.1. Если неисключенные систематические погрешности результатов измерений аргументов заданы границами  $\theta_i$ ; то доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения  $\Theta(p)$  (без учета знака) при вероятности  $P$  вычисляют по формуле

$$\Theta(p) = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \cdot \Theta_i^2}, \quad (7)$$

где  $k$  - поправочный коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью и числом  $m$  составляющих  $\Theta_i$ .

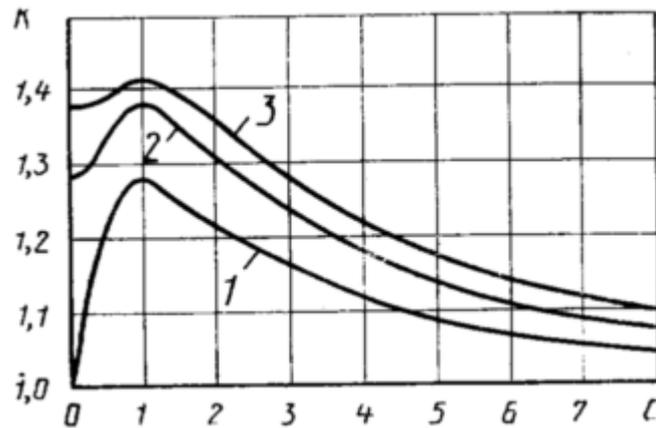
При доверительной вероятности  $P = 0,95$  поправочный коэффициент  $k$  принимают равным 1,1.

При доверительной вероятности  $P = 0,99$  поправочный коэффициент принимают равным 1,4, если число суммируемых составляющих  $m > 4$ . Если же число составляющих  $m \leq 4$ , то поправочный коэффициент  $k \leq 1,4$ ; более точное значение  $k$  можно найти с помощью графика зависимости

$$k = k(l, m),$$

где  $m$  - число суммируемых составляющих (аргументов);  $l$  - параметр, зависящий от соотношения границ составляющих.

На графіке кривая 1 дает зависимость  $k$  от  $l$  при  $m = 2$ , кривая 2 - при  $m = 3$ , кривая 3 - при  $m = 4$ .



Для нахождения  $k$  границы составляющих  $b_i\Theta_i$ , располагают в порядке возрастания:  $b_1\Theta_1 \leq b_2\Theta_2 \leq b_3\Theta_3 \leq b_4\Theta_4$  и вычисляют отношения границ:  $l = b_2\Theta_2/b_1\Theta_1$ ,  $l_2 = b_m\Theta_m/b_{m-1}\Theta_{m-1}$ . Затем по графику определяют значения  $k_1 = k(l_1, m)$  и  $k_2 = k(l_2, m)$ ; в качестве поправочного коэффициента принимают наибольшее из  $k_1$  и  $k_2$ .

Погрешность, возникающая при использовании формулы (7) для суммирования неисключенных систематических погрешностей, не превышает 5 % (расчеты получены на основе анализа результатов композиций равномерных распределений).

2.5.2. Если границы неисключенных систематических погрешностей результатов измерений аргументов заданы доверительными границами, соответствующими вероятностям  $P_i$ , (границы неисключенных систематических погрешностей результатов измерений аргументов вычислены по формуле (7), то границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения для вероятности  $P$  вычисляют (без учета знака) по формуле

$$\Theta(P) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \cdot \frac{\Theta_i^2(P)}{k_i^2}}. \quad (8)$$

Для вероятности  $P = 0,95$   $k_i = 1,1$ ; для  $P = 0,99$  значения коэффициентов  $k_i$  определяют в соответствии с п. 2.5.1.

2.6. Погрешность результата косвенного измерения оценивают на основе композиции распределений случайных и неисключенных систематических погрешностей.

2.6.1. Если  $\Theta(P)/S(\tilde{A}) > 8$ , то за погрешность результата косвенного измерения принимают неисключенную систематическую составляющую погрешности измерения и ее границы вычисляют в соответствии с п. 2.5.

2.6.2. Если  $\Theta(P)/S(\tilde{A}) < 0,8$ , за погрешность результата косвенного измерения принимают случайную составляющую погрешности измерения и ее границы вычисляют в соответствии с п. 2.4.

2.6.3. Если  $0,8 \leq \Theta(P)/S(\tilde{A}) \leq 8$ , то доверительную границу погрешности результата косвенного измерения  $\Delta(P)$  вычисляют (без учета знака) по формуле

$$\Delta(P) = K(\varepsilon(P) + \Theta(P)), \quad (9)$$

где  $K$  - коэффициент, зависящий от доверительной вероятности и от отношения  $\Theta(P)/S(\tilde{A})$ .

Значения коэффициента  $K$  в зависимости от отношения  $\Theta(P)/S(\tilde{A})$  для вероятности  $P = 0,95$  и  $P = 0,99$ :

$\frac{\Theta(P)}{S(\tilde{A})}$	0,5	0,75	1	2	3	4	5	6	7	8
$K$ (для $P=0,95$ )	0,81	0,77	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81
$K$ (для $P=0,99$ )	0,87	0,85	0,82	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85

Примечание. Погрешность, возникающая при использовании формулы (9) для суммирования случайных и неисключенных систематических погрешностей, не превышает 12%

### 3. КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

3.1. Для косвенных измерений при нелинейных зависимостях и некоррелированных погрешностях измерений аргументов используют метод линеаризации.

3.2. Метод линеаризации предполагает разложение нелинейной функции в ряд Тейлора:

$$f(a_1, \dots, a_m) = f(\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_m) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial a_i} \Delta a_i + R, \quad (10)$$

где  $f(a_1, \dots, a_m)$  - нелинейная функциональная зависимость измеряемой величины  $\tilde{A}$  от измеряемых аргументов  $a_i$ ;  $\partial f / \partial a_i$  - первая производная от функции  $f$  по аргументу  $a_i$ , вычисленная в точке  $\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_m$ ;  $\Delta a_i$  - отклонение результата измерения аргумента  $a_i$ , от его среднего арифметического;  $R$  - остаточный член.

Примечание. Метод линеаризации допустим, если можно пренебречь остаточным членом  $R$ .

3.3. Остаточным членом  $R = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^m \frac{\partial^2 f}{\partial a_i \partial a_j} (\Delta a_i \cdot \Delta a_j)$  пренебрегают, если

$$R < 0,8 \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial a_i} \right)^2 \cdot S^2(\tilde{a}_i)}, \quad (11)$$

где  $S^2(\tilde{a}_i)$  - среднее квадратическое отклонение случайных погрешностей результата измерения  $a_i$ -го аргумента.

Отклонения  $\Delta a_i$  при этом должны быть взяты из полученных значений погрешностей и такими, чтобы они максимизировали выражение для остаточного члена  $R$ .

3.4. Результат измерения  $\tilde{A}$  вычисляют по формуле

$$\tilde{A} = f(\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_m). \quad (12)$$

3.5. Среднее квадратическое отклонение случайной погрешности результата косвенного измерения  $S(\tilde{A})$  вычисляют по формуле

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial a_i} \right)^2 \cdot S^2(\tilde{a}_i)}. \quad (13)$$

3.6. Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, вычисляют в соответствии с п. 2.4, подставляя вместо коэффициентов  $b_1, b_2, \dots, b_m$  первые производные  $\partial f / \partial a_1, \partial f / \partial a_2, \dots, \partial f / \partial a_m$ , соответственно.

3.7. Границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения вычисляют в соответствии с п. 2.5, подставляя вместо коэффициентов  $b_1, b_2, \dots, b_m$  первые производные,  $\partial f/\partial a_1, \partial f/\partial a_2, \dots, \partial f/\partial a_m$ , соответственно.

3.8. Погрешность результата косвенного измерения оценивают в соответствии с п. 2.6.

3.9. Пример вычисления результата косвенного измерения и его погрешностей при нелинейной зависимости приведен в приложении 3.

## 4. МЕТОД ПРИВЕДЕНИЯ

4.1. При наличии корреляции между погрешностями измерений аргументов для определения результатов косвенного измерения и его погрешности используют метод приведения, который предполагает наличие ряда отдельных значений измеряемых аргументов, полученных в результате многократных измерений. Этот метод можно также применять при неизвестных распределениях погрешностей измерений аргументов.

4.2. Метод основан на приведении ряда отдельных значений косвенно измеряемой величины к ряду прямых измерений. Получаемые сочетания отдельных результатов измерений аргументов подставляют в формулу (1) и вычисляют отдельные значения измеряемой величины  $A: A_1, \dots, A_j, \dots, A_L$ .

4.3. Результат косвенного измерения  $A$  вычисляют по формуле

$$\tilde{A} = \sum_{j=1}^L \frac{A_j}{L}, \quad (14)$$

где  $L$  - число отдельных значений измеряемой величины;  $A_j$  -  $j$ -е отдельное значение изменяемой величины, полученное в результате подстановки  $j$ -го сочетания согласованных результатов измерений аргументов в формулу (1).

4.4. Среднее квадратическое отклонение случайных погрешностей результата косвенного измерения вычисляют по формуле

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{j=1}^L \frac{(A_j - \tilde{A})^2}{L(L-1)}}. \quad (15)$$

4.5. Доверительные границы случайной погрешности для результата измерения вычисляют по формуле

$$\Delta = T \cdot S(\tilde{A}),$$

где  $T$  - коэффициент, зависящий от вида распределения отдельных значений измеряемой величины  $A$ , выбранной доверительной вероятности.

При нормальном распределении отдельных значений измеряемой величины доверительные границы случайных погрешностей вычисляют в соответствии с ГОСТ 8.207-76.

4.6. Границы неисключенной систематической погрешности результата косвенных измерений при линейной зависимости вычисляют в соответствии с п. 2.5, при нелинейной зависимости - в соответствии с п. 3.7.

4.7. Доверительные границы погрешности результата косвенного измерения вычисляют в соответствии с п. 2.6.

## 5. ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

5.1. Формы представления результата измерения должны соответствовать МИ 1317-86.

5.2. Если предполагают исследование и сопоставление результатов измерений или анализ погрешностей, то результат измерения и его погрешность представляют в виде

$$\tilde{A}, S(\tilde{A}), n, \Theta(P),$$

где  $n$  - число измерений того аргумента, при измерении которого выполнено минимальное число измерений.

5.3. Если границы погрешности результата измерения симметричны, то результат измерения и его погрешность представляют в виде

$$\tilde{A} \pm \Delta(P).$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Справочное

**ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕКОМЕНДАЦИИ**

Метод линеаризации - нахождение результата измерения и оценивание его погрешностей, основанные на соотношении

$$A = f(a_1, \dots, a_m) = f(\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_m) - \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial a_i} \Delta a_i + R.$$

Метод приведения (приведение результатов косвенных измерений к ряду прямых измерений) - получение ряда отдельных значений измеряемой величины путем подстановки отдельных значений аргументов в формулу, выражающую зависимость косвенно измеряемой величины от аргументов.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## Справочное

**КРИТЕРИЙ ОТСУТСТВИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОГРЕШНОСТЯМИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ АРГУМЕНТОВ**

При условии, что распределение случайных погрешностей результатов измерений аргументов не противоречит нормальному распределению, критерием отсутствия корреляционной связи между погрешностями результатов измерений аргументов является выполнение неравенства.

$$\left| \frac{\tilde{r}\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\tilde{r}^2}} \right| < t_q,$$

где  $t_q$  - коэффициент Стьюдента, соответствующий уровню значимости  $q$  и числу степеней свободы  $f = n - 2$ ;

$$\tilde{r} = \frac{\sum_{i=1}^n (a_{hi} - \tilde{a}_h) \cdot (a_{ji} - \tilde{a}_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_{hi} - \tilde{a}_h)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (a_{ji} - \tilde{a}_j)^2}}$$

оценка коэффициента корреляции между погрешностями аргументов  $a_h$  и  $a_j$ ;  $a_{hi}$ ,  $a_{ji}$ , - результаты  $i$ -го измерения  $h$ -го и  $j$ -го аргументов;  $n_j = n = n$  - число измерений каждого из аргументов.

Если измеряемая величина зависит от  $m$  аргументов, необходимо проверить отсутствие корреляционных связей между погрешностями всех парных сочетаний аргументов.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

## Справочное

Пример. Определение плотности твердого тела по формуле  $\rho = m/V$ .

При определении плотности твердого тела получены результаты измерений аргументов, представленные в таблице.

Масса тела $m_i \cdot 10^3$ кг	$(m_i - \tilde{m}) \cdot 10^7$ кг	$(m_i - \tilde{m}) \cdot 10^2$ , кг <sup>2</sup>	Объем тела $V_i \cdot 10^6$ , м <sup>3</sup>	$(V - \tilde{V}) \cdot 10^{10}$ м <sup>3</sup>	$(V - \tilde{V})^2 \cdot 10^{20}$ м <sup>6</sup>
252,9119	1	1	195,3799	1	1
252,9133	13	169	195,3830	32	1024
252,9151	31	961	195,3790	8	64
252,9130	10	100	195,3819	21	441
252,9109	11	121	195,3795	3	9
252,9094	26	676	195,3788	10	100
252,9113	7	49	195,3792	6	36
252,9115	5	25	195,3794	4	16
252,9119	1	1	195,3794	4	16
252,9115	5	25	195,3791	7	49
252,9118	2	4	195,3791	7	49

$$\tilde{m} = 252,9120 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \quad \tilde{V} = 195,3798 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$S^2(\tilde{m}) = 19,4 \cdot 10^{-14} \text{ кг}^2 \quad S^2(\tilde{V}) = 16,4 \cdot 10^{-20} \text{ м}^6$$

Зависимость измеряемой величины от аргументов нелинейна, поэтому для нахождения результата измерения и оценки его погрешностей следует воспользоваться методом линеаризации. Предварительно следует проверить, выполняется ли неравенство (11).

При линеаризации функции  $\rho = m/V$  остаточный член имеет вид

$$R = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 \rho}{\partial V^2} (\Delta V)^2 + \frac{\partial^2 \rho}{\partial m^2} (\Delta m)^2 + 2 \frac{\partial^2 \rho}{\partial m \cdot \partial V} \cdot \Delta m \cdot \Delta V \right].$$

Числовое значение  $R$  равно

$$R = \frac{252,912 \cdot 10^{-3}}{(195,3798 \cdot 10^{-6})^3} \cdot (32 \cdot 10^{-10})^2 + \frac{32 \cdot 10^{-10} \cdot 31 \cdot 10^{-7}}{(195,3798 \cdot 10^{-6})^2} =$$

$$= 0,0347240 \cdot 10^{-5} + 0,0259867 \cdot 10^{-5} = 0,0007107 \cdot 10^{-5} \cong 6 \cdot 10^{-7} .$$

Знаки у слагаемых взяты одинаковыми, так как погрешности  $\Delta V$  и  $\Delta m$  случайные. Числовое значение  $R$  необходимо сравнить с числовым значением  $0,8 \times S(\rho)$ .

Числовое значение  $S(\rho)$  равно

$$S(\tilde{\rho}) = \sqrt{\left(\frac{1}{\tilde{V}}\right)^2 \cdot S^2(\tilde{m}) + \left(\frac{\tilde{m}}{\tilde{V}^2}\right)^2 \cdot S^2(\tilde{V})} = \sqrt{\frac{213 \cdot 10^{-14}}{11 \cdot 38173,2662 \cdot 10^{-12}} + \frac{(252,912 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 180 \cdot 10^{-20}}{11 \cdot (38173,2662 \cdot 10^{-12})^2}} \cong 0,0035.$$

Так как  $0,0000006 < 0,8 \cdot 0,0035$ , то условие неравенства (11) выполняется.

В соответствии с формулой (12) результат измерения равен

$$\tilde{\rho} = \frac{\tilde{m}}{\tilde{V}} \cong 1,294463 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Среднее квадратическое отклонение результата вычисляют в соответствии с формулой (13)

$$S(\tilde{\rho}) = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial m}\right)^2 \cdot S^2(\tilde{m}) + \left(\frac{\partial \rho}{\partial V}\right)^2 \cdot S^2(\tilde{V})} \cong 0,004 \text{ кг/м}^3.$$

Запись результата измерения, согласно п. 5.2, можно представить в виде

$$\tilde{\rho} = 1,294463 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; \quad S(\tilde{\rho}) = 0,004 \text{ кг/м}^3; \quad n_1 = n_2 = 11.$$

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2. КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

3. КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

4. МЕТОД ПРИВЕДЕНИЯ

5. ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

*ПРИЛОЖЕНИЕ 1* ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕКОМЕНДАЦИИ

*ПРИЛОЖЕНИЕ 2* КРИТЕРИЙ ОТСУТСТВИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОГРЕШНОСТЯМИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИИ АРГУМЕНТОВ

*ПРИЛОЖЕНИЕ 3*

## Контрольные вопросы по теме

---

1. Каким уравнением связываются результаты косвенных измерений с искомым значением физической величины?
2. Каким образом определяется функция, связывающая результаты косвенных измерений с искомым значением физической величины?
3. Результаты измерений аргументов и оценки их погрешностей могут быть получены
  - a) из прямых измерений,
  - b) из косвенных измерений,
  - c) из совокупных измерений,
  - d) из совместных измерений,
  - e) из справочной литературы,
  - f) из технической документации,
  - g) всеми перечисленными способами?
4. Какую вероятность обычно принимают при оценивании доверительных границ погрешностей результата косвенного измерения?
5. Допустимо ли принять вероятность 0,999 при оценивании доверительных границ погрешностей результата косвенного измерения?
6. Запишите уравнение связи для случая косвенных измерений при линейной зависимости искомого значения с измеряемыми аргументами и отсутствии корреляции между погрешностями измерений аргументов.
7. По какой формуле вычисляют результат косвенного измерения при линейной зависимости искомого значения с измеряемыми аргументами?
8. По какой формуле вычисляют среднее квадратическое отклонение результата косвенного измерения в случае линейной зависимости искомого значения с измеряемыми аргументами?
9. По какой формуле вычисляют доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения (при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям)?
10. Если неисключенные систематические погрешности результатов измерений аргументов заданы границами  $\theta_i$ ; то по какой формуле вычисляют доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения  $\Theta(p)$ ?
11. При определении доверительных границ неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения  $\Theta(p)$  какое значение поправочного коэффициента принимают для доверительной вероятности  $P = 0,95$ ?
12. При определении доверительных границ неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения  $\Theta(p)$  с

числом суммируемых составляющих  $m > 4$  какое значение поправочного коэффициента принимают для доверительной вероятности  $P = 0,99$ ?

13. Если  $\Theta(P)/S(\tilde{A}) > 8$ , то какую величину принимают за погрешность результата косвенного измерения?

14. Если  $\Theta(P)/S(\tilde{A}) < 0,8$ , то какую величину принимают за погрешность результата косвенного измерения?

15. Если  $0,8 \leq \Theta(P)/S(\tilde{A}) \leq 8$ , то по какой формуле вычисляют доверительную границу погрешности результата косвенного измерения?

16. Какой метод используется для косвенных измерений при нелинейных зависимостях и некоррелированных погрешностях измерений аргументов?

17. Запишите разложение нелинейной функции в ряд Тейлора, применяемое для косвенных измерений при нелинейных зависимостях и некоррелированных погрешностях измерений аргументов.

18. По какой формуле вычисляют результат косвенного измерения при нелинейной зависимости искомого значения с измеряемыми аргументами?

19. По какой формуле вычисляют среднее квадратическое отклонение результата косвенного измерения в случае нелинейной зависимости искомого значения с измеряемыми аргументами?

20. Какие величины используются вместо линейных коэффициентов при расчете доверительных границ случайной погрешности результата косвенного измерения с нелинейной зависимостью искомого значения с измеряемыми аргументами?

21. Если предполагают исследование и сопоставление результатов измерений или анализ погрешностей, то в каком виде представляют результат измерения и его погрешность? Какие параметры при этом указывают?

## Лекція № 10

**Тема:** Единство измерений. Средства измерений. Классы точности средств измерений.

### Оглавление

Единство измерений .....	2
Эталоны единиц физических величин. Классификация эталонов.....	3
Поверочные схемы.....	6
Средства измерений.....	7
Понятие о средстве измерений .....	7
Классификация средств измерений.....	11
Метрологические характеристики средств измерений и их нормирование .....	12
Классы точности средств измерений .....	15
Контрольные вопросы по теме .....	19

### Источники:

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
2. Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения
3. ДСТУ 3651.0-97 ОСНОВНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ. Основні положення, назви та позначення.
4. ДСТУ 3651.1-97 ПОХІДНІ ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ ТА ПОЗАСИСТЕМНІ ОДИНИЦІ. Основні поняття, назви та позначення.
5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

## **Единство измерений**

---

При проведении измерений необходимо обеспечить их единство.

*Единство измерений* – состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Понятие «единство измерений» довольно емкое. Оно охватывает важнейшие задачи метрологии: унификацию единиц физических величин (ФВ), разработку систем воспроизведения величин и передачи их размеров рабочим средствам измерений с установленной точностью и ряд других вопросов. Единство измерений должно обеспечиваться при любой точности, необходимой науке и технике. На достижение и поддержание на должном уровне единства измерений направлена деятельность государственных и ведомственных метрологических служб, проводимая в соответствии с установленными правилами, требованиями и нормами. На государственном уровне деятельность по обеспечению единства измерений регламентируется Метрологической системой Украины.

### **Воспроизведение, хранение и передача размера единицы физической величины**

---

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все существующие средства измерений (СИ) одной и той же величины. Это достигается путем точного воспроизведения и хранения в специализированных учреждениях установленных единиц ФВ и передачи их размеров применяемым СИ.

*Воспроизведение единицы физической величины* – совокупность операций по материализации единицы ФВ с помощью государственного эталона. Различают воспроизведение основной и производной единиц.

*Воспроизведение основной единицы* – это создание фиксированной по размеру ФВ в соответствии с определением единицы. Оно осуществляется с помощью государственных первичных эталонов. Например, единица массы 1 кг хранится в Национальном научном центре «Институт метрологии».

*Воспроизведение производной единицы* — это определение значения ФВ в указанных единицах на основании измерений других величин, функционально связанных с измеряемой величиной.

*Передача размера единицы* – приведение размера единицы ФВ, хранимой поверяемым средством измерения, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при их поверке

или калибровке. Размер единицы передается «сверху вниз», от более точных средств измерения к менее точным.

**Хранение единицы** – совокупность операций, обеспечивающая неизменность во времени размера единицы, присущего данному средству измерения. Хранение эталона единицы ФВ предполагает проведение взаимосвязанных операций, позволяющих поддерживать метрологические характеристики эталона в установленных пределах. При хранении первичного эталона выполняются регулярные его исследования, включая сличения с национальными эталонами других стран с целью повышения точности воспроизведения единицы и совершенствования методов передачи ее размера.

### **Эталоны единиц физических величин. Классификация эталонов**

---

Технической основой обеспечения единства измерений является эталонная база.

**Эталон** – средство измерений (или их комплекс), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Перечень эталонов не повторяет перечня принятых ФВ. Для ряда единиц эталоны не создаются. Это происходит в том случае, когда нет возможности непосредственно сравнивать соответствующие ФВ. Например, нет необходимости в эталоне площади, так как она не поддается непосредственному сравнению.

Конструкция эталона, его физические свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной ФВ и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений. Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя тесно связанными друг с другом признаками: неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

**Неизменность** – свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного интервала времени, а все изменения, зависящие от внешних условий, должны быть строго определенными функциями величин, доступных точному измерению.

Реализация этих требований привела к идее создания «естественных эталонов» различных величин, основанных на естественных физических постоянных.

**Воспроизводимость** – возможность воспроизведения единицы ФВ (на основе ее теоретического определения) с наименьшей погрешностью для данного уровня развития измерительной техники. Это достигается путем

постоянного исследования эталона в целях определения систематических погрешностей и их исключения введением соответствующих поправок.

**Сличаемость** – возможность обеспечения сличения с эталоном других средств измерения, нижестоящих по поверочной схеме, и в первую очередь вторичных эталонов с наивысшей точностью для данного уровня развития техники измерения. Это свойство предполагает, что эталоны по своему устройству и действию не вносят каких-либо искажений в результаты сличений и сами не претерпевают изменений при проведении сличений.

**Поверка СИ** – установление органом государственной метрологической службы пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Поверке подвергают средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору.

При поверке используют эталон. Поверку проводят в соответствии с обязательными требованиями, установленными нормативными документами по поверке. Поверку проводят специально обученные специалисты, аттестованные в качестве поверителей органами Национальной метрологической службы.

Результаты поверки средств измерений, признанных годными к применению, оформляют выдачей свидетельства о поверке, нанесением поверительного клейма или иными способами, установленными нормативными документами по поверке.

Другими официально уполномоченными органами, которым может быть предоставлено право проведения поверки, являются аккредитованные метрологические службы юридических лиц. Аккредитация на право поверки средств измерений проводится уполномоченным на то государственным органом управления.

**Калибровка СИ** — совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений.

Калибровке могут подвергаться средства измерений, не подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору.

Результаты калибровки позволяют определить действительные значения измеряемой величины, показываемые средством измерений, или поправки к его показаниям, или оценить погрешность этих средств. При калибровке могут быть определены и другие метрологические характеристики.

Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на средства измерений, или сертификатом о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах. Сертификат о калибровке представляет собой документ, удостоверяющий факт и результаты калибровки средства измерений, который выдается организацией, осуществляющей калибровку.

Различают следующие виды эталонов:

**Международный эталон** – эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

**Первичный эталон** обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью.

**Государственный первичный эталон** – первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

**Вторичный эталон** – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

**Эталон сравнения** – эталон, применяемый для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

**Рабочий эталон** – эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

**Рабочее средство измерений** – средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

**Эталонная база страны** – совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющаяся основой обеспечения единства измерений в стране.

Структура эталонной базы, являющаяся технической основой обеспечения единства измерений, представлена на рис. 10.1.

В международной практике государственные эталоны обычно называются национальными, а эталоны, хранимые в Международном бюро мер и весов, международными. Термин «национальный эталон» применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащих отдельным государствам, с международным эталоном или при проведении так называемых круговых сличений эталонов ряда стран. Например, национальные эталоны килограмма сличаются один раз в 20-25 лет, а эталоны Вольта и Ома и ряд других сличаются раз в три года. Закон Украины «Про

метрологію та метрологічну діяльність» определяет государственные эталоны как национальные.

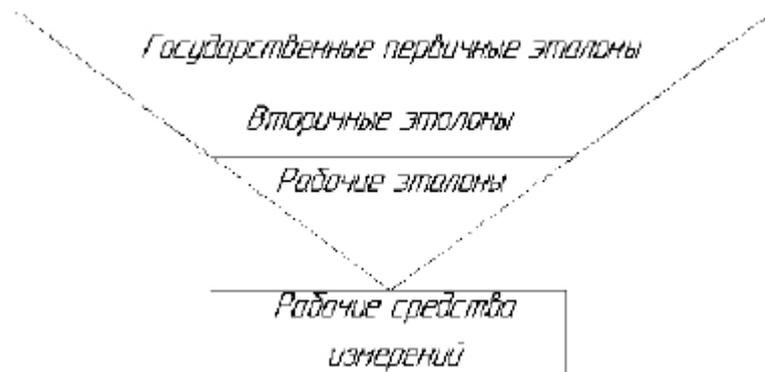


Рис. 10.1 Структура эталонной базы

К первичным эталонам относят как соответствующие эталоны основных СИ, так и производных единиц СИ.

В настоящее время в Украине хранится 52 государственных первичных эталона, из них 6 эталонов основных единиц, а также 16 вторичных эталонов.

### **Поверочные схемы**

Обеспечение правильной передачи размера единиц физической величины во всех звеньях метрологической цепи осуществляется посредством поверочных схем. Поверочная схема – это нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона к рабочим СИ с указанием методов и погрешности при передаче. Основные положения о поверочных схемах приведены в ГОСТ 8.061-80. «ГСП. Поверочные схемы. Содержание и построение». Поверочные схемы делятся на государственные, ведомственные и локальные.

Государственная поверочная схема распространяется на все средства измерения данной ФВ, имеющиеся в стране. Она разрабатывается в виде государственного стандарта, состоящего из чертежа поверочной схемы и текстовой части, содержащей пояснения к чертежу.

Локальная поверочная схема распространяется на средства измерения данной ФВ, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии. Они не должны противоречить государственным схемам для СИ одних и тех же величин. Они могут быть составлены при отсутствии государственной поверочной схемы. В них допускается указывать конкретные типы (экземпляры) средств измерений. Ведомственная и локальная

поверочные схемы оформляют в виде чертежа, элементы которого приведены на рис. 10.2.

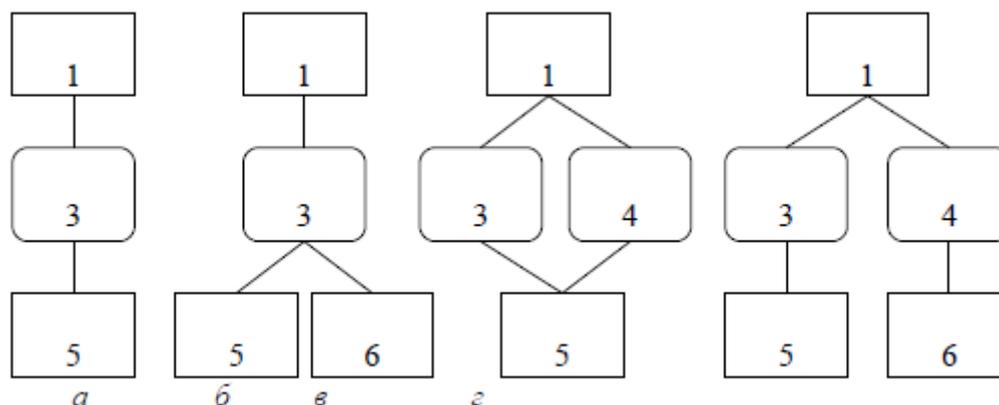


Рис. 10.2 Элементы графического изображения поверочных схем при передаче размера: *a* — от эталона 1 к объекту 5 методом 3; *б* — от эталона 1 к объектам поверки 5 и 6 методом 3; *в* — от эталона 1 к объекту поверки 5 методом 3 или 4; *с* — от эталона 1 к объекту поверки 5 методом 3 и объекту поверки 6 методам 4.

Поверочная схема устанавливает передачу размера единиц одной или нескольких взаимосвязанных величин. Она должна включать не менее двух ступеней передачи размера. Поверочную схему для средств измерения одной и той же величины, существенно отличающихся по диапазонам измерений, условиям применения и методам поверки, а также для средств измерений нескольких ФВ допускается подразделять на части. На чертежах поверочной схемы должны быть указаны:

- наименования СИ и методов поверки;
- номинальные значения ФВ или их диапазоны;
- допускаемые значения погрешностей СИ;
- допускаемые значения погрешностей методов поверки.

## Средства измерений

### **Понятие о средстве измерений**

Средство измерений – это техническое средство (или комплекс), предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящие и (или) хранящие единицу физической величины, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени. Данное определение раскрывает метрологическую сущность СИ, заключающуюся в умении хранить (или воспроизводить) единицу ФВ и в неизменности размера хранимой единицы во времени. Первое обуславливает возможность

выполнения измерения, суть которого, как известно, состоит в сравнении измеряемой величины с ее единицей. Второе принципиально необходимо, поскольку при изменении размера хранимой единицы ФВ с помощью данного СИ нельзя получить результат с требуемой точностью.

Средство измерения является обобщенным понятием, объединяющим разнообразные конструктивно законченные устройства, которые реализуют одну из двух функций:

- а) воспроизводят величину заданного (известного) размера, например, гиря – заданную массу, магазин сопротивлений – ряд дискретных значений сопротивления:
- б) вырабатывают сигнал (показание), несущий информацию о значении измеряемой величины. Показания СИ либо непосредственно воспринимаются органами чувств человека (например, показания стрелочного или цифрового приборов), либо они недоступны восприятию человеком и используются для преобразования другими СИ.

Последняя функция, являющаяся основной, может быть реализована только посредством измерения. Очевидно, что СИ должны содержать устройства (блоки, модули), которые выполняют эти элементарные операции. Такие устройства называются элементарными средствами измерений. В их число входят измерительные преобразователи, меры и устройства сравнения (компараторы).

*Измерительный преобразователь* – это техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины  $X$  в другую величину или измерительный сигнал  $X_1$ , удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

*Информативным параметром входного сигнала* СИ является параметр входного сигнала, функционально связанный с измеряемой величиной и используемый для передачи ее значения или являющийся самой измеряемой величиной.

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

*Устройство сравнения* – это техническое средство, дающее возможность выполнять сравнение выходных сигналов мер однородных величин или же показаний измерительных приборов.

Обобщенная структурная схема СИ показана на рис. 10.4. Входным сигналом является измерительный сигнал, один из параметров которого однозначно связан с измеряемой ФВ:

$$X = X \{a_0[\Psi(t)], a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad (10.1)$$

где  $a_0$  – информативный параметр входного сигнала:  $\Psi(t)$  – измеряемая ФВ:  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – неинформативные параметры входного сигнала.

Неинформативным параметром входного сигнала СИ называется параметр, не используемый для передачи значения измеряемой величины.

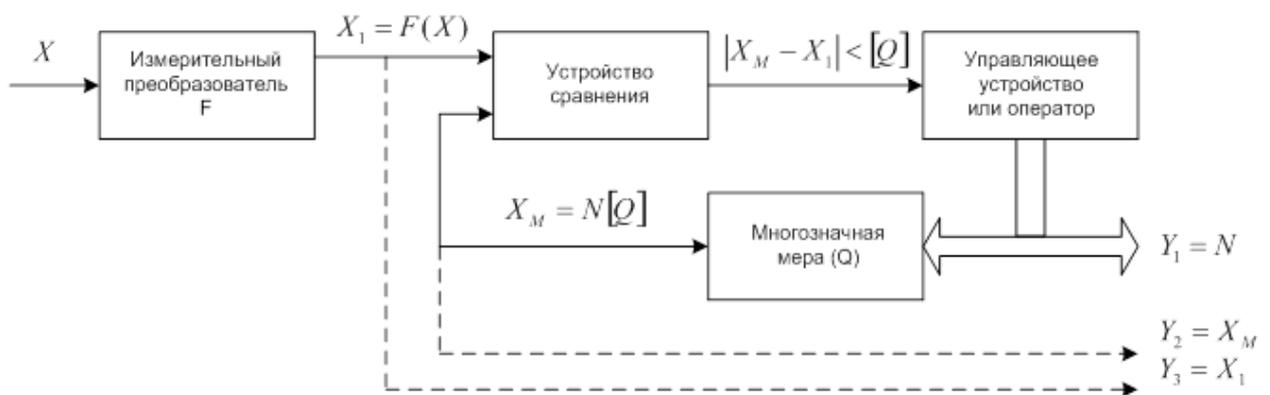


Рис. 10.4 Обобщенная структурная схема средства измерения

Входным сигналом  $X$  является измерительный сигнал, один из параметров которого однозначно связан с измеряемой ФВ. Входной сигнал преобразуется измерительным преобразователем в пропорциональный ему сигнал  $X_1$ . Следует отметить, что преобразователь может отсутствовать, тогда входной сигнал будет подаваться непосредственно на один из входов устройства сравнения.

Сигнал со входа измерительного преобразователя поступает на первый вход устройства сравнения, на второй вход которого подается известный сигнал с выхода многозначной меры. Роль меры могут выполнять самые разные устройства. Например, при взвешивании на весах мерой являются гири с известным весом. Во многих простых СИ роль меры выполняют отсчетные шкалы, предварительно проградуированные в единицах измеряемой величины. К таким средствам измерений относятся линейка, термометр, электромеханические вольтметры и др. Значение выходной величины многозначной меры изменяется в зависимости от величины цифрового кода, который условно считается ее входным сигналом. Изменение кода осуществляется оператором (например, при взвешивании на весах) или автоматически. Так как цифровой код – величина дискретная, то и выходной

сигнал меры изменяется степенями квантами, кратными единице сравниваемых величин.

Сравнение измеряемой и известной величин осуществляется при помощи устройства сравнения. Роль последнего в простейших СИ, имеющих отсчетные шкалы, выполняет человек. Например, при измерении длины тела он сопоставляет её с многозначной мерой линейкой и находит количество  $N$  квантов меры, равное с точностью до кванта измеряемой длине. Устройство сравнения дает информацию, о том, какое значение выходного сигнала многозначной меры должно быть установлено автоматически или при участии оператора. Процесс измерения прекращается при достижении равенства между величинами  $X_I$  и  $X_M$  с точностью до кванта  $[Q]$ .

Выходным сигналом может служить один из трех сигналов:  $Y_1, Y_2, Y_3$ . Если выходной сигнал предназначен для непосредственного восприятия человеком, то его роль выполняет сигнал  $Y_1 = N$ . В данном случае код  $N$  является привычным для человека десятичным кодом. Если же выходной сигнал СИ предназначен для применения в других средствах измерения, то в качестве него может быть использован любой из трех сигналов:  $Y_1, Y_2, Y_3$ . Первый из них при этом является цифровым, как правило, двоичным кодом, который «понимают» входные цифровые устройства последующих СИ. Аналоговый сигнал  $Y_2$  квантован по уровню и представляет собой эквивалент цифрового кода  $N$ , а СИ в этом случае предназначено для воспроизведения ФВ заданного размера и состоит только из одного блока многозначной меры. Сигнал  $Y_3$  представляет собой измерительное преобразование входного сигнала  $X$ . СИ при этом используется только как измерительный преобразователь, а остальные его блоки отсутствуют.

Таким образом, структурная схема, показанная на рис. 10.4 описывает три возможных варианта:

- а) СИ включает все блоки и вырабатывает сигнал  $Y_1$ , доступный восприятию органами чувств человека. Возможно формирование выходных сигналов  $Y_2$  и  $Y_3$ , предназначенных только для преобразования другими СИ;
- б) СИ состоит только из измерительного преобразователя, выходной сигнал которого равен  $Y_3$ ;
- в) СИ содержит только меру, выходной сигнал которой равен  $Y_2$ .

В общем случае выходной сигнал  $Y(X)$  описывается выражением  $Y = \{b_0[X], b_1, b_2, \dots, b_m, S_1, S_2, \dots, S_l, \zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_k\}$ , где  $b_0[X]$  – информативный параметр выходного сигнала, функционально связанный с информативным параметром входного сигнала (10.1);  $b_1, b_2, \dots, b_m$  – неинформативные параметры выходного сигнала;  $S_1, S_2, \dots, S_l$  – параметры СИ, зависящие от его

методической и аппаратной реализации;  $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_k$  – влияющие величины. *Неинформативным параметром* выходного сигнала СИ называется параметр, не используемый для передачи или индикации значения информативного параметра входного сигнала.

СИ могут работать в двух режимах: статическом и динамическом. Статический режим – это такой режим работы СИ, при котором изменением измеряемой величины за время, требуемое для проведения одного измерения, можно пренебречь. В динамическом режиме такое пренебрежение недопустимо, поскольку указанное изменение превышает допустимую погрешность.

### ***Классификация средств измерений***

Средства измерения, используемые в различных областях науки и техники, чрезвычайно многообразны. Однако для этого множества можно выделить некоторые общие признаки, присущие всем СИ независимо от области применения. Эти признаки положены в основу различных классификаций СИ, которые рассмотрены далее.

По *роли, выполняемой в системе обеспечения единства измерений*, СИ делятся на:

- а) метрологические, предназначенные для метрологических целей воспроизведения единицы и (или) хранения или передачи размера единицы;
- б) рабочие, применяемые для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

По *уровню автоматизации* все СИ делятся на три группы:

- а) неавтоматические;
- б) автоматизированные, производящие в автоматическом режиме одну или часть измерительной операции;
- в) автоматические, производящие без непосредственного участия человека измерения и все операции, связанные с обработкой их результатов (регистрацией), передачей данных или выработкой управляющих сигналов.

По *уровню стандартизации* средства измерений подразделяются на:

- а) стандартизованные, изготовленные в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта;
- б) нестандартизованные (уникальные), предназначенные для решения специальной измерительной задачи, в стандартизации требований к которым нет необходимости.

По *отношению к измеряемой физической величине* средства измерения делятся на:

- а) основные – это СИ той физической величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей;
- б) вспомогательные — это СИ той физической величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерения необходимо учесть для получения результатов измерения требуемой точности.

Классификация *по роли в процессе измерения и выполняемым функциям* является основной и представлена на рис. 10.5.

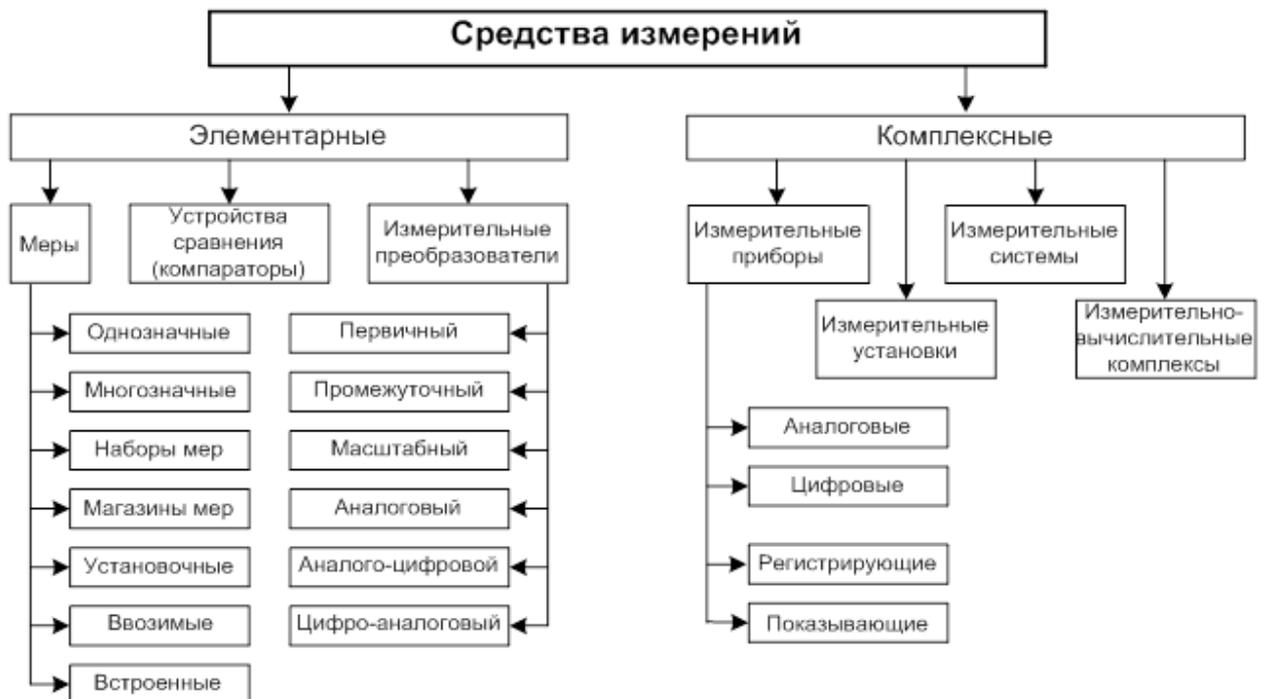


Рис. 10.5. Классификация средств измерений по их роли в процессе измерения и выполняемым функциям

### Метрологические характеристики средств измерений и их нормирование

При использовании средств измерений принципиально важно знать степень соответствия информации об измеряемой величине, содержащейся в выходном сигнале, ее истинному значению. С этой целью для каждого СИ вводятся и нормируются определенные метрологические характеристики (МХ). Метрологическими называются характеристики свойств СИ, оказывающие влияние на результат измерения и его погрешности. Характеристики, устанавливаемые нормативными документами, называются *нормируемыми*, а определяемые экспериментально – *действительными*.

Метрологические характеристики СИ позволяют:

- а) определять результаты измерений и рассчитывать оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерения в реальных условиях применения СИ;

- б) рассчитывать МХ каналов измерительных систем, состоящих из ряда средств измерений с известными МХ;
- в) производить оптимальный выбор СИ, обеспечивающих требуемое качество измерений при известных условиях их применения;
- г) сравнивать СИ различных типов с учетом условий применения.

Нормируемые МХ должны обеспечивать возможность статистического объединения, суммирования составляющих инструментальной погрешности измерений. В общем случае инструментальная погрешность может быть определена как сумма (объединение) следующих составляющих погрешности:

- $\Delta_0(t)$ , обусловленной отклонением действительной функции преобразования в нормальных условиях от номинальной, приписанной соответствующими документами данному типу СИ. Эта погрешность называется основной;
- $\Delta_{cj}$ , обусловленной реакцией СИ на изменение внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала относительно их номинальных значений. Эта погрешность называется дополнительной;
- $\Delta_{din}$ , обусловленной реакцией СИ на скорость (частоту) изменения входного сигнала. Эта составляющая, называемая динамической погрешностью, зависит и от динамических свойств СИ, и от частотного спектра входного сигнала;
- $\Delta_{int}$ , обусловленной взаимодействием СИ с объектом измерений или с другими СИ, включенными в измерительную систему.

Первые две составляющие представляют собой статическую погрешность СИ, а третья – динамическую. Из них только основная погрешность определяется свойствами СИ. Дополнительная и динамическая погрешности зависят как от свойств самого СИ, так и от некоторых других причин (внешних условий, параметров измерительного сигнала и др.).

Нормируемые МХ инвариантны к условиям применения и режиму работы СИ и отражают только его свойства.

Нормируемые МХ, приводимые в нормативной документации, отражают свойства не отдельно взятого экземпляра СИ, а всей совокупности СИ этого типа, т.е. являются номинальными.

Перечень нормируемых МХ делится на шесть основных групп, которые приведены на рис. 10.6.

Для определения результатов измерений должны быть известны следующие МХ:

- **Функция преобразования  $F(X)$ .** Данная функция нормируется для измерительных преобразователей и приборов с неименованной

шкалой или со шкалой, отградуированной в единицах, отличных от единиц входной величины. Задается в виде формулы, таблицы или графика и используется для определения значений измеряемой величины  $X$  в работах условиях применения СИ по известному значению информативного параметра его выходного сигнала.

- **Значение одно-( $Y$ ) или многозначной ( $Y_i$ ) меры.** Для этих характеристик нормируются номинальные или индивидуальные значения. Они используются для устройств, применяемых в качестве мер.
- **Цена деления шкалы измерительного прибора или многозначной меры.** Нормирование цены деления производится для показывающих приборов с равномерной шкалой, функция преобразования которых отображается на именованной шкале. При неравномерной шкале нормируется минимальная цена деления.
- **Характеристики цифрового кода, используемого в СИ и их элементах.** К ним относятся: вид выходного кода, число его разрядов, цена единицы младшего разряда. Эти характеристики нормируются для цифровых приборов.



Рис. 10.6. Номенклатура метрологических характеристик средств измерений

Метрологіческие характеристики погрешностей СИ, приведенные на рис. 10.6, описывают погрешности, обусловленные собственными свойствами СИ в нормальных условиях эксплуатации. Суммарное значение этих погрешностей образует основную погрешность СИ.

### **Классы точности средств измерений**

---

Метрологические характеристики наиболее полно описывают метрологические свойства СИ. Однако в настоящее время в эксплуатации находится достаточно большое число СИ, метрологические характеристики которых нормированы несколько по-другому, а именно на основе классов точности. Класс точности – это обобщенная характеристика СИ, выражаемая пределами допускаемых значений его основной и дополнительной погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность. Класс точности не является непосредственной оценкой точности измерений, выполняемых этим СИ, поскольку погрешность зависит еще от ряда факторов: метода измерений, условий измерений и т.д. Класс точности лишь позволяет судить о том, в каких пределах находится погрешность СИ данного типа. Общие положения деления средств измерений по классу точности устанавливает МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕКОМЕНДАЦИЯ № 34 «КЛАССЫ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ» Международной Организации Законодательной Метрологии (МОЗМ).

Пределы допускаемой основной погрешности  $\Delta_{СИ}$ , определяемые классом точности, – это интервал, в котором находится значение основной погрешности СИ.

Классы точности СИ устанавливаются в стандартах или технических условиях. Средство измерения может иметь два и более класса точности. Например, при наличии у него двух или более диапазонов измерений одной и той же физической величины ему можно присваивать два или более класса точности. Приборы, предназначенные для измерения нескольких физических величин, также могут иметь различные классы точности для каждой измеряемой величины.

Пределы допускаемых основной и дополнительной погрешностей выражают в форме приведенных, относительных или абсолютных погрешностей. Выбор формы представления зависит от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения СИ.

Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности устанавливаются по одной из формул:  $\Delta = \pm a$  или  $\Delta = \pm(a + bx)$ , где  $x$  — значение измеряемой величины или число делений, отсчитанное по шкале:  $a$ ,  $b$  – положительные числа, не зависящие от  $x$ .

Первая формула описывает чисто аддитивную погрешность, а вторая – сумму аддитивной и мультипликативной погрешностей. В технической документации классы точности, установленные в виде абсолютных погрешностей, обозначают, латинскими буквами, например, «Класс точности М», а на приборе буквой «М». Для обозначения используются прописные буквы латинского алфавита или римские цифры, причём меньшие пределы погрешностей должны соответствовать буквам, находящимся ближе к началу алфавита, или меньшим цифрам.

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности определяются по формуле  $\gamma = \Delta/x_N = \pm p$ , где  $x_N$  – нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и  $\Delta$ ;  $p$  — отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда значений:

$$(1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6) \cdot 10^n; n = 1; 0; -1; -2; \dots$$

Нормирующее значение  $x_N$  устанавливается равным большему из пределов измерений (или модулей) для СИ с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой и для измерительных преобразователей, для которых нулевое значение выходного сигнала находится на краю или вне диапазона измерений. Для СИ, шкала которых имеет условный нуль,  $x_N$  равно модулю разности пределов измерений.

Для приборов с существенно неравномерной шкалой  $x_N$  принимают равным всей длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. В этом случае пределы абсолютной погрешности выражают, как и длину шкалы, в единицах длины, а на средстве измерений класс точности условно обозначают, например, в виде значка  $\checkmark_{0,5}$  где 0,5 – значение числа  $p$ .

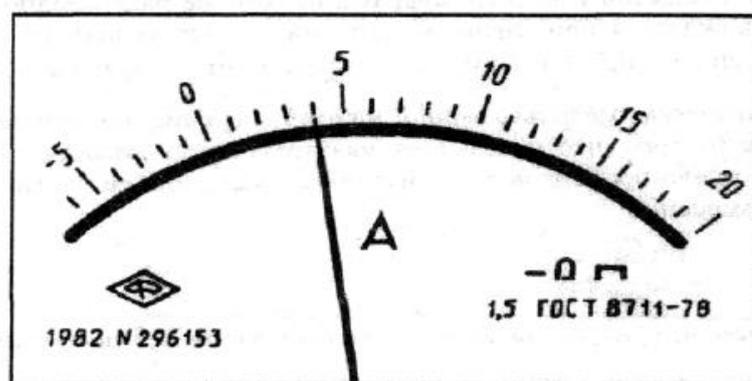


Рис 10.7. Лицевая петель амперметра класса точности 1,5 с равномерной шкалой

В остальных рассмотренных случаях класс точности обозначают конкретным числом  $p$ , например 1,5. Обозначение наносится на циферблат, щиток или корпус прибора (рис. 10.7).

В случае если абсолютная погрешность задается формулой  $\pm(a+bx)$ , пределы допускаемой относительной основной погрешности

$$\delta = \Delta/x = \pm [c + d(|x_k/x| - 1)] \quad (10.2)$$

где  $c, d$  – отвлеченные положительные числа, выбираемые из ряда:

$(1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6) \cdot 10^n; n = 1; 0; -1; -2; \dots; x_k$  — больший (по модулю) из пределов измерений. При использовании формулы (10.2) класс точности обозначается в виде «0,02/0,01», где числитель конкретное значение числа  $c$ , знаменатель числа  $d$  (рис. 10.8). В обоснованных случаях пределы допускаемой относительной основной погрешности определяют по более сложным формулам либо в виде графика или таблицы.

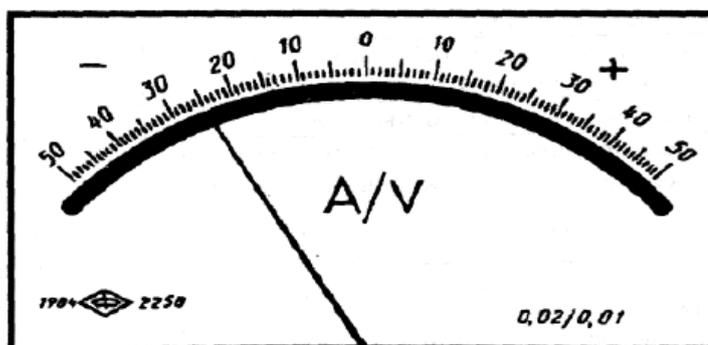


Рис. 10.8 Лицевая панель ампервольтметра класса точности 0,02/0,01 с равномерной шкалой

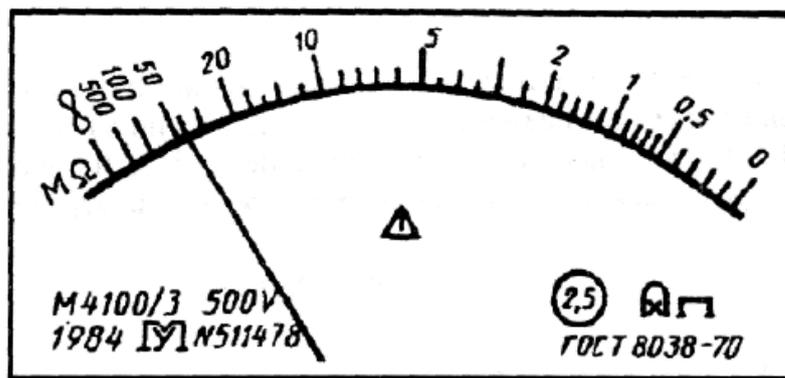


Рис 10.9. Лицевая петель мегаомметра класса точности 2,5 с неравномерной шкалой

Пределы допускаемой относительной основной погрешности определяются по формуле  $\delta = \Delta/x = \pm q$ , если  $\delta = \pm a$ . Значение постоянного

числа  $q$  устанавлюється так же, як и значення числа  $p$ . Клас точности на прибор обозначается в виде  $\textcircled{0,5}$ , где 0,5 – конкретное значение  $q$  (рис. 10.9).

В стандартах и технических условиях на СИ указывается минимальное значение  $x_0$ , начиная с которого применим принятый способ выражения пределов допускаемой относительной погрешности. Отношение  $x_k / x_0$  называется динамическим диапазоном измерения.

## Контрольные вопросы по теме

---

1. Дайте определение термину "Единство измерений".
2. Дайте определение термину "Воспроизведение единицы физической величины".
3. Что представляет собой "передача размера единицы физической величины"?
4. В чем состоит "хранение единицы физической величины"?
5. Что называется эталоном?
6. Какими тремя признаками должен обладать эталон?
7. Какое свойство эталона называется "неизменность"?
8. Какое свойство эталона называется "воспроизводимость"?
9. Какое свойство эталона называется "сличаемость"?
10. Что такое поверка средств измерений?
11. Каким образом оформляют результаты поверки?
12. Что называется "калибровкой средств измерений"?
13. Каким образом оформляют результаты калибровки?
14. Что такое международный эталон?
15. Что такое первичный эталон?
16. Что такое государственный первичный эталон?
17. Что такое рабочий эталон?
18. В чем отличие национального эталона от государственного?
19. Как часто сличают национальные эталоны?
20. Какой документ называют поверочной схемой?
21. Приведите определение термина «средство измерения».
22. Какие функции реализуют средства измерения?
23. Какие три основных устройства составляют элементарное средство измерения?
24. Какие виды классификации средств измерения Вам известны?
25. Каким образом разделяются средства измерения по их роли в системе обеспечения единства измерений?
26. Как разделяются средства измерения по уровню автоматизации?
27. Как разделяются средства измерения по уровню стандартизации?
28. Какие средства измерений называются стандартизованными?
29. Какие средства измерений называются нестандартизованными?
30. В каких отраслях, по-вашему, применяются нестандартизованные средства измерения?
31. Что называется нормируемыми метрологическими характеристиками?
32. Что называется действительными метрологическими характеристиками?
33. Что называется классом точности измерительного прибора?

## Лекція № 11

**Тема:** Основы государственной системы стандартизации**Оглавление**

Место стандартизации в системе обеспечения качества .....	2
Закон України «Про стандартизацію» .....	2
Основні засади розроблення національних стандартів, кодексів усталеної практики та змін до них .....	4
Суб'єкти стандартизації .....	5
Перехід України на міжнародні стандарти .....	5
Преимущества международных стандартов .....	6
Стандарты, применяемые в практике международных проектов.....	8
Контрольные вопросы по теме .....	9
Уровень модуля.....	9

**Источники:**

1. Закон Украины «Про стандартизацію».  
<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1315-18>.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»  
<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>

## **Место стандартизации в системе обеспечения качества**

---

В соответствии с международным стандартом ИСО 8402:1994 «качество - совокупность характеристик объекта, которые придают ему способность удовлетворять установленные и предполагаемые потребности». Объектами являются продукция, процесс, услуга, деятельность, система и т.д., и каждый из них описывается совокупностью характеристик и параметров, которые подлежат нормированию и оценке путем измерений, контроля либо испытаний.

Надлежащее качество определяется результатом совокупной деятельности стандартизации, метрологии и оценки соответствия (сертификации). Учитывая важную роль каждого из этих видов деятельности, в Украине приняты законы «Про стандартизацію», «Про метрологію і метрологічну діяльність» и «Про технічні регламенти та оцінку відповідності». Закон «Про стандартизацію» установил правовые основы стандартизации в стране, обязательные для всех юридических и физических лиц, и определил меры государственной защиты интересов потребителей и государства посредством применения нормативных документов по стандартизации.

## **Закон України «Про стандартизацію»**

---

В этом законе сформулировано определение понятия: «стандартизація - діяльність, що полягає в установленні положень для загального та неодноразового використання щодо наявних чи потенційних завдань і спрямована на досягнення оптимального ступеня впорядкованості в певній сфері».

Метою стандартизації в Україні є:

- 1) забезпечення відповідності об'єктів стандартизації своєму призначенню;
- 2) керування різноманітністю, застосовність, сумісність, взаємозамінність об'єктів стандартизації;
- 3) забезпечення раціонального виробництва шляхом застосування визнаних правил, настанов і процедур;
- 4) забезпечення охорони життя та здоров'я;
- 5) забезпечення прав та інтересів споживачів;
- 6) забезпечення безпечності праці;
- 7) збереження навколишнього природного середовища і економія всіх видів ресурсів;

8) усунення технічних бар'єрів у торгівлі та запобігання їх виникненню, підтримка розвитку і міжнародної конкурентоспроможності продукції.

Об'єктами стандартизації є:

- 1) матеріали, складники, обладнання, системи, їх сумісність;
- 2) правила, процедури, функції, методи, діяльність чи її результати, включаючи продукцію, персонал, системи управління;
- 3) вимоги до термінології, позначення, фасування, пакування, маркування, етикетування тощо.

У Законі терміни вживаються в такому значенні:

- 1) стандарт - нормативний документ, заснований на консенсусі, прийнятий визнаним органом, що встановлює для загального і неодноразового використання правила, настанови або характеристики щодо діяльності чи її результатів, та спрямований на досягнення оптимального ступеня впорядкованості в певній сфері;
- 2) національний стандарт - стандарт, прийнятий національним органом стандартизації та доступний для широкого кола користувачів;
- 3) міждержавний стандарт - регіональний стандарт, передбачений Угодою про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології і сертифікації від 13 березня 1992 року та прийнятий Міждержавною радою із стандартизації, метрології і сертифікації;
- 4) регіональний стандарт - стандарт, прийнятий регіональною організацією стандартизації і доступний для широкого кола користувачів;
- 5) європейський стандарт - регіональний стандарт, прийнятий європейською організацією стандартизації;
- 6) міжнародний стандарт - стандарт, прийнятий міжнародною організацією із стандартизації і доступний для широкого кола користувачів;

Залежно від рівня суб'єкта стандартизації, що приймає нормативні документи, вони поділяються на:

- 1) національні стандарти та кодекси усталеної практики, прийняті національним органом стандартизації;

- 2) стандарти, кодекси усталеної практики та технічні умови, прийняті підприємствами, установами та організаціями, що здійснюють стандартизацію.

### ***Основні засади розроблення національних стандартів, кодексів усталеної практики та змін до них***

1. Національні стандарти, кодекси усталеної практики та зміни до них розробляються у спосіб, що не створює технічних бар'єрів у торгівлі та запобігає їх виникненню.

2. Національні стандарти, кодекси усталеної практики та зміни до них розробляються на основі:

- 1) міжнародних стандартів, кодексів усталеної практики та змін до них, якщо вони вже прийняті або перебувають на завершальній стадії розроблення, або відповідних їх частин, крім випадків, якщо такі стандарти, кодекси та зміни є неефективними або невідповідними, зокрема з огляду на недостатній рівень захисту, суттєві кліматичні чи географічні фактори або технологічні проблеми;

- 2) регіональних стандартів, кодексів усталеної практики та змін до них або відповідних їх частин у разі, якщо міжнародні стандарти, кодекси усталеної практики та зміни до них не можуть бути використані з причин, зазначених у пункті першому цієї частини;

- 3) стандартів, кодексів усталеної практики та змін до них або відповідних їх частин держав, що є членами відповідних міжнародних чи регіональних організацій стандартизації та з якими укладено відповідні міжнародні договори України про співробітництво і проведення робіт у сфері стандартизації;

- 4) наукових досягнень, знань і практики.

4. У разі прийняття європейського стандарту як національного забезпечується ідентичність національного стандарту відповідному європейському стандарту. З дня набрання чинності національним стандартом, що є ідентичним європейському стандарту, повинен бути скасований національний стандарт, положення якого суперечать положенням відповідного національного стандарту, що є ідентичним європейському стандарту.

## **Суб'єкти стандартизації**

Суб'єктами стандартизації є:

- 1) центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері стандартизації;
- 2) центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері стандартизації;
- 3) національний орган стандартизації;
- 4) технічні комітети стандартизації;
- 5) підприємства, установи та організації, що здійснюють стандартизацію.

Центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері стандартизації, а також Центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері стандартизації в Україні є Міністерство економічного розвитку і торгівлі України.

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26.11.2014 № 1163-р (далі – розпорядження) визначено, що функції національного органу стандартизації виконує державне підприємство “Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості” (ДП “УкрНДНЦ”).

## **Перехід України на міжнародні стандарти**

---

Угода про асоціацію між Європейським Союзом (ЄС) і Україною, підписана 27 червня 2014 року, передбачає створення Поглибленої та Всеосяжної Зони Вільної Торгівлі (ПВЗВТ).

Для досягнення цієї мети наша країна повинна виконати взяті на себе зобов'язання щодо зменшення перепон для торгівлі, що виникають у зв'язку із різницею в технічних регламентах України та ЄС, стандартів, процедур оцінки відповідності та інших вимог до якості продукції. Ці зобов'язання, зокрема, охоплюють цілу низку заходів, спрямованих на поступове забезпечення відповідності технічним регламентам ЄС, усунення розбіжностей між системами стандартизації, метрології, акредитації, робіт з оцінки відповідності та ринкового нагляду ЄС. Майбутня імплементація Угоди про оцінку відповідності та прийнятність промислових товарів забезпечить здійснення торгівлі між Україною та ЄС на таких самих умовах, як і між державами-членами ЄС.

Гармонізація технічних стандартів сторін скоротить існуючі нетарифні бар'єри у торгівлі між сторонами, підвищить якість продукції на внутрішньому ринку України, а також сприятиме формуванню позитивного

іміджу України на світових ринках щодо якості українських товарів та продукції.

Першим кроком на цьому шляху у сфері стандартизації стало прийняття нового Закону України „Про стандартизацію” від 05.06.2014 р., яким передбачено створення національної системи стандартизації, яка відповідатиме сучасним вимогам, зокрема, створення організаційних форм діяльності у цій сфері відповідно до міжнародної та європейської практики.

Нова система стандартизації передбачає введення двох рівнів стандартизації залежно від суб'єкта стандартизації, що приймає стандарти: національні стандарти, прийняті національним органом стандартизації, і стандарти й технічні умови, прийняті підприємствами, установами й організаціями. При цьому буде скасована галузева стандартизація, у зв'язку із чим, протягом п'ятнадцяти років центральні органи виконавчої влади мають право у відповідних сферах діяльності й у рамках своїх повноважень перевіряти, переглядати свої галузеві стандарти з метою переведення їх на рівень національних чи на рівень стандартів підприємств або їхнього скасування.

Закон передбачає також недопущення узгодження проектів національних стандартів з державними органами. Тобто скасовується державна реєстрація технічних умов, а також сама можливість установлювати будь-які додаткові правила, пов'язані з розробкою стандартів і технічних умов підприємств.

### **Преимущества международных стандартов**

---

Международные стандарты ИСО гарантируют, что продукты и услуги являются безопасными, надежными и качественными. Для бизнеса они являются стратегическими инструментами снижения расходов путем минимизации отходов и ошибок, и увеличения производительности. Они помогают компаниям получить доступ к новым рынкам, обеспечивают равные условия для развивающихся стран и способствуют свободной и справедливой международной торговле.

Международные стандарты приносят технологические, экономические и социальные преимущества. Они помогают гармонизировать технические характеристики товаров и услуг, делают отрасль более эффективной и способствуют устранению барьеров в международной торговле. Соответствие международным стандартам помогает убедить потребителей, что продукты являются надежными, эффективными и безопасными для окружающей среды.

Международные стандарты – это стратегические инструменты, руководства, помогающие компаниям решить некоторые из самых насущных проблем современного бизнеса. Они обеспечивают как можно более высокую эффективность бизнес - операций, повышают производительность и помогают компаниям получить доступ на новые рынки.

Преимущества включают:

**Экономия расходов** - международные стандарты позволяют оптимизировать операции и, тем самым, улучшают конечный результат

**Расширение потребительской удовлетворенности** - стандарты помогают улучшить качество, повысить удовлетворенность потребителей и увеличить продажи

**Доступ к новым рынкам** - стандарты помогают преодолеть торговые барьеры и открывают доступ на мировые рынки

**Увеличение доли рынка** - стандарты помогают увеличить производительность и конкурентоспособность

**Экологические преимущества** - стандарты помогают снизить негативное воздействие на окружающую среду

ИСО разработано свыше 19 500 международных стандартов, касающихся почти всех аспектов повседневной жизни.

Когда продукты и услуги соответствуют международным стандартам потребители могут быть уверены, что они являются безопасными, надежными и качественными.

Стандарты ИСО отображают международный опыт и знания, поэтому являются жизненно важным ресурсом для правительств, при разработке нормативных документов.

Национальные правительства могут сделать стандарты ИСО требованием регламента (стандарты ИСО носят добровольный характер). Это дает ряд преимуществ:

**Мнение специалиста** - стандарты ИСО разрабатываются специалистами. Благодаря интеграции стандарта ИСО в национальный регламент, правительство может воспользоваться мнением специалистов, не обращаясь к ним непосредственно.

**Открытие мировой торговли** - стандарты ИСО - международные и приняты многими правительствами. Правительство способствует единым условиям экспорта и импорта во всем мире, интегрируя международные стандарты в национальные регламенты, что облегчает перемещение товаров, технологий и услуг от страны к стране.

## **Стандарты, применяемые в практике международных проектов**

---

Необходимо указать, что несмотря на то, что Украина стремится к переходу на стандарты Международной организации стандартов ISO, данные стандарты в настоящее время не являются доминирующими в мире. До настоящего времени во многих странах используются национальные стандарты и переход на стандарты ISO даже не планируется. Ниже приведен перечень организаций, стандарты которых являются фактически применяемыми стандартами в большинстве стран.

AIA – стандарты AIA (The Aerospace Industries Association, Ассоциация авиакосмической промышленности).

ANSI – стандарты ANSI (American National Standards Institute, Национальный институт стандартизации США). ASCE – стандарты ASCE (American Society of Civil Engineers, Американское общество инженеров-строителей).

ASME – стандарты ASME (American Society of Mechanical Engineers, Американское общество инженеров-механиков).

ASSE – стандарты ASSE (American Society of Safety Engineers, Американское общество инженеров по технике безопасности).

DIN – стандарты Немецкого института стандартизации.

EN – европейские стандарты, принятые CEN, CENELEC или ETSI, в т. ч. Eurocode.

IAS – стандарты IASC (International Accounting Standards Committee foundation, Комитет по Международным стандартам финансовой отчетности).

IEC (МЭК) – стандарты МЭК (Международная электротехническая комиссия).

IEEE – стандарты IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers, Институт инженеров по электротехнике и электронике).

ISA – стандарты ISA (The Instrumentation, Systems, And Automation Society, Американское общество приборостроителей).

ISO – стандарты ISO (International Organization for Standardization, Международная организация по стандартизации).

ITU – стандарты ITU (International Telecommunication Union, Международный союз электросвязи).

UL – стандарты UL (Underwriters Laboratories Inc., Лаборатория по технике безопасности (США)).

Petrobras - стандарты в области механики, нефтепромышленности, добывающей промышленности, разработанные компанией Petrobras; используются в Бразилии и частично в Южной Америке.

## Контрольные вопросы по теме

---

### *Уровень модуля*

1. Как определяется понятие качества?
2. Какие три вида деятельности в совокупности обеспечивают качество объекта?
3. Какие законодательные основы деятельности по стандартизации в нашей стране?
4. Какие цели стандартизации устанавливает Закон Украины «О стандартизации»?
5. Как различаются стандарты по уровню организации, которая их приняла?
6. Какие субъекты могут принимать стандарты в Украине?
7. На какой основе разрабатываются национальные стандарты Украины?
8. Какие преимущества дает внедрение международных стандартов?

## Лекція № 12

**Тема:** Качество и методы его обеспечения.**Оглавление**

Понятие качества .....	2
Качество и сорт .....	2
Принципы менеджмента качества ИСО 9000 .....	3
а) Ориентация на потребителя.....	3
б) Лидерство руководителя.....	3
в) Вовлечение работников.....	3
г) Процессный подход .....	3
д) Системный подход к менеджменту .....	4
е) Постоянное улучшение .....	4
ж) Принятие решений, основанное на фактах .....	4
и) Взаимовыгодные отношения с поставщиками.....	4
Основные процессы обеспечения качества согласно ИСО 9000 .....	4
Основные признаки качества системы .....	4
Контрольные вопросы по теме .....	6
Уровень модуля.....	6

**Источники:**

1. ISO 9000:2015 Системы менеджмента качества – Основные положения и словарь
2. ГОСТ 27.002-89 НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ Основные понятия. Термины и определения

## Понятие качества

В соответствии с международным стандартом ИСО 8402:1994 «качество - совокупность характеристик объекта, которые придают ему способность удовлетворять установленные и предполагаемые потребности». Объектами являются продукция, процесс, услуга, деятельность, система и т.д., и каждый из них описывается совокупностью характеристик и параметров, которые подлежат нормированию и оценке путем измерений, контроля либо испытаний.

Надлежащее качество определяется результатом совокупной деятельности стандартизации, метрологии и оценки соответствия (сертификации). Учитывая важную роль каждого из этих видов деятельности, в Украине приняты законы «Про стандартизацію», «Про метрологію і метрологічну діяльність» и «Про технічні регламенти та оцінку відповідності». Закон «Про стандартизацію» установил правовые основы стандартизации в стране, обязательные для всех юридических и физических лиц, и определил меры государственной защиты интересов потребителей и государства посредством применения нормативных документов по стандартизации.

### **Качество и сорт**

Следует различать понятия *качество* и *сорт*. Качество и сорт – концептуально различные понятия. **Качество** как поставляемый выход или результат — это «степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям» (ISO 9000). **Сорт** как конструктивный замысел — это категория, присваиваемая поставляемым результатам, имеющим одно и то же функциональное назначение, но различные технические характеристики. Руководитель проекта и команда управления проектом отвечают за достижение компромиссных решений в отношении обеспечения требуемых уровней как качества, так и сорта. Уровень качества, который не отвечает требованиям к качеству, — это всегда проблема, а низкий сорт может не быть проблемой. Например:

- Проблема может не быть, если программный продукт низкого сорта (ограниченное число функций) и при этом высокого качества (отсутствие очевидных дефектов, доступно написанное руководство пользователя). В этом примере продукт соответствует общей цели использования.
- Проблема возникает тогда, когда программный продукт высокого сорта (множество функций) имеет низкое качество (множество дефектов, плохо организованная пользовательская

документація). По суті, набір его функцій високого сорта оказывається неефективним и/или недостаточным в связи с низким качеством.

### **Принципы менеджмента качества ИСО 9000**

---

Совокупность международных стандартов серии 9000 (ИСО 9000) определяет все требования к процессу обеспечения качества, и, в частности, определяет требования к управлению (менеджменту) качества.

Успешное руководство организацией и ее функционирование обеспечивается путем ее систематического и прозрачного управления. Успех может быть достигнут в результате внедрения и поддержания в рабочем состоянии системы менеджмента качества, разработанной для постоянного улучшения деятельности с учетом потребностей всех заинтересованных сторон. Управление организацией помимо менеджмента качества включает в себя также и другие аспекты менеджмента.

Следующие восемь принципов менеджмента качества были определены для того, чтобы высшее руководство могло руководствоваться ими с целью улучшения деятельности организации.

#### ***а) Ориентация на потребителя***

Организации зависят от своих потребителей, и поэтому должны понимать их текущие и будущие потребности, выполнять их требования и стремиться превзойти их ожидания.

#### ***б) Лидерство руководителя***

Руководители обеспечивают единство цели и направления деятельности организации. Им следует создавать и поддерживать внутреннюю среду, в которой работники могут быть полностью вовлечены в решение задач организации.

#### ***в) Вовлечение работников***

Работники всех уровней составляют основу организации, поэтому их полное вовлечение в решение задач дает возможность организации с выгодой использовать их способности.

#### ***г) Процессный подход***

Желаемый результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессом.

### ***д) Системный подход к менеджменту***

Выявление, понимание и менеджмент взаимосвязанных процессов как системы содействуют повышению результативности и эффективности организации при достижении ее целей.

### ***е) Постоянное улучшение***

Постоянное улучшение деятельности организации в целом следует рассматривать как ее неизменную цель.

### ***ж) Принятие решений, основанное на фактах***

Эффективные решения должны основываться на анализе данных и информации.

### ***з) Взаимовыгодные отношения с поставщиками***

Организация и ее поставщики взаимозависимы, поэтому отношения взаимной выгоды повышают способность обеих сторон создавать ценности.

Эти восемь принципов менеджмента качества были взяты за основу при разработке стандартов на системы менеджмента качества, входящих в семейство ИСО 9000.

## **Основные процессы обеспечения качества согласно ИСО 9000**

---

**Планирование управления качеством** – процесс определения требований и/или стандартов качества для проекта и его поставляемых результатов, а также документирования того, каким образом проект будет демонстрировать соответствие требованиям и/или стандартам качества.

**Обеспечение качества** – процесс проверки соблюдения требований к качеству и результатов измерений в контроле качества для обеспечения использования соответствующих стандартов качества и операционных определений.

**Контроль качества** – процесс мониторинга и документирования результатов действий в области качества для оценки исполнения и вынесения рекомендаций относительно необходимых изменений.

## **Основные признаки качества системы**

---

Качество проявляется в ряде признаков, основными из которых являются нижеперечисленные признаки. Если система обладает указанными качествами, то эту систему можно признать качественной. Не всегда удается придать системе все перечисленные свойства и не всегда это требуется в полном объеме.

1. Надежность, безотказность, живучесть и стойкость к внешним воздействиям такого рода:

- климатические: дождь, снег, солнечная радиация, низкие температуры, роса, изморось, влага, туман, соли
- природные явления: молниезащита
- биологического происхождения: грызуны, термиты, бактерии, плесень
- коррозионная стойкость
- вибростойкость, стойкость к воздействию ударов и акустических воздействий.

2. Высокие эксплуатационные характеристики:

- механизация, автоматизация процессов
- самоконтроль
- отсутствие необходимости в высококвалифицированном персонале
- удобство, простота обслуживания, доступность узлов соединительных и крепления
- эргономичность: обзор, наблюдаемость и т.п. условия работы оператора
- эстетика, дизайн
- ремонтпригодность, взаимозаменяемость, унификация, стандартизация, ремонтные комплекты, запасные части и принадлежности

3. Стойкость к воздействию радиоэлектронных помех внешних и собственных

4. Отсутствие или низкий уровень собственных излучений: радиоэлектронных, тепловых, эмиссия материала (запах) и т.п.

5. Низкое потребление электроэнергии и других ресурсов: воды, теплоносителя, охлаждающего воздуха и т.д.

6. Экологичность: экологически чистые материалы, низкий уровень потребления и выделения

7. Транспортабельность, габарит, надежная и достаточная упаковка.

8. Маркировка

9. Возможность консервации системы для ее хранения, в частности до начала монтажа системы.

10. Безопасность

11. Эксплуатационная и ремонтная документация, детальная и в полном объеме, в необходимом количестве экземпляров.

## Контрольные вопросы по теме

---

### Уровень модуля

1. Дайте определение понятию «качество».
2. Какие три вида деятельности в совокупности определяют требуемое качество?
3. Какие украинские законы направлены на обеспечение качества?
4. Чем отличаются качество и сорт?
5. Перечислите восемь принципов менеджмента качества, установленных стандартом ИСО 9000.
6. Перечислите основные процессы обеспечения качества, установленные стандартом ИСО 9000.
7. Стойкость к воздействиям какого рода должна проявлять качественная система?
8. Какие климатические воздействия следует учитывать при разработке системы?
9. Какие биологические воздействия на системы при их эксплуатации Вам известны?
10. В чем проявляются высокие эксплуатационные характеристики системы?
11. Какие эксплуатационные требования, связанные с работой оператора, следует соблюдать при проектировании качественной системы?
12. Какие экологические требования соблюдаются при проектировании качественной системы?
13. Как можно охарактеризовать качественную систему в отношении радиоэлектронного излучения?
14. Как называются характеристики системы, необходимые для доставки системы в место сборки, а также для ее хранения?
15. Какой документацией должна сопровождаться качественная система?

## Лекція № 13

### Тема: Стандарты обеспечения безопасности

#### Содержание

Общие принципы безопасной эксплуатации .....	2
Основные термины и определения безопасности .....	3
Классы тяжести последствий аварийных ситуаций .....	6
Общие цели обеспечения безопасности .....	6
Анализ рисков .....	6
Концепция анализа рисков для безопасности.....	6
Классификация уровней риска .....	7
Количественное выражение целей обеспечения безопасности .....	8
Классификация опасностей.....	9
Требования по обеспечению безопасности при эксплуатации .....	10
Требования к общей технологии работ .....	10
Общие требования к мероприятиям по обеспечению безопасности для каждого класса опасности .....	11
Контрольные вопросы по теме .....	13
Уровень модуля.....	13

#### Источники:

1. ГОСТ 27.002-89 НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ Основные понятия. Термины и определения
2. ДНАОП 0.00-1.07-94 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів

## **Общие принципы безопасной эксплуатации**

Безопасность – это состояние объекта эксплуатации и всех входящих в его состав узлов, агрегатов и систем, при котором в течение всего срока эксплуатации в заданных условиях соблюдается допустимый уровень риска:

- 1) гибели или получения травм различной степени тяжести для населения, повреждения государственной или частной собственности, загрязнения окружающей среды за пределами объекта;
- 2) гибели или получения травм различной степени тяжести для персонала, повреждения устройств или сооружений, загрязнения окружающей среды на территории объекта;

Под объектом эксплуатации (далее – объект) понимается промышленный объект (предприятие, цех, склад, транспортный узел, порт, аэропорт и т.д.), транспортный объект (морское, воздушное судно, железнодорожный, автомобильный транспорт и т.д.) – комплекс, в состав которого входит данная система.

Безопасность эксплуатации должна обеспечиваться выполнением технических требований и организационных мероприятий, разработанных в соответствии с положениями нормативных документов, реализованных в процессе проектирования, разработки, изготовления и эксплуатации системы.

Общими принципами обеспечения безопасности при эксплуатации является гарантия защиты людей, имущества и окружающей среды.

Главным приоритетом обеспечения безопасности в процессе выполнения опасных работ при эксплуатации является защита человеческой жизни. Структура приоритетов при обеспечении безопасности определяется следующим порядком (в порядке убывания):

- население, имущество и окружающая среда за пределами объекта;
- персонал, объекты, сооружения, оборудование и окружающая среда на территории объекта;

Для соблюдения указанных принципов должны быть предусмотрены мероприятия по контролю рисков, которые могут возникнуть при эксплуатации. Процесс контроля рисков при создании системы должен быть непрерывным и проводиться на всех этапах:

- Эскизный проект;
- Разработка конструкторской и технологической документации;
- Экспериментальная отработка;
- Эксплуатация.

## Основные термины и определения безопасности

---

Аварийная ситуация	– Ситуация, которая характеризуется возникновением риска ущерба здоровью населения, невыполнения целевой задачи или поражение эксплуатирующего персонала, и которая приводит (в случае ее не устранения) к возникновению аварии
Аварийное состояние объекта	– Состояние объекта в процессе эксплуатации, при котором объект может отклониться от установленных критериев безопасности. Продолжение эксплуатации может привести к кардинальному отклонению от запланированного функционирования объекта и создать возможность возрастания рисков для безопасности до неприемлемого уровня
Авария	– Опасное событие, которое привело к нанесению ущерба
Авария с катастрофическим и последствиями	– Авария, которая: <ul style="list-style-type: none"><li>• повлекла за собой смерть человека;</li><li>• стала причиной инвалидности человека;</li><li>• стала причиной профессионального хронического заболевания, которое требует постоянного лечения;</li><li>• стала причиной уничтожения элементов объекта при невозможности их восстановления;</li><li>• нанесла серьезный невосполнимый ущерб окружающей среде.</li></ul>
Авария с тяжелыми последствиями	– Авария, которая: <ul style="list-style-type: none"><li>• стала причиной профессионального хронического заболевания, которое требует периодического лечения;</li><li>• стала причиной значительного разрушения элементов объекта при возможности их восстановления;</li><li>• нанесла серьезный (но без необратимых последствий) ущерб окружающей среде.</li></ul>
Авария со значительными последствиями	– Авария, причинившая минимальный ущерб организму человека, минимальные повреждения элементам объекта, минимальный ущерб окружающей среде.
Авария с незначительными последствиями	– Авария, не причинившая ущерб организму человека, элементам объекта и окружающей среде.
Анализ рисков	– Анализ характеристик объекта, который проводится с целью определения потенциальных рисков и мероприятий, рекомендуемых для устранения рисков либо их контроля
Безопасность	– Совокупность действий, которые проводятся с целью

	<p>предупреждения и контроля рисков, возникающих в процессе эксплуатации объекта. Задачей безопасности является обеспечение защиты от любого ущерба, который может быть причинен в процессе эксплуатации жизни и здоровью людей, государственной и частной собственности, окружающей среде.</p>
Блокировка безопасности	– Устройство, предназначенное для разрыва цепи между источником электропитания и исполнительными элементами
Взрывоопасная зона	– Зона, в которой существует высокая вероятность взрыва, связанного с хранением/применением взрывоопасных материалов, взрывчатых веществ и сосудов высокого давления
Воздействие на окружающую среду	– Любое изменение физических, химических или биологических свойств окружающей среды, причиной которого стала любая форма веществ или энергии, порожденная деятельностью человека, которая, прямо или опосредованно, оказывает воздействие на: <ul style="list-style-type: none"><li>• здоровье, безопасность и благосостояние населения;</li><li>• социально-экономическую деятельность;</li><li>• биосферу;</li><li>• эстетическое или санитарное состояние окружающей среды;</li><li>• качество природных ресурсов</li></ul>
Загрязнение	– Ухудшение экологического качества в результате деятельности, которая прямо или опосредованно: <ul style="list-style-type: none"><li>• вредит здоровью, безопасности и благосостоянию населения;</li><li>• создает отрицательные условия для социально-экономической деятельности;</li><li>• оказывает неблагоприятное воздействие на биосферу;</li><li>• влияет на эстетическое или санитарное состояние окружающей среды;</li><li>• порождает выбросы веществ или энергии с нарушением установленных экологических стандартов</li></ul>
Неприемлемый риск	– Риск для безопасности, который превышает приемлемый уровень риска.

Нештатная ситуация	– Состояние объекта или порядок его функционирования, которые отличаются от штатных, вызванные ошибками и несанкционированными действиями персонала, повреждениями или отказами техники, отклонениями параметров окружающей среды от расчетных значений.
Окружающая среда	– Совокупность условий, законов, воздействий и взаимодействий физического, химического и биологического порядка, дающая возможность жизни, защищающая ее и управляющая ею во всех ее проявлениях.
Опасная операция	– Операция, при проведении которой может возникнуть опасное событие
Опасное событие	– Состояние объекта или условия его функционирования или условия окружающей среды, которые могут привести к аварии
Опасный фактор	– причина, движущая сила опасного события, определяющая характер опасного воздействия
Операция	– Техническая или технологическая работа, выполняемая персоналом или оборудованием с целью выполнения конкретной задачи.
Остаточный риск	– Риск для безопасности, который сохраняется после реализации мероприятий по уменьшению риска.
Приемлемый риск	– Максимальный уровень риска для безопасности, допустимый при выполнении конкретной операции.
Природные ресурсы	– Земля, атмосфера, недра, поверхностные и подземные воды, территориальные морские воды, элементы биосферы, фауна и флора
Риск	– Качественное и количественное выражения уровня безопасности, который требуется при эксплуатации НК
Устройства оповещения	– Устройства звукового и визуального типа, предназначенные для оповещения населения или обслуживающего персонала
Ухудшение экологического качества	– Негативное изменение характеристик окружающей среды
Ущерб	– Гибель, ранения людей либо нанесение другого вреда их здоровью, утрата государственного имущества, имущества физических либо юридических лиц, а также вред, нанесенный окружающей среде.

## **Классы тяжести последствий аварийных ситуаций**

---

Возможные последствия аварийных ситуаций должны распределяться по классам тяжести последствий:

- I. Катастрофические;
- II. Тяжелые;
- III. Значительные;
- IV. Незначительные.

## **Общие цели обеспечения безопасности**

---

Общие цели безопасности представляют собой качественное и количественное выражения уровня безопасности, который требуется обеспечить при эксплуатации объекта.

Общие цели безопасности состоят из двух составляющих:

- 1) Определение опасного события;
- 2) Определение уровня риска возникновения опасного события, который принимается как максимально допустимая вероятность возникновения опасного события.

## **Анализ рисков**

---

Анализ рисков - процедуры выявления факторов рисков и оценки их значимости, по сути, анализ вероятности того, что произойдут определенные нежелательные события и отрицательно повлияют на достижение целей проекта. Анализ рисков включает оценку рисков и методы снижения рисков или уменьшения связанных с ним неблагоприятных последствий. Анализ рисков – это набор методов и механизмов для выявления и устранения возможных нежелательных явлений и их последствий. Одним из применений методики анализа рисков является анализ безопасности. Представление результатов анализа рисков по безопасности являются обязательным условием предоставления лицензии на начало работ, для получения которой необходимо пройти сертификацию, в ходе которой и происходит непосредственное рассмотрение этих результатов.

## **Концепция анализа рисков для безопасности**

Концепция анализа рисков для безопасности – это определение качественных и количественных показателей рисков, связанных с возможными нештатными ситуациями (НШС), которые могут иметь место на всех этапах эксплуатации объекта, состоящего из узлов, систем и агрегатов.

Анализ рисков для безопасности должен проводиться с учетом показателей надежности узлов, систем и агрегатов и должен включать:

- описание возможной НШС;
- вероятность возникновения НШС;
- наиболее вероятная причина возникновения НШС;
- описание последствий НШС;

- максимальное приемлемое значение вероятности возникновения НШС (величина риска) для определенного этапа эксплуатации;
- мероприятия по предотвращению возникновения НШС.

Результаты анализа рисков для безопасности должны использоваться при выполнении процедуры управления рисками. Процедуры управления рисками должны обеспечивать снижение рисков до приемлемого уровня за счет следующих факторов:

- 1) Конструкторские и технологические решения по обеспечению безопасности, которые реализованы в конструкции узлов, агрегатов и систем;
- 2) Меры безопасности, которые реализуются при эксплуатации узлов, агрегатов и систем.

### **Классификация уровней риска**

Риск является двухмерной величиной, которая привязана к определенному этапу эксплуатации, и характеризует событие, как неприемлемое из-за серьезности его последствий, и вероятности возникновения такого события.

Классификация последствий аварийной ситуации включает в себя четыре категории и представлена в таблице 13.1:

№/пп	Определение последствий	Содержание последствий
1.	Катастрофические	<p>Гибель или тяжелые травмы, которые несут угрозу жизни или которые приводят к неизлечимым заболеваниям населения за пределами объекта;</p> <p>Гибель или тяжелые травмы, которые несут угрозу жизни или которые приводят к неизлечимым заболеваниям персонала объекта при его эксплуатации;</p> <p>Ущерб государственной или частной собственности и (или) окружающей природной среде (на территории объекта или за его пределами) на сумму более NN млн. \$;</p> <p><i>Примечание: Величина ущерба NN устанавливается нормативными документами страны, на территории которой находится объект, или – страховой компанией.</i></p>
	Тяжелые	<p>Тяжелые травмы, которые приводят к временной потере трудоспособности, но не угрожающие жизни, или которые приводят к излечимым заболеваниям населения за пределами объекта;</p> <p>Тяжелые травмы, которые приводят к временной потере трудоспособности, но не угрожающие жизни, или которые приводят к излечимым заболеваниям персонала объекта при эксплуатации;</p>

		Крупный ущерб на сумму от NN1 тыс. до NN млн.\$ имуществу и/или окружающей среде за пределами и на территории объекта. <i>Примечание: Величина ущерба NN1 обычно устанавливается страховой компанией.</i>
2.	Значительные	Легкие травмы, которые не приводят к потере трудоспособности, персонала объекта; Незначительный ущерб на сумму от NN2 тыс. до NN1 тыс.\$ имуществу и окружающей среде за пределами и на территории объекта. <i>Примечание: Величина ущерба NN2 обычно устанавливается страховой компанией.</i>
3.	Незначительные	Ущерб имуществу и окружающей среде на сумму, менее NN3 тыс.\$ за пределами и на территории объекта. <i>Примечание: Величина ущерба NN3 обычно устанавливается страховой компанией.</i>

### **Количественное выражение целей обеспечения безопасности**

При эксплуатации задаются допустимые уровни риска. В таблице 13.2. приведены допустимые типовые уровни риска на примере некоторого объекта.

Таблица 13.2. - Допустимые уровни риска при эксплуатации объекта

Этап эксплуатации	Последствия НШС	Класс тяжести и последствий НШС	Вероятность возникновения НШС (качественная оценка)	Допустимый уровень риска для безопасности (количественная оценка)
Введение в эксплуатацию	Катастрофические (Гибель населения за пределами объекта)	I	Крайне маловероятно	$\leq 10^{-7}$
	Катастрофические (Гибель персонала объекта)	I	Крайне маловероятно	$\leq 10^{-6}$
Использование по назначению	Катастрофические (Гибель населения за пределами объекта)	I	Крайне маловероятно	$\leq 10^{-7}$
	Катастрофические (Гибель персонала объекта)	I	Крайне маловероятно	$\leq 10^{-6}$
Техническое обслуживание	Катастрофические (Гибель персонала объекта)	I	Крайне маловероятно	$\leq 10^{-4}$ в год

Введение в эксплуатацию	Тяжелые	II	Маловероятно	$\leq 3 \cdot 10^{-4}$
Использование по назначению и техническое обслуживание				
Введение в эксплуатацию	Значительные	III	Случайно	$\leq 3 \cdot 10^{-3}$
Использование по назначению и техническое обслуживание				
Введение в эксплуатацию	Незначительные	IV	Вероятно	$\leq 10^{-1}$
Использование по назначению и техническое обслуживание				

### Классификация опасностей

Все источники опасных факторов при эксплуатации по своим последствиям должны быть объединены по классам опасности, приведенным в таблице 13.3.

Таблица 13.3 - Классификация опасностей

Класс опасности	Опасные факторы
Пожароопасность	Опасное воздействие очагов возгорания
Взрывоопасность	Опасное воздействие продуктов взрыва
Токсическая опасность	Воздействие опасных концентраций продуктов химических веществ
Электрическая опасность	Воздействие опасных величин электрического тока
Механическая опасность	Опасные механические воздействия
Термическая опасность	Воздействие опасных величин температуры
Электромагнитная опасность	Воздействие опасных величин электромагнитных излучений при работе радиопередающих и радиоизлучающих устройств
Опасность человеческого фактора	Ошибочные действия обслуживающего персонала

## **Требования по обеспечению безопасности при эксплуатации**

### ***Требования к общей технологии работ***

Для обеспечения безопасности при эксплуатации общая технология работ должна предусматривать:

- применение комплексной механизации, автоматизации и дистанционного управления технологическими процессами;
- применение автоматизированных систем управления и единого автоматизированного процесса для исключения ошибочных действий обслуживающего персонала и максимального сокращения его численности;
- применение технологических процессов и операций, сооружений и площадок обслуживания, которые характеризуются минимальной опасностью;
- исключение в максимально возможной степени непосредственного контакта обслуживающего персонала с узлами, элементами и материалами конструкций составных частей объекта и веществами, которые могут оказать опасное и вредное воздействие;
- применение системы измерения параметров контроля состояния оборудования, которая позволяет осуществлять контроль состояния оборудования на всех этапах эксплуатации;
- реализацию мероприятий, исключающих либо ограничивающих (до допустимого уровня) выброс опасных веществ их паров в окружающую природную среду;
- применение средств обеспечения безопасности (систем пожаротушения, средств газового контроля и пр.);
- применение системы обзорного многоканального телевидения, позволяющей вести дистанционный визуальный контроль выполнения работ;
- привлечение обслуживающего персонала, который обладает необходимой квалификацией и прошел специальную подготовку;
- применение эксплуатационной документации, в которой содержатся требования, регламентирующие действия обслуживающего персонала при возникновении нештатных и аварийных ситуаций;
- строгое соблюдение обслуживающим персоналом требований эксплуатационной документации;
- использование предупреждающих надписей и табличек;
- применение сигнализации в виде предупреждающих и аварийных сигналов;
- применение средств коллективной и индивидуальной защиты обслуживающего персонала при возникновении аварийных ситуаций;

- обеспечение оказания первой медицинской помощи при травмировании обслуживающего персонала.

### **Общие требования к мероприятиям по обеспечению безопасности для каждого класса опасности**

Для исключения или снижения до допустимого уровня воздействий опасных и вредных факторов, возникающих в процессе эксплуатации, на население и обслуживающий персонал, окружающую природную среду, должны быть предусмотрены мероприятия по обеспечению безопасности. Основные мероприятия по обеспечению безопасности при эксплуатации объекта для каждого класса опасности приведены в таблице 13.4.

Таблица 13.4 – Основные мероприятия по обеспечению безопасности при эксплуатации объекта

Класс опасности	Мероприятия по обеспечению безопасности
Пожароопасность	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ограничение применения горючих материалов;</li> <li>2. Исключение возникновения источников инициирования пожара (предотвращение попадания горюче-смазочных материалов на узлы и детали, подверженные искрению или сильному нагреву);</li> <li>3. Обеспечение своевременного обнаружения и тушения пожара</li> </ol>
Взрывоопасность	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Исключение образования взрывоопасных сред (герметизация емкостей коммуникаций, магистралей, исключение возникновения повышенного сверхдопустимого давления в магистрях и емкостях и т.д.);</li> <li>2. Исключение источника инициирования взрыва (предотвращение попадания горюче-смазочных материалов на узлы и детали, подверженные искрению или сильному нагреву);</li> <li>3. Дистанционное управление оборудованием;</li> <li>4. Размещение оборудования и сооружений на соответствующих безопасных расстояниях от других объектов.</li> </ol>
Токсическая опасность	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Контроль превышения допустимой концентрации продуктов химических веществ в воздухе рабочей зоны;</li> <li>2. Обеспечение герметичности коммуникаций подачи опасных веществ;</li> <li>3. Локализация, обезвреживание и удаление опасных концентраций продуктов химических веществ в местах их образования.</li> </ol>
Электрическая опасность	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Защита от воздействия электрического тока;</li> <li>2. Защита от случайного прикосновения</li> </ol>

	<p>обслуживающего персонала к элементам аппаратуры и источникам электропитания;</p> <p>3. Защита от воздействия токов наведения;</p> <p>4. Защита от воздействия статического электричества.</p>
Механическая опасность	<p>1. Исключение острых углов, кромок, поверхностей с неровностями, покатыми и скользкими полами, которые могут представлять опасность для обслуживающего персонала;</p> <p>2. Исключение возможности контакта обслуживающего персонала с движущимися частями оборудования;</p> <p>3. Исключение самопроизвольного развинчивания или разъединения болтовых, шпоночных и клеевых соединений;</p> <p>4. Обеспечение крепления съемных частей невыпадающими винтами или болтами;</p> <p>5. Дистанционное управление оборудованием;</p> <p>6. Ограничение воздействия предельно допустимых значений давления струй жидкости и сжатых газов;</p> <p>7. Ограничение предельно допустимых значений акустического воздействия от работающего оборудования;</p> <p>8. Предотвращение падения частей технологической оснастки, деталей и инструмента при работе на высоте;</p> <p>9. Обеспечение достаточной освещенности в рабочей зоне;</p> <p>10. Применение световой и/или звуковой сигнализации при проведении грузоподъемных и транспортных работ.</p>
Термическая опасность	<p>1. Обеспечение допустимого диапазона значений температуры и влажности в рабочей зоне;</p> <p>2. Исключение возможности контакта обслуживающего персонала с поверхностями, имеющими повышенную или пониженную температуру;</p> <p>3. Предотвращение опасного воздействия солнечных лучей.</p>
Электромагнитная опасность	Исключение воздействия сверхнормативных электромагнитных полей на обслуживающий персонал.
Опасность человеческого фактора	<p>1. Исключение возможности неправильной установки и сочленения разъемных блоков, узлов, деталей, электрических и пневмогидравлических соединителей;</p> <p>2. Исключение возможных ошибочных включений органов управления при обслуживании и устранении неисправностей;</p>

## Контрольные вопросы по теме

---

### *Уровень модуля*

1. Дайте определение понятия безопасности.
2. Что является главным приоритетом обеспечения безопасности?
3. Опишите структура приоритетов при обеспечении безопасности.
4. На каких этапах жизненного цикла системы должен выполняться контроль рисков по безопасности?
5. Что такое аварийная ситуация?
6. Что такое авария?
7. Перечислите классы тяжести последствий аварийной ситуации.
8. Что такое анализ рисков?
9. За счет каких факторов происходит управление рисков по безопасности?
10. Перечислите классы опасностей.