

# ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ, СЕРТИФИКАЦИИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

КАФЕДРА ПРОМЫШЛЕННОГО, ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И  
ЭКСПЕРТИЗЫ НЕДВИЖИМОСТИ

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ – **БУСОВА НАДЕЖДА НИКОЛАЕВНА**

т.р. **375-47-92** эл.почта **n.n.busova@urfu.ru**



## НЕОБХОДИМЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

- 1. Федеральный закон № 102 . Об обеспечении единства измерений.
- 2. Федеральный закон № 184 . О техническом регулировании.
- 3. Федеральный закон № 162 . О стандартизации в Российской Федерации.
- 4. Федеральный закон № 384 . Технический регламент. О безопасности зданий и сооружений.
- 5. РМГ 99-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

## Лекция №1. СУЩНОСТЬ КАЧЕСТВА

**□** **Сущность качества** – совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные или предполагаемые для него потребности. (ИСО 8402-94. Качество. Словарь)

Таким образом, в понятие сущности качества входят три элемента:


1. Объект качества.
2. Характеристики объекта.
3. Потребности качества.



## Объект качества

- Деятельность или процесс
- Продукция
- Услуги, организация, система или отдельное лицо
- Любая комбинация из них.

Примером такой комбинации является такое понятие, как «КАЧЕСТВА ЖИЗНИ». За рубежом и в последнее время в России все чаще **проблему защиты интересов и прав потребителей рассматривают именно с позиции качества жизни**. Это понятие включает ряд аспектов процесса удовлетворения человеческих потребностей: **качество товаров и услуг, охрана среды обитания, обеспечение физического и морального здоровья, качество образования и т.д.** В нашем случае качество можно рассматривать применительно к такой сфере деятельности, как коммерция (строительство), к основным ее объектам - продукции (объекты недвижимости, здания и сооружения) и услугам (связанным с различными операциями с ней).


- 
- ▣ **Продукция** – результат деятельности или процессов (ИСО 8402-94).
  - ▣ **Товар** – любая вещь свободно отчуждаемая, переходящая от одного лица другому по договору «купли – продажи» (ГОСТ Р 51303-99. Торговля. Термины и определения).
  - ▣ **Товар** – это все, что может удовлетворять потребности или нужды человека и предлагается рынку с целью привлечения внимания, приобретения, использования.
  - ▣ **Услуга** – итоги непосредственного взаимодействия поставщика и потребителя и внутренней деятельности поставщика по удовлетворению потребностей потребителя (ИСО 8402-94).
  - ▣ **Услуга** - это набор функций, которые организация предлагает потребителю (МЭК 50/191/-90. Надежность и качество услуг. Термины и определения).

# ПОТРЕБНОСТИ КАЧЕСТВА

Существует иерархия потребностей:

- ▣ **На низшем уровне** – физиологические потребности, которые удовлетворяются продуктами питания, необходимостью безопасности (во всех видах деятельности) и которые должны быть гарантированы государством. Такие гарантии возможны при реализации процедур обязательного подтверждения соответствия в отношении производимой и обрабатываемой продукции (услуг, работ).
- ▣ **На более высоком уровне** находятся эстетические потребности, потребности в творчестве, развитии личности. Чтобы успешно конкурировать на рынке, необходимо своевременно предвидеть, предугадывать изменения в предпочтениях потребителей, т.е. надо знать «перспективные» потребности.

**«Потребитель должен получить то, что хочет, когда он этого хочет и в той форме, в какой он хочет»** - это первый принцип качества, сформулированный **Демингом** (которого называют автором «Японского чуда»).

- 
- ▣ **К качественным характеристикам** можно отнести показатели цвета, формы изделий и их комплексов (можно сказать, строительных).
  - ▣ **Количественные характеристики** используются для установления **области и условий использования «товара» и для оценки качества** (в нашем случае, для строительного объекта это могут быть показатели микроклимата, площадей, объемов, и др.).
  - ▣ **Показатель качества** – количественная характеристика свойств товара (продукции), входящих в его (ее) качество (ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81). Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения).

Показатель качества количественно характеризует способность товара удовлетворять те или иные потребности.

## Классификация показателей качества

Совокупность *показателей качества продукции* можно классифицировать по следующим признакам:

- по количеству характеризующих свойств (единичные, комплексные и интегральные показатели);
- по отношению к различным свойствам продукции (показатели надежности, технологичности, эргономичности и др.);
- по стадии определения (проектные, производственные и эксплуатационные показатели);
- по методу определения (расчетные, статистические, экспериментальные, экспертные показатели);
- по характеру использования для оценки уровня качества (базовые и относительные показатели);
- по способу выражения (размерные показатели и показатели, выраженные безразмерными единицами измерения, например,






# Универсальные свойства продукции

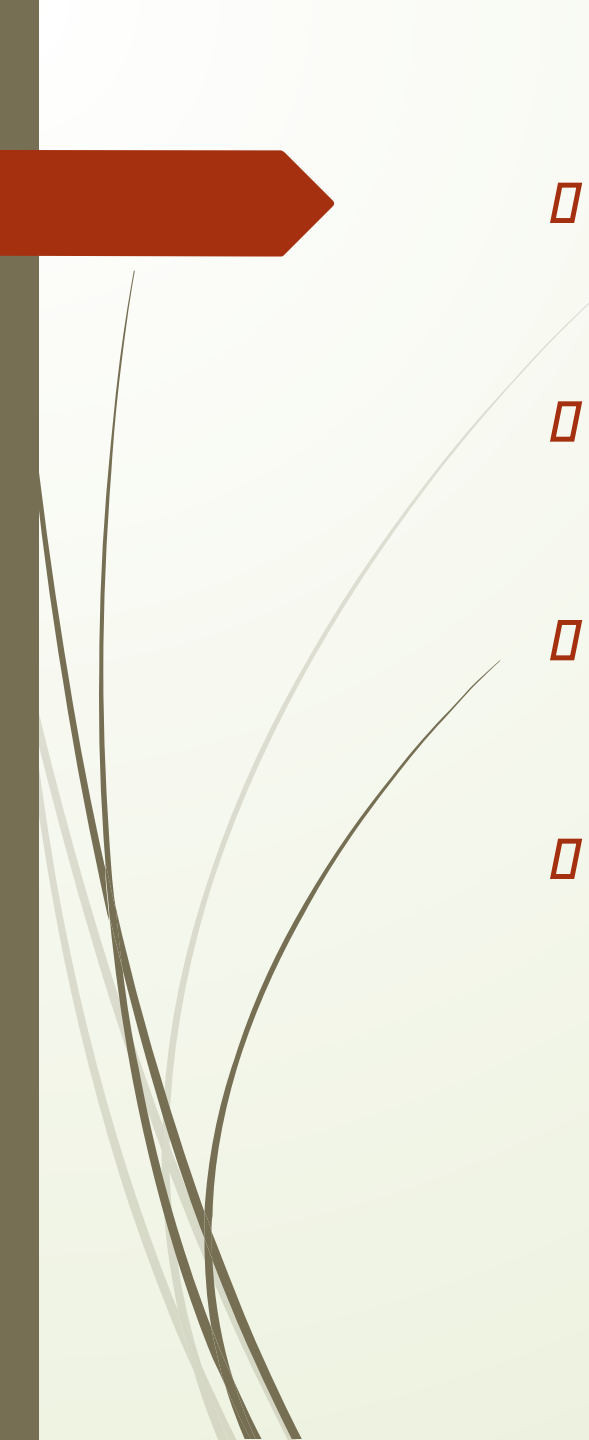
Применительно к разным объектам качества формируется конкретный перечень (список) характеристик качества данного объекта (как вида отдельного вида продукции).

В этот перечень, как правило, входят универсальные требования к качеству любого объекта.

□ Наиболее универсальными, т.е. применимыми к большинству товаров и услуг, являются свойства, реализующие требования:

- Назначения
- Безопасности
- Надежности
- Экологичности
- Эргономичности
- Ресурсосбережения
- Технологичности
- Эстетичности

- 
- ▣ **Требования назначения** — требования, устанавливающие свойства продукции, определяющие ее основные функции, для выполнения которых она предназначена (производительность, точность, калорийность, быстрота исполнения услуги и др.). Это требование определяет функциональную пригодность объекта; состав и структуру сырья и материалов; его совместимость и взаимозаменяемость.
  - ▣ **Требования безопасности** — отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба.
  - ▣ **Требования надежности** — сохранение во времени в установленных пределах всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.
  - ▣ **Требования экологичности** — отсутствие вредного воздействия продукции на окружающую среду при ее производстве, эксплуатации и утилизации.

- 
- ▣ **Требования эргономики** — это требования согласованности конструкции изделия с особенностями человеческого организма для обеспечения удобства пользования.
  - ▣ **Требования ресурсосбережения** — это требования экономного использования сырья, материалов, топлива, энергии и трудовых ресурсов, а также финансовых и временных.
  - ▣ **Требования технологичности** — приспособленность продукции к изготовлению, эксплуатации и ремонту с минимальными затратами при заданных показателях качества.
  - ▣ **Эстетические требования** — это требования к способности продукции или услуги выражать художественный образ, социально-культурную значимость в чувственно воспринимаемых человеком признаках формы (цвет, пространственную конфигурацию, качество отделки изделия или помещения).



В нормативно-правовых документах требования безопасности выделяют в особую группу как приоритетные.

В Федеральном законе № 184-ФЗ «О техническом регулировании» к обязательным требованиям относятся требования по безопасности продукции на всех этапах жизненного цикла (безопасность процессов производства и безопасность процессов обращения объекта качества).

**При этом под безопасностью понимается состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда: жизни или здоровью граждан; имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу; окружающей среде; жизни или здоровью животных и растений.**


В Федеральном законе "О техническом регулировании" детализируются требования по безопасности: безопасность излучений; биологическая безопасность; взрывобезопасность; механическая безопасность; пожарная безопасность; промышленная безопасность; термическая безопасность; химическая безопасность; электрическая безопасность; ядерная и радиационная безопасность; электромагнитная совместимость в части обеспечения безопасности приборов и оборудования и др.

В качестве обязательных требований также рассматриваются:

- предупреждение действий, вводящих в заблуждение потребителей;
- обеспечение единства измерений.

Безопасность видов продукции достигается также применением ветеринарно-санитарных и фитосанитарных норм и мер.

- ▣ **Фитосанитарные меры** — обязательные для исполнения требования и процедуры, устанавливаемые в отношении продукции растительного происхождения, которая по своей природе и (или) своему способу переработки может создавать риск проникновения на территорию РФ или распространения вредных организмов.
- ▣ **Ветеринарно-санитарные меры** — обязательные для исполнения требования и процедуры, направленные на предупреждение заноса заразных болезней животных из иностранных государств, выпуск безопасных в ветеринарном отношении продуктов животноводства и защиту населения от болезней, общих для человека и животных.



Оценка соответствия требованиям безопасности не ограничивается сопоставлением фактического значения показателей безопасности с нормативами, необходимы анализ и оценка риска нарушения нормативов безопасности.

Согласно Закону РФ «О защите прав потребителей» товар (работа, услуга), на который нормативно-правовыми документами установлены требования, обеспечивающие безопасность жизни, здоровья потребителя и охрану окружающей среды (включая предотвращение причинения вреда имуществу потребителя), подлежит обязательной сертификации.

- При определении состава обязательных требований нужно иметь в виду два обстоятельства:
  1. в соответствии с законодательством и стандартами перечень обязательных требований к объекту качества может расширяться за счет расширения требований функциональной пригодности объекта (точность действия бытовых приборов, показатели энергопотребления и т.д.);
  2. для некоторых товаров требования надежности являются одновременно и требованием безопасности (подмости, леса, исправность и безопасность транспортного средства и др.).

Положения стандарта, содержащие требования, которые должны быть удовлетворены, называются нормами. Если норма содержит количественную характеристику, то применяют термин "норматив".

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА

Итак, характеристики объекта качества могут соответствовать установленным (проектным или стандартным) требованиям или нет.

▣ **Оценка качества** - это систематическая проверка, насколько объект способен выполнять установленные требования. Невыполнение установленных требований является несоответствием (ИСО 8402-94). Для устранения причин существующего несоответствия организации осуществляют корректирующие действия - это контроль качества продукции, испытания (измерения, анализ).


▣ **Контроль качества продукции** - контроль количественных и (или) качественных характеристик продукции.

В процедуру **контроля качества** могут входить операции измерения, анализа, испытания.

**Измерения**, как самостоятельная процедура являются объектом метрологии.

**Анализ** продукции осуществляется аналитическими методами (состав материала, сырья).

**Испытания** - экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик объекта испытаний.



**Основное требование к качеству проведения испытаний –** точность и воспроизводимость результатов измерений (испытаний). Выполнение этих требований зависит от соблюдения правил метрологии.

Лаборатории, в которых проводятся измерения (испытания), проверяются также на качество проведения испытаний посредством межлабораторных сравнительных испытаний стандартных образцов и проб продукции с известными характеристиками. По отклонению значений параметров образца судят о точности и воспроизводимости результатов проведенных измерений, т.е. «о качестве испытательной лаборатории».



Для подтверждения требуемого качества испытаний лаборатории должны пройти процедуру аккредитации.

**Аккредитация лабораторий** – официальное признание того, что испытательные лаборатории правомочны осуществлять конкретные испытания или конкретные типы испытаний.

В России действует Система аккредитации испытательных, измерительных и аналитических лабораторий.

По правилам проведения сертификации в РФ к испытаниям конкретной продукции допускается только аккредитованная испытательная лаборатория на конкретный вид продукции.

Учитывая требования к качеству и методы контроля, стандарт на продукцию разрабатывается в следующей последовательности: *изучение потребности в стандартизируемом объекте – установление требований к качеству – установление характеристик – установление метода контроля характеристик.*

Центральным разделам любых правил сертификации продукции или услуг является таблица следующей формы:

Наименование объекта	Код объекта (ОКП)	Характеристики, подтверждаемые при сертификации	Обозначение стандартов, по которым производится сертификация	
			На объекты, по которым установлены характеристики	На методы контроля (проверок)
ААААААААА	ХХХХХХ	ББББББББББББ	СССССС	СССССС

# СИСТЕМА КАЧЕСТВА

Долголетний опыт борьбы за качество в нашей стране и за рубежом показал, что разрозненные мероприятия не могут обеспечить устойчивое улучшение качества.

Эта проблема м.б. решена на основе четкой системы постоянно действующих мероприятий.

На современном этапе принята система качества, установленная в международных стандартах ISO (в русском варианте – ИСО) серии 9000 второго поколения, которые основываются на процессном подходе к управлению качеством.

Фундаментальным является следующий принцип такого подхода: **управление качеством должно охватывать все стадии и этапы жизненного цикла продукции.**

Другими словами, управление качеством должно быть постоянным, а объект качества всегда должен быть «под вниманием» в процессе управления на всем протяжении его жизненного цикла.

**За жизненный цикл принимают совокупность взаимосвязанных процессов изменения состояния продукции при ее создании и использовании.**

Этапы жизненного цикла продукции - условно выделяемая часть, которая характеризуется спецификой направленности работ на этой стадии и законченными результатами.

Можно выделить шесть основных стадий жизненного цикла любого объекта:

1. маркетинг
2. производство
3. хранение
4. транспортировка
5. реализация
6. утилизация

Отдельные стадии процессов могут также делиться на этапы (подэтапы).

Неразрывность стадий жизненного цикла (ЖЦ) продукции подсказала исследователям этой проблемы модель качества в виде непрерывной цепи. Эту модель называли петлей качества (спиралью качества), а в последней версии ИСО 9000 – «Типичные этапы жизненного цикла продукции»

Важно для обеспечения возможности управления качеством объекта на всех этапах его ЖЦ создавать техническую документацию, сопровождающую объект и содержащую технологические требования прохождения объектом всех этапов ЖЦ.

1. МАРКЕТИНГ  
(АНАЛИЗ РЫНКА)

2. ПРОИЗВОДСТВО

Процессы  
производства

ЭТАПЫ  
ЖИЗНЕННОГО  
ЦИКЛА  
ПРОДУКЦИИ

6. УТИЛИЗАЦИЯ

3. ХРАНЕНИЕ

Процессы обращения

5. РЕАЛИЗАЦИЯ

4. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ

# ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА


Необходимыми элементами системы управления качеством (СУК), создаваемой на предприятии являются:

1. Организационная структура предприятия
2. Методики видов деятельности
3. Ресурсы предприятия
4. Процессы, реализуемые на предприятии.

□ **Организационная структура** системы качества устанавливается в рамках организационной структуры управления предприятием и представляет собой распределение прав, обязанностей и функций подразделения предприятия и персонала.

Важным элементом организационной структуры является **ДОЛЖНОСТНАЯ ИНСТРУКЦИЯ** отдельного работника предприятия.

□ **Методика** - установленный способ осуществления деятельности предприятия (может быть от нескольких видов деятельности до нескольких десятков).



**Ресурсы:** финансы, персонал, технические и технологические средства (машины, оборудование, инструмент), производственные помещения.

**Процесс** - совокупность взаимосвязанных ресурсов и методик деятельности, позволяющих преобразовывать входящие элементы (документацию, сырье, материалы, комплектующие изделия) в выходящие элементы (готовую продукцию).

Наличие СУК, ее соответствие установленным требованиям м.б. доказаны лишь в том случае, если она представлена в документальном виде. Документация делает систему "видимой" для разработчиков, пользователей, контролирующих органов и органов по сертификации

Таким образом, **система управления качеством** - совокупность организационной структуры, методов, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством (ИСО 8402-94).


## Лекция № 2. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

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

**РМГ 29-2013.** Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.

- ❖ Значение измерений велико:
  - они служат основой научно-технических знаний;
  - без них не возможен учет материальных ресурсов и планирование какой-либо деятельности.
- ❖ Они необходимы:
  - для обеспечения качества продукции, взаимозаменяемости и совместимости сборочных узлов и отдельных деталей;
  - для совершенствования технологий;
  - для обеспечения безопасности труда и всех видов человеческой деятельности.







Метрология имеет большое значение для прогресса естественных и технических наук, так как повышение точности измерений – одно из средств совершенствования путей познания человеком природы, научных открытий и практического применения точных знаний.

Для обеспечения научно-технического прогресса метрология должна опережать в своем развитии другие области науки и техники, так как для каждой из них точность является основным путем их совершенствования.

Метрология состоит из трех самостоятельных и взаимодополняющих разделов (направлений)– теоретическая, законодательная и прикладная.

- 
- Теоретическая метрология занимается:
    - общими фундаментальными вопросами теории измерений;
    - разработкой новых методов измерений;
    - созданием систем единиц физических величин и физических постоянных.
  - Законодательная метрология устанавливает:  
обязательные технические и юридические требования по применению единиц физических величин (ЕФВ), эталонов (Э), методов (МИ) и средств измерений (СИ), направленные на обеспечение единства и точности измерений в интересах общества.
  - Прикладная метрология изучает вопросы практического применения результатов разработок теоретической и законодательной метрологии в различных сферах предпринимательской деятельности.



▣ **Предметом метрологии** является получение количественной информации о свойствах объектов или процессов с заданной точностью и достоверностью.


▣ **Средства метрологии** - это совокупность средств измерений и метрологических правил и стандартов, обеспечивающих их рациональное использование.

▣ **Главными задачами развития метрологии являются:**

- обеспечение единства измерений;
- унификация единиц ФВ и признание их законности;
- разработка систем воспроизведения единиц ВФ и передача их размеров рабочим средствам измерений.

Таким образом, основное понятие метрологии – **измерение**.

▣ **Измерение** – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Значимость измерений выражается в трех аспекта: философском, научном и техническом.

- 
- Философский аспект заключается в том, что измерения являются универсальным методом познания физических и нефизических явлений и процессов (т.е. методом познания окружающего мира).
  - Научный аспект измерений состоит в том, что с их помощью осуществляется связь теории и практики, без них невозможны проверка научных гипотез и развитие науки.
  - Технический аспект измерений – это получение количественной информации об объекте управления и контроля, без которой невозможно обеспечение заданных условий технологического процесса, качества продукции и эффективного управления любым процессом (производства, обращения).

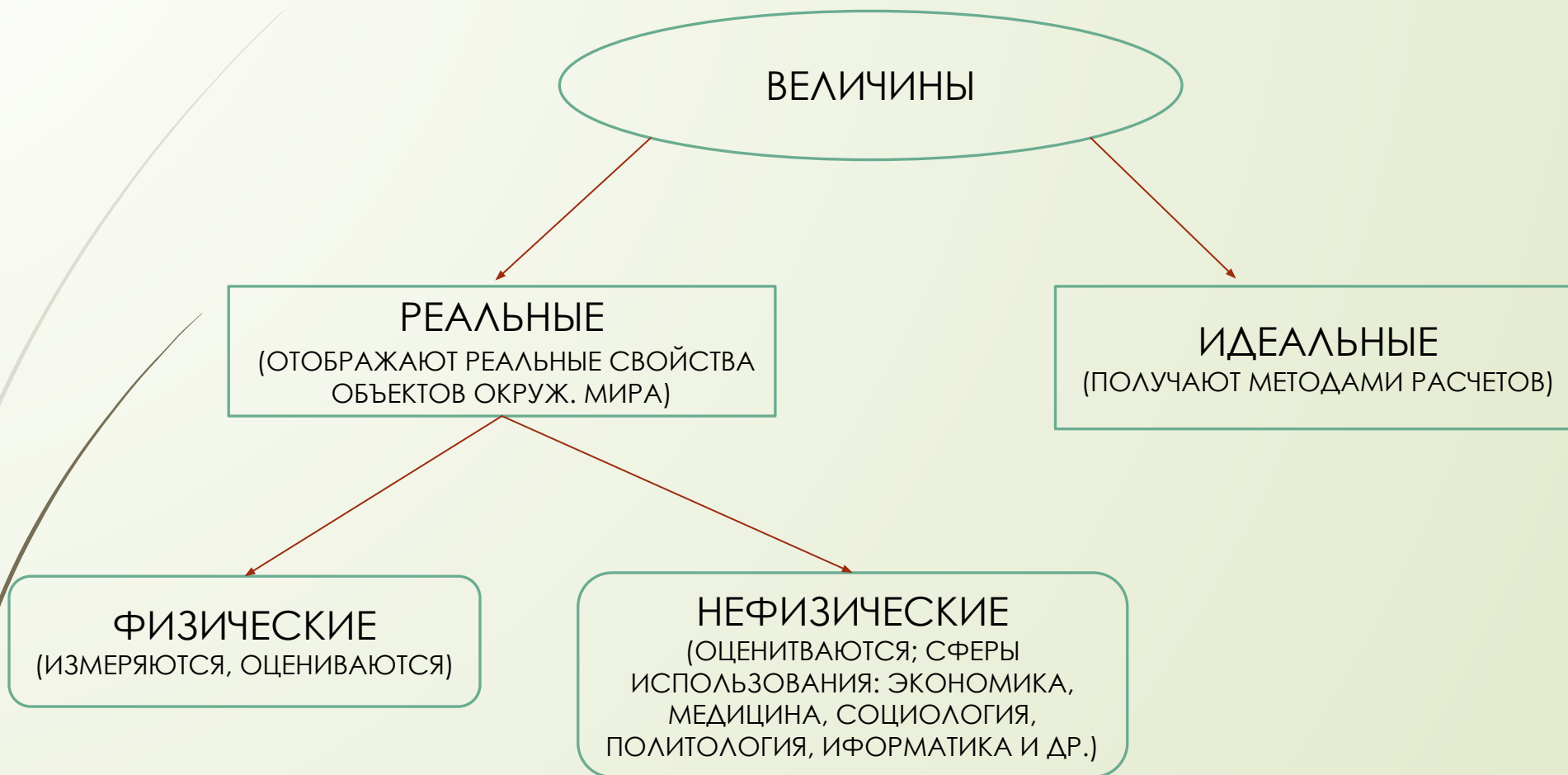
На современном этапе измерения во всем мире соотносят с понятием **единства измерений**.

Единство измерений необходимо для того, **чтобы можно было сопоставить результаты измерений, выполненных в разных местах, в разное время, с использованием разных методов и средств измерений**.

Термин «измерение» связан с физическими величинами (ФВ).

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

# ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ



# КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН



## I. По принадлежности к группам физических процессов:

1. Вещественные	2. Энергетические	3. Характеризующие процессы
<p>Величины, описывающие физические и физико-химические свойства веществ, материалов и изделий из них. Их называют <u>пассивными</u> т.к. для их измерения используется дополнительный источник энергии, с помощью которого формируется сигнал измерительной информации.</p>	<p>Величины, описывающие энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и использования энергии. Их называют <u>активными</u> т.к. они могут быть преобразованы в сигнал измерительной информации без дополнительных источников энергии.</p>	<p>Характеризуют протекание физико-химических процессов (изменение физического и (или) химического состояния объекта) с течением времени.</p>




## II. Принято различать физические величины по группам (и видам) :

1. **Геометрические**: длины, отклонения формы поверхностей, параметры сложных поверхностей, углы.
2. **Механические**: массы, силы, крутящие моменты, прочность, пластичность, параметры движения, твердость.
3. **Параметры потока, расхода, уровня, объема веществ**: массовый и объемный расхода жидкостей в трубопроводах, расход газов, вместимость, параметры открытых потоков, уровень жидкости.
4. **Давления, вакуумные измерения**: избыточное давление, абсолютное давление, переменное давление, вакуум.
5. **Физико-химические**: вязкость, плотность, содержание (концентрации) компонентов в разных веществах, влажность газов, электрохимические.
6. **Теплофизические и температурные**: температура и теплофизические величины.

- 
- 
7. **Времени и частоты:** единицы шкал времени и частоты, измерения интервалов времени, измерения частоты периодических процессов, методы и средства передачи размеров единиц времени и частоты.
  8. **Электрические и магнитные величины постоянного и переменного тока:** сила тока, количество электричества, ЭДС, напряжение, мощность и энергия, углы сдвига фаз, электрическое сопротивление, проводимость, емкость, индуктивность контуров электрических цепей, параметры магнитных полей, магнитные характеристики материалов.
  9. **Радиоэлектронные :** интенсивность радиосигналов, параметры формы и спектра сигналов, параметры трактов с сосредоточенными и распределенными постоянными, свойства веществ и материалов радиотехническими, антенные измерения.



- 
- 10. Акустические величины:** акустические величины воздушной среды и газов, водной среды, твердых тел, аудиометрия и измерение уровня шума.
  - 11. Оптические и оптико-физические :** световые, оптические свойств материалов в видимой области спектра, спектральные, частотные характеристики, параметры оптических элементов, оптические характеристики материалов, характеристики фотоматериалов и оптической плотности.
  - 12. Величины ионизирующих излучений и ядерных констант:** дозиметрические характеристики ионизирующих измерений, спектральные характеристики ионизирующих измерений, активность радионуклидов.



**III. По степени условной зависимости от других физических величин в системе единиц:**


1. Основные ФВ (и их ЕФВ)
2. Производные ФВ (и их ЕФВ)
3. Внесистемные ЕФВ (в системе SI)

**IV. По наличию размерности:**

1. Размерные
2. Безразмерные

**V. В зависимости от степени приближения объективности значения ФВ:**

1. Истинные
2. Действительные



▣ **Область измерений** – совокупность измерений физических величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой.


▣ **Объектом измерения** является физическая система (объект, процесс, явление и т.д.), которая характеризуется одной или несколькими измеряемыми ФВ.

Примером объекта измерения может быть вид продукции, (производимой или обрабатываемой), технологический процесс, во время которого необходимо измерять (контролировать) температуру, давление, энергию, расход веществ и материалов.

▣ **Физическая величина (ФВ)** – одно из свойств физического объекта (системы, явления, процесса), общее в качественном отношении для многих объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Количественное содержание этого свойства в объекте является размером физической величины, а числовую оценку ее размера называют значением физической величины.

Например, разные вещества обладают разной плотностью, но каждое из них имеет определенное значение: у воды плотность при 20° С равна 0,998 г/см<sup>3</sup>, а у ртути – 13,54 г/см<sup>3</sup>. Отсюда следует, одна и та же ФВ, как определенная характеристика объектов, будет при равных единицах измерения для разных веществ (или систем) отличаться размером.



▣ **Единица физической величины** – эта величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице.

Различают истинное значение ФВ, идеально отражающее свойство объекта, и действительное - найденное экспериментально, достаточно близкое к истинному значению, которое можно использовать вместо него.

Одним из постулатов метрологии является положение о том, что **истинное значение физической величины существует, однако определить его путем измерений невозможно.**

Измерения ФВ производят путем ее сравнения (в ходе физического эксперимента) с величиной, принятой за единицу физической величины (ЕФВ). Результатом измерения будет число, показывающее соотношение измеряемой величины с ЕФВ.

Значение ФВ получают в результате ее измерения или измерения и вычисления в соответствии с уравнением

$$Q = q [Q] \text{ – основное уравнение измерения,}$$

- где  $Q$  – значение ФВ - это оценка ее размера в виде некоторого числа принятых для нее единиц;
- $q$  – числовое значение ФВ – отвлеченное число, выражающее отношение значения величины к соответствующей единице данной ФВ;
- $[Q]$  – выбранная для ее измерения ЕФВ.

Если за единицу измерения электрического тока принят 1В, тогда значение напряжения электрической сети  $U = q[U] = 220[1В] = 220В$ .

Здесь числовое значение  $q = 220$ . но если за единицу измерения напряжения принять  $[1кВ]$ , то  $U = 0,22 кВ$ , т.е. числовое значение  $q$  будет равно 0,22.

Таким. образом, применение различных единиц ФВ приводит к изменению числового значения результата измерения.

Из уравнения следует, что числовое значение ФВ показывает, во сколько раз значение измеряемой величины больше некоторого значения, принятого за единицу, т.е.  $q = Q / [Q]$ .



Из вышеуказанного вытекает следующее определение измерения:

▣ **Измерение** – это процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной физической величины с некоторым ее значением, принятым за единицу измерения.

Важной задачей метрологии как науки в области практической деятельности является обеспечение единства измерений.

▣ **Единство измерений** – состояние измерений, при котором: их результаты выражены в допущенных к применению в РФ единицах величин; показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

В первой части определения ЕИ говорится о ЕФВ, допущенных к применению в РФ.

**Межгосударственный стандарт (ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин) вводит в действие на территории России единицы физических величин, разрешенные к применению в Российской Федерации и в странах, на территории которых этот стандарт действует.**

# ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН СИСТЕМЫ СИ (ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин., табл.1)

Величина			Единица ВФ		
Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение	
				русское	Международное
Основные					
Длина	L	l	метр	м	m
Масса	M	m	килограмм	кг	kg
Время	T	t	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	i	ампер	А	A
Термодинамическая температура	Θ	T	кельвин	К	K
Количество вещества	N	n,ν,	моль	МОЛЬ	mol
Сила света	J	J	кандела	кД	cd

ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ,  
ИМЕЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАЗВАНИЯ  
(ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин, табл.3)

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение через единицы СИ
Плоский угол	1	радиан	рад	$\text{м м}^{-1}=1$
Телесный угол	1	стерадиан	ср	$\text{м}^2 \text{м}^{-2}=1$
Частота	$\text{T}^{-1}$	герц	Гц	$\text{с}^{-1}$
Сила, вес	$\text{LMT}^{-2}$	ньютон	Н	$\text{м кг с}^{-2}$
Давление, механическое напряжение	$\text{L}^{-1}\text{MT}^{-2}$	паскаль	Па	$\text{м}^{-1} \text{кг с}^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	$\text{L}^2\text{MT}^{-2}$	джоуль	Дж	$\text{м}^2 \text{кг с}^{-2}$
Мощность	$\text{L}^2\text{MT}^{-3}$	ватт	Вт	$\text{м}^2 \text{кг с}^{-3}$
Количество электричества	$\text{IT}$	кулон	Кл	$\text{с А}$
Электрическое напряжение, потенциал, электродвижущая сила	$\text{L}^2\text{MT}^{-3} \text{I}^{-1}$	вольт	В	$\text{м}^2 \text{кг с}^{-3} \text{А}^{-1}$



## ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАЗВАНИЕ (продолжение)

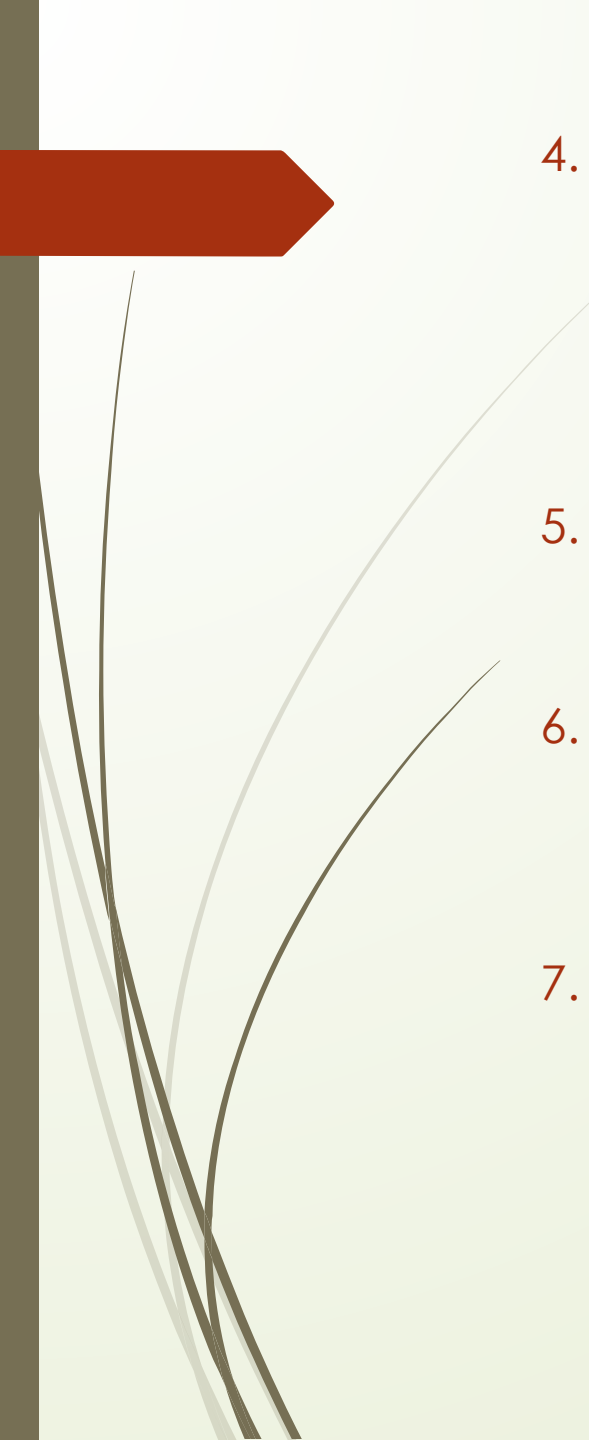
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	Ф	$M^{-2}Kg^{-1}C^4A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ом	$M^2KgC^{-3}A^2$
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	См	$M^{-2}Kg^{-1}C^3A^2$
Поток магнитной индукции	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Вб	$M^2KgC^{-2}A^{-1}$
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	Тл	$KgC^{-2}A^{-1}$
Индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	Гн	$M^2KgC^{-2}A^{-2}$
Световой поток	J	люмен	лм	кд ср
Освещенность	$L^{-2}J$	люкс	лк	$M^{-2}кд ср$
Активность радионуклида	$T^{-1}$	беккерель	Бк	$C^{-1}$
Поглощенная доза ионизирующего излучения	$L^2T^{-2}$	грей	Гр	$M^2C^{-2}$
Эквивалентная доза ионизирующего излучения	$L^2T^{-2}$	зиверт	Зв	$M^2C^{-2}$
Активность катализатора	$NT^{-1}$	катал	кат	мол $C^{-1}$


# МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Когерентная или согласованная Международная система единиц физических величин (СИ, SI) принята в 1960 XI Генеральной конференцией по мерам и весам. По этой системе предусмотрено 7 основных (независимых) единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела и моль) .

Все остальные физические величины могут быть получены как производные от основных на основе известной функциональной зависимости.

1. В качестве эталона единицы длины утвержден **метр (м)**, который равен длине пути проходимого светом в вакууме за  $1/299\,792\,458$  долю секунды.
2. Эталон единицы массы – **килограмм (кг)** – представляет собой цилиндр из сплава платины (90%) и иридия (10%), у которого длина и высота одинаковы (около 30 мм).
3. За единицу времени принята **секунда (с)**, равная  $9\,192\,631\,770$  периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома Цезия<sup>133</sup>.

- 
4. Эталонем силы тока принят **ампер (А)** – сила не изменяющего во времени электрического тока, который протекая в вакууме по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным один от другого на расстоянии 1 м, создает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.
  5. Единицей термодинамической температуры является **кельвин (К)**, составляющий  $1/273,16$  часть термодинамической температуры тройной точки воды.
  6. За эталон количества вещества принят **моль (N)** – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов частиц, сколько атомов содержится в 12 г углерода-12 (1 моль углерода имеет массу 12 г, 1 моль кислорода – 32 г, а 1 моль воды – 18 г).
  7. Эталон единицы силы света – **кандела (кд)** – представляет собой силу 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.



Угловые единицы СИ используются для образования единиц угловой скорости, углового ускорения и др. величин.

**Рад** (рад) равен углу между двумя радиусами окружности с вершиной в центре окружности, который отсекает дугу на окружности, равную длине радиуса. 1 рад составляет  $57^{\circ} 17' 44,8''$ .

**Стерadian (ср)** равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, по длине равной радиусу сферы ( $S_{\text{ср}} = r^2$ ).

Измеряют телесные углы путем определения плоских углов и проведения расчетов по формуле  $\Omega = 2 \pi (1 - \cos \alpha/2)$ ,

где  $\Omega$  - телесный угол;  $\alpha$  - плоский угол при вершине конуса, образованного внутри сферы данным телесным углом. Телесному углу соответствует плоский угол, равный  $65^{\circ} 32'$ ; углу  $\pi$  ср – плоский угол, равный  $120^{\circ}$ ; углу  $2 \pi$  ср – плоский угол, равный  $180^{\circ}$ .

ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, ДОПУСКАЕМЫЕ К ПРИМЕНЕНИЮ НАРАВНЕ С ЕДИНИЦАМИ СИ (ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин, табл.5)

Величина	ЕФВ			
	Наименование	Обозначение	Соотношение с основн. ЕФВ сист СИ	Область применения
Длина	астрономическая единица	а.е.	$\approx 1,5 \cdot 10^{11}$ м	астрономия
	световой год	св.год	$9,46 \cdot 10^{15}$ м	
	парсек	пк	$3,09 \cdot 10^{16}$ м	
Масса	тонна	т	$1 \cdot 10^3$ кг	с/х, строительство
	атомная единица массы	а.е.м.	$\approx 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг	атомная физика
Время	минута	мин	60 с	все области
	час	ч	3600 с	
	сутки	сут	86400 с	

ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, ДОПУСКАЕМЫЕ К ПРИМЕНЕНИЮ НАРАВНЕ С ЕДИНИЦАМИ СИ (продолжение табл.5)


Площадь	гектар	га	$1 \cdot 10^4 \text{ м}^2$	сельское и лесное хозяйство, строительство
Объем, вместимость	литр	л	$1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	все области
Оптическая сила	диоптрия	дптр	$1 \cdot \text{м}^{-1}$	оптика
Энергия	киловатт-час	кВтч	-	для электрических счетчиков
Полная мощность	вольт-ампер	В А		электротехника
Реактивная мощность	вар	вар		электротехника
Электрический заряд, количество электричества	ампер-час	Ач		электротехника

## Лекция № 3. РАЗМЕРНОСТЬ И РАЗМЕР ИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ

**Размерность измеряемой величины** является ее качественной характеристикой и обозначается символом  $\dim$ , происходящим от символа *dimension*. Размерность основных физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. Например, для длины, массы и времени:  $\dim l = L$ ;  $\dim m = M$ ;  $\dim t = T$ .


При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами:

- 1. Размерности левой и правой частей уравнений не могут не совпадать**, т.к. сравниваться между собой могут только одинаковые свойства объектов. Объединяя левые и правые части уравнений, можно прийти к выводу, что алгебраически суммироваться могут только величины, имеющие одинаковые размерности.
- 2. Алгебра размерностей мультипликативна**, т.е. состоит из единственного действия – умножения.

- 
- Размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Так, если зависимость между значениями величин  $Q, A, B, C$  имеет вид  $Q = A \cdot B \cdot C$ , то  $\dim Q = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C$ .
  - Размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей, т.е. если  $Q = A/B$ , то  $\dim Q = \dim A / \dim B$ .
  - Размерность любой величины, возведенной в некоторую степень, равна такой же степени ее размерности. Так, если  $Q = A^n$ , то  $\dim Q = n \dim A = \dim^n A$ .

Например, если скорость определять 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, если известна функциональная зависимость, всегда можно выразить размерности производных физических величин через размерности основных физических величин (по системе СИ) с помощью степенного одночлена:

$$\dim q=Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} \Theta^k I^l J^m N^t,$$


где  $M, L, T, \dots$  - 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.

Безразмерная физическая величина может быть относительной, определяемой как отношение одноименных величин (например, относительная диэлектрическая проницаемость), и логарифмической, определяемой как логарифм относительной величины (например, логарифм отношения мощностей или напряжений).

В гуманитарных науках, искусстве, спорте, квалиметрии, где номенклатура основных величин не определена, теория размерностей пока не эффективна.




**Размер измеряемой величины** является ее количественной характеристикой. Получение информации о размере физической величины является содержанием любого измерения.

Разнообразные проявления (количественные или качественные) любого свойства образуют множества, отображения элементов которых на упорядоченное множество условных знаков образуют шкалы измерения этих свойств.

## Шкалы измерений

Термин «шкала» в метрологической практике имеет два различных значения:

1. **Шкала измерений** (по РМГ 83-2007. ГСИ. Шкалы измерений. Термины и определения) это отображение множества различных проявлений количественного или качественного свойства на принятое по соглашению упорядоченное множество чисел или другую систему логически связанных знаков (обозначений). Здесь шкалы классифицируют по признаку «тип шкалы».
2. Шкалой также называют отсчетные устройства аналоговых средств измерений. В этом случае можно говорить о понятии и разновидностях «видов шкал».



**Тип шкалы** - специфический набор знаков, классифицирующий данную шкалу измерений и характеризующий совокупность присущих ей логических соотношений между различными проявлениями измеряемого свойства.

Шкала измерений количественного свойства является шкалой ФВ.

**Шкала физической величины** – это упорядоченная последовательность значений ФВ, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений.

По РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения:  
**Шкала физической(значений) величины** – упорядоченная совокупность значений ФВ, служащая исходной основой для измерений данной величины.

Классификация шкал измерений была предложена в 1946 году Стэнли Смитом Стивенсом в медицине, позднее она была применена и в метрологии.

Современная теория измерений пользуется набором из пяти типов шкал: **наименований, порядка, разностей (интервалов), отношений и абсолютные.**

# ШКАЛА НАИМЕНОВАНИЙ

**Шкала наименований (шкала классификаций)** – шкала измерений качественного свойства, характеризующаяся только соотношениями эквивалентности (равенства) или отличиями проявлений этого свойства.

В шкалах наименований нельзя ввести понятие единицы измерений, следовательно и размерности, в них отсутствует нулевой элемент.

Шкала основана на приписывании объекту цифр (знаков), играющих роль простых имен: это приписывание служит для нумерации объектов только с целью их идентификации в какой-либо классификации (массиве) или для нумерации классов, причем такой нумерации, что каждому из элементов соответствующего класса приписывается одна и та же цифра.

Такое приписывание цифр выполняет на практике ту же функцию, что и наименование объекта, поэтому с ними нельзя проводить математических операций.

Например, в схеме два резистора –  $R_6$  и  $R_{18}$ , из этого нельзя сделать заключение, что их сопротивления отличаются втрое, можно лишь установить, что они относятся к классу резисторов.

Примерами значений качественных признаков являются:

- геодезические шкалы для обозначения местоположения на Земле в установленных системах координат (геодезические координаты, астрономические координаты, геоцентрические координаты и др.);
- шкалы имен;
- шкалы запахов;
- шкалы цветов;
- шкалы колеров;
- шкалы групп крови человека с учетом резус-фактора и т.п.

Важную роль шкалы наименований играют в процессе создания **Общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации** (ОКТЭСИ), создающихся благодаря развитию единой системы классификации и кодирования России (ЕСКК России).

Объектами классификации этих документов является информация разных видов (техническая, экономическая, социальная). Классификаторы имеют межотраслевое назначение, т.е. должны применяться на всех предприятиях всех отраслей России (как и национальные стандарты ГОСТ Р), их применение обязательно в деятельности юридических лиц.

Примеры ОКТЭСИ: ОКСО, ОКП, ОКУН, ОКПО, ОКВ, ОКС, ОКЗ, ОКИСЗН, ОКСВНК и др.

## ШКАЛА ПОРЯДКА


**Шкала порядка** (шкала рангов) - шкала измерений количественного свойства, характеризующаяся соотношениями эквивалентности свойств объектов (касательно одного и того же свойства) и «порядка» по возрастанию (убыванию) различных проявлений этого свойства.

Шкала порядка предполагает упорядочение объектов по определенному свойству в порядке убывания или возрастания. Полученный при этом упорядоченный ряд называется ранжированным рядом, а сама процедура ранжированием.

По шкале порядка сравниваются между собой одинаковые свойства объектов, у которых значения этих свойств неизвестны. Поэтому ранжированный ряд свойств может дать ответы на вопросы "что меньше (больше)" или "что лучше (хуже)".

Более подробную информацию – насколько больше или меньше, во сколько раз лучше или хуже, шкала порядка дать не может.

Назвать процедуру оценивания свойств объекта по шкале порядка измерением можно только с большой натяжкой.



Результаты оценивания по шкале порядка также не могут подвергаться математическим операциям. Однако небольшое усовершенствование шкалы порядка позволяет применять ее для числового (рангового) оценивания величин в тех случаях, когда отсутствует единица измерения (ЕФВ).

Для возможности «измерений» по шкале порядка некоторые точки на ней можно зафиксировать в качестве опорных (реперных). Совокупность реперных точек образует «лестницу» - шкалу возможных проявлений соответствующего свойства какого-либо объекта.

Реперным точкам шкалы могут быть присвоены цифры, часто называемыми баллами, и появляется возможность оценивания данного свойства в баллах по натуральной шкале. Знания, например, могут оцениваться по 4-х-балльной реперной шкале, имеющей вид: неуд., удовл., хорошо, отлично.

По реперным шкалам измеряется твердость минералов и др. величины (интенсивность землетрясений измеряется по 12-ти-балльной шкале, называемой международной сейсмической шкалой (шкала Рихтера), скорость ветра (шкала Бофорта).

# ШКАЛА БОФОРТА (шкала силы ветра)

Баллы Бофорта	Определение силы ветра	Скорость ветра, м/с
0	штиль	0-0,2
1	тихий	0,3-1,5
2	лёгкий	1,6-3,3
3	слабый	3,4-5,4
4	умеренный	5,5-7,9
5	свежий	8,0-10,7
6	сильный	10,8-13,8
7	крепкий	13,9-17,1
8	очень крепкий	17,2-20,7
9	шторм	20,8-24,4
10	сильный шторм	24,5-28,4
11	жестокий шторм	28,5-32,6
12	ураган	32,7 и более

Ветровая шкала Бофорта. Сила ветра измеряется в баллах. Один балл соответствует скорости ветра примерно 2 м/сек. 0 — штиль. На судне спущены паруса. Дым дном поднимается вертикально. Вымпел опущен. Листья на деревьях неподвижны.

1—2 балла — легкий ветер.

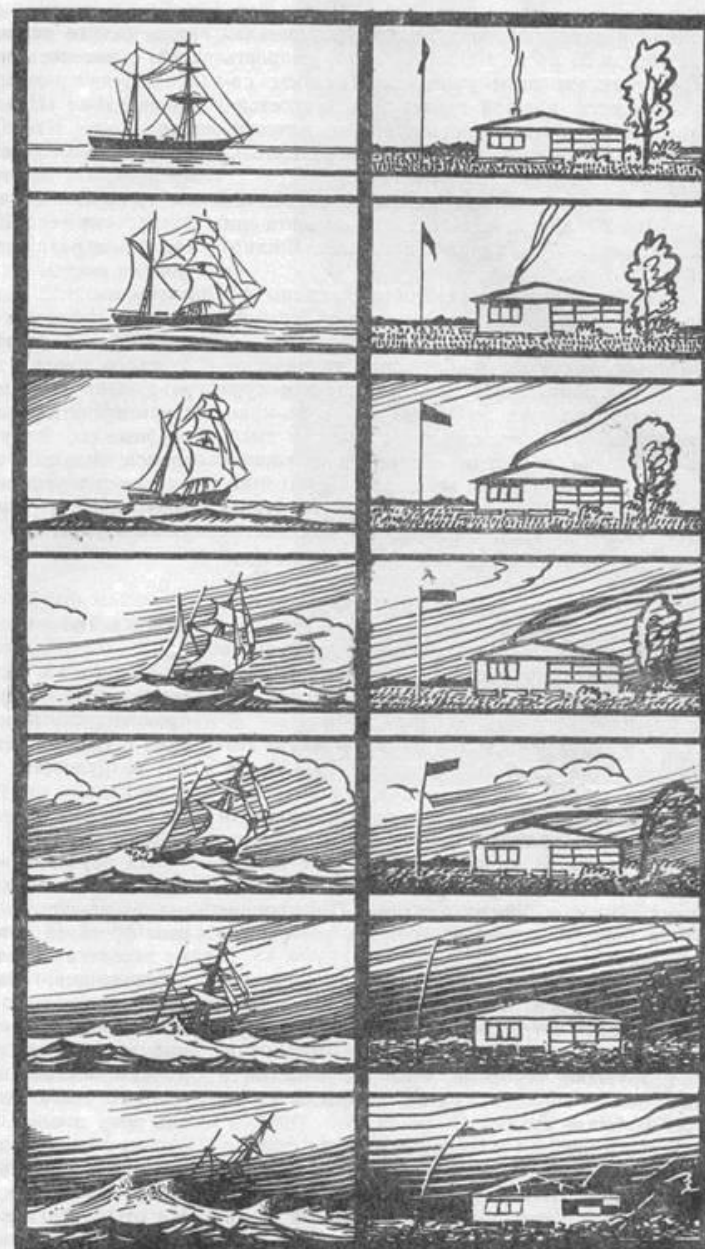
3 балла — слабый ветер.

4 балла — умеренный ветер.


5—7 баллов — сильный ветер.

8—11 баллов — шторм.

12 баллов — ураган. На судне убирают все паруса. Ветер срывает крыши с домов.







Недостатком реперных шкал является неопределенность интервалов между реперными точками, следовательно, невозможно вычлени́ть единицу величины и оценить погрешность полученной оценки.

Например, по шкале твердости, в которой одна крайняя точка соответствует наиболее твердому минералу – алмазу, а другая наиболее мягкому – тальку, нельзя сделать заключение о соотношении эталонных материалов по твердости. Так, если твердость алмаза по шкале 10, а кварца – 7, то это не означает, что первый тверже второго в 1,4 раза. Определение твердости путем вдавливания алмазной пирамиды (метод М.М. Хрущева) показывает, что твердость алмаза 10060, а кварца – 1120, т.е. в 9 раз больше.




## ШКАЛА ИНТЕРВАЛОВ

Более совершенна в этом отношении **шкала интервалов**, отличается от шкал порядка тем, что для ее построения вначале устанавливают ЕФВ. На шкале интервалов откладывается разность значений ФВ, сами же значения остаются неизвестными.

Примером ее может служить шкала измерения времени (летоисчисления), которая разбита на крупные интервалы (годы), равные периоду обращения Земли вокруг Солнца; на более мелкие (сутки), равные периоду обращения Земли вокруг своей оси.

За начало отсчета принято либо сотворение мира, либо Рождество Христово.



По шкале Цельсия температурный интервал между таянием льда и кипением воды разделен на 100 частей, по шкале Фаренгейта этот же интервал разбит на 180 частей, кроме этого, начало отсчета интервалов сдвинуто на 32 град. в сторону низких температур.

*Деление шкалы интервалов на равные части – градации – устанавливает единицу ФВ, это позволяет выразить результат измерения в числовой мере и оценить погрешность измерения.*

По шкале интервалов можно судить не только о том, что один размер больше другого, но и о том, на сколько больше.


Однако по шкале интервалов нельзя судить во сколько раз один размер больше (меньше) другого. Это обусловлено тем, что на шкале интервалов известен только масштаб, а начало отсчета может быть выбрано произвольно.

## ШКАЛА ОТНОШЕНИЙ

Наиболее совершенной является **шкала отношений**. Представляет собой интервальную шкалу с естественным началом.

Примером ее может служить температурная шкала Кельвина. В ней за начало отсчета принят абсолютный нуль температуры, при котором прекращается тепловое движение молекул; более низкой температуры быть не может. Второй реперной точкой служит температура таяния льда. По шкале Цельсия интервал между этими реперами равен  $273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

По шкале отношений можно определить не только, **на** сколько один размер больше или меньше другого, но и **во** сколько раз один размер больше или меньше другого.

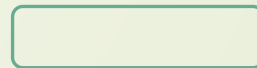


В зависимости от того, на какие интервалы разбита шкала, один и тот же размер представляется по-разному. Например, длина перемещения некоторого тела на 1 м может быть представлена как  $l = 1\text{ м} = 100\text{ см} = 1000\text{ мм}$ . Отмеченные три варианта являются значениями измеряемой величины - оценками размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Входящее в него отвлеченное число называется числовым значением.

В приведенном примере это 1, 100 и 1000.

Значение физической величины получают в результате ее измерения или вычисления в соответствии с *основным уравнением измерения*:

$$Q = q \cdot [Q]$$



где  $Q$  - значение физической величины;  $q$  - числовое значение измеряемой величины в принятой единице;  $[Q]$  - выбранная для измерения единица ФВ.

Допустим, измеряемая длина отрезка прямой в 10 см при помощи линейки, имеющей деления в сантиметрах и миллиметрах. Для данного случая  $Q_1 = 10\text{ см}$  при  $X_1 = 10$  и  $[Q_1] = 1\text{ см}$ ;  $Q_2 = 100\text{ мм}$  при  $X_2 = 100$  и  $[Q_2] = 1\text{ мм}$ ;  $Q_1 = Q_2$ , так как  $10\text{ см} = 100\text{ мм}$ . Применение различных единиц измерений привело к изменению числового значения результата измерений.



## АБСОЛЮТНЫЕ ШКАЛЫ

**Абсолютные шкалы** – это шкалы, обладающие всеми признаками шкал отношений, но дополнительно имеющие определение единицы измерения (числовое); они не зависят от системы единиц измерения (соответствуют относительным величинам).


Примером может быть шкала коэффициентов усиления или ослабления, КПД, шкала вероятностей.

Шкалы наименования и шкалы порядка называют *неметрическими (концептуальными)*, а шкалы интервалов и отношений – *метрическими (материальными)*. Абсолютные и метрические шкалы относятся к разряду линейных.

Практическая реализация шкал измерений осуществляется путем стандартизации самих шкал и единиц измерений.

## Лекция № 4. ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

- ▣ **Измерение** – совокупность операций, выполняемых для определения отношения одной величины (ИФВ) к другой однородной величине, принятой за единицу, хранящуюся в техническом средстве измерений (СИ).
- ▣ **Объект измерения** – физическое тело (система, процесс, явление), которое характеризуется одной или несколькими физическими величинами.
- ▣ **Принцип измерений** – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений.
- ▣ **Средства измерительной техники** – обобщающее понятие, охватывающее технические средства, предназначенные для измерений.
- ▣ **Измерительный сигнал** – сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой величине.

- 
- ▣ **Область измерений** – совокупность измерений ФВ, свойственных какой-либо области науки или техники, выделяющихся своей спецификой.
  - ▣ **Вид измерений** – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.
  - ▣ **Метод измерений** – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

В метрологии существует множество видов и методов измерений и число их постоянно увеличивается (в связи с развитием естественных наук).

Под понятием «вид измерений» можно представить способ нахождения значения ИФВ, т.е. путь «подхода» к ФВ с целью измерения (или вычисления) ее значения.


Виды и методы измерений могут быть классифицированы следующим образом.





# КЛАССИФИКАЦИИ ИЗВЕСТНЫХ ВИДОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По способу получения значения измеряемой величины.

- Наиболее часто используются **прямые** (измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно от средства измерений, например измерение массы на весах, длины детали микрометром, температуру - термометром), уравнение прямого измерения:  $y=Cx$ , где  $C$  - цена деления СИ.
- 

- **Косвенные** (измерение, при котором искомое значение определяют на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной).

Например, определение твердости ( $HB$ ) металлов по методу Бриннеля путем вдавливания стального шарика определенного диаметра с определенной силой ( $P$ ) и получения при этом определенной глубины отпечатка ( $h$ ):

$$HB = P / (\pi D \times h).$$

Уравнение косвенного измерения:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

где  $x_i$  - результат прямого измерения величин, входящих в функциональную зависимость с ИФВ.

- **Совместные** – одновременные измерения двух или нескольких разноименных величин для установления функциональной зависимости между ними (или ее уточнения).

Например, измерение сопротивления проводника  $R_t$  проводника при фиксированной температуре  $t$  по формуле

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta t),$$


где  $R_0$  и  $\alpha$  – сопротивление при известной температуре  $t_0$  (взятой за  $20^\circ\text{C}$ ) и температурный коэффициент – величины постоянные (справочные в зависимости от материала проводника);

$\Delta t = t - t_0$  – разность температур;

$t$  – заданное значение температуры, полученное прямым измерением.

- **Совокупные измерения** – производятся путем измерения нескольких одноименных физических величин. Результаты измерений находят решением системы уравнений, получаемых прямыми измерениями различных сочетаний мер и этих величин.

Например, нахождение значений массы отдельных гирь набора по известному значению массы одной из гирь: сравнивая массы различных сочетаний гирь, получают систему уравнений, решая которую находят массу каждой гири, входящей в набор.



2. По условиям, определяющим точность результатов измерений (РИ), измерения делят на три вида:

- **Измерения максимально возможной точности**, достижимой при существующем уровне техники. К ним относят: а) эталонные измерения, связанные с максимальной возможной точностью воспроизведения ЕФВ; б) измерения физических констант, прежде всего универсальных (УСП и др.).

- **Контрольно-поверочные измерения** – их погрешность не должна превышать заданное значение с определенной вероятностью.

К ним относят:

а) измерения, выполняемые лабораториями государственного надзора за соблюдением обязательных требований технических регламентов (Тр.ТР),

б) за состоянием измерительной техники и заводскими измерительными лабораториями с погрешностью заданного значения.

- **Технические измерения**, в которых погрешность результата измерений определяется погрешностью применяемых средств измерений. К ним относят измерения, выполняемые в процессах производства и обращения объектов.



3. По характеру изменения измеряемой величины

- **Статистические** – связаны с определением характеристик случайных процессов (звуковых сигналов, уровня шумов и т.д.);
- **Статические** - измерение неизменной во времени физической величины. Например, измерение длины детали при нормальной температуре или измерение параметров земельного участка;
- **Динамические** - измерение изменяющейся по размеру физической величины. Например, измерение переменного напряжения электрического тока, измерение расстояния до уровня земли со снижающегося самолета.

Статические и динамические измерения в идеальном виде на практике редки.



4. По числу измерений в ряду измерений - *однократные, многократные.*

- **Однократные измерения** – это одно измерение одной ФВ, т.е. число измерений равно числу измеряемых величин. Практическое применение такого вида измерений связано с большими погрешностями, поэтому на практике (в технических измерениях) следует проводить не менее 3-х однократных измерений в ряду и находить конечный результат как среднее арифметическое значение.
- **Многократные измерения** характеризуются превышением числа измерений количества измеряемых величин, обычно больше 3-х. Преимущество многократных измерений – в значительном снижении влияния случайных факторов на погрешность измерения, как следствие и на результат измерений.

Многократные измерения принято классифицировать по числу измерений и значимости измерений. Например, измерения от 2-х до 20-ти – применяются в технических измерениях, измерения от 20-ти до 50-ти – в контрольно-поверочных измерениях, от 50-ти до 100 и более – в измерениях эталонных и связанных с НИР.



5. По выражению результата измерений - **абсолютные и относительные**.

- **Абсолютные измерения** - измерение, основанное на прямых измерениях величин и (или) использовании значений физических констант, например измерение силы  $F$  основано на измерении основной величины массы  $m$  и использовании физической постоянной - ускорения свободного падения  $g$ );
- **Относительные измерения** - измерение отношения величины к одноименной величине, выполняющей роль единицы.

Приведенные виды измерений включают различные методы, т.е. способы решения измерительных задач с теоретическим обоснованием и разработкой использования СИ по принятой методике выполнения измерений (МВИ).

**Методика выполнения измерений** – это документ, содержащий описание технологии выполнения измерений с целью наилучшей реализации метода.

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

- ▣ **Метод измерений** - прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей (мерой) в соответствии с реализованным принципом измерений.
- ▣ **Прямые измерения** - основа более сложных измерений, поэтому целесообразно рассмотреть методы прямых измерений. В соответствии с РМГ 29-2013 (Рекомендации по межгосударственной стандартизации. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения).

Различают два основных метода измерений:

1. **Метод непосредственной оценки**, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора, например, измерение давления пружинным манометром, массы – на весах, силы электрического тока – амперметром. Здесь размеры меры нанесены на отсчетное устройство (шкалу) СИ при его градуировке.
2. **Метод сравнения с мерой**, где измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например, измерение массы на рычажных весах с уравновешиванием гирей; измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с ЭДС параллельного элемента.

Метод сравнения с мерой имеет несколько разновидностей (4): нулевой метод, дифференциальный метод, метод замещения и метод совпадений.





Различают два основных метода измерений:

1. **Метод непосредственной оценки**, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора, например, измерение давления пружинным манометром, массы – на весах, силы электрического тока – амперметром. Здесь размеры меры нанесены на отсчетное устройство (шкалу) СИ при его градуировке.
2. **Метод сравнения с мерой**, где измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например, измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирей; измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с ЭДС параллельного элемента.

Метод сравнения с мерой имеет несколько разновидностей (4): нулевой метод, дифференциальный метод, метод замещения и метод совпадений.

- **Нулевой метод** (метод полного уравнивания) - разность между измеряемой величиной и мерой сводится к нулю. При этом мера может быть во много раз меньше измеряемой величины (неравноплечие весы  $P_1 l_1 = P_2 l_2$ ).

- **Дифференциальный метод** – характеризуется измерением разности между измеряемой величиной и мерой. Полное уравнивание не производят, а разность между измеряемой (ИВ) и мерой отсчитывается по шкале прибора ( $m_x = m_0 + \Delta m$ , где  $\Delta m$  – отклонение показаний прибора от нуля).
- **Метод замещения** – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Взвешивание на пружинных весах, измерение проводят в два приема, поочередно помещая взвешиваемую массу и массу гирь на чашу весов; массу гирь подбирают до установки стрелки весов в том же положении ( $m_x = m_0$ ).
- **Метод совпадений** – разность между измеряемой величиной и воспроизводимой мерой измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов. Измерения числа оборотов вала с помощью стробоскопа – вал периодически освещается вспышками света, и частоту вспышек подбирают так, чтобы метка, нанесенная на вал казалась наблюдателю неподвижной. Метод совпадений, использующий совпадение основной и нониусной отметок шкал, реализуется в штангенприборах, применяемых для измерения линейных размеров.




## ВИДЫ КОНТРОЛЯ

▣ **Контроль**-это процесс получения и обработки информации об объекте (параметре детали, механизма, процесса и т.д.) с целью определения нахождения параметров объекта в заданных пределах.

**Объектом контроля** могут быть:


- качество продукции;
- правильность оформления (или прохождения по этапам согласования или утверждения) документации (технической, технологической, сопроводительной и др.);
- параметры технологического процесса (производства или обращения);
- качество средств технологического оснащения;
- соблюдение условий эксплуатации;
- технологическая дисциплина;
- квалификация исполнителей и др.




## КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ КОНТРОЛЯ

- 1. По объекту контроля** различают контроль качества выпускаемой продукции, товарной и сопроводительной документации, технологического процесса, средств технологического оснащения, прохождения рекламации, соблюдения условий эксплуатации, а также контроль технологической дисциплины и квалификации исполнителей.
- 2. В зависимости от исполнителя** контроль разделяют: на самоконтроль, контроль мастером, контроль ОТК и инспекционный контроль (уполномоченным представителем).

**Инспекционный контроль** в зависимости от того, какая организация уполномочила представителя проводить контроль разделяется на: ведомственный, межведомственный, вневедомственный, государственный.



3. По характеру распределения во времени различают непрерывный, периодический и летучий контроль.


- **Непрерывный контроль** состоит в непрерывной проверке соответствия контролируемых значений нормам в течение всего процесса изготовления или определенной стадии жизненного цикла.
  - При **периодическом контроле** измерительную информацию получают периодически через установленные интервалы времени. Интервалы времени м/д контролем могут быть меньше или больше одной технологической операции. Если интервал времени между контролем равен продолжительности технологической операции, то контроль является операционным (или послеоперационным).
  - **Летучий контроль** проводят в случайные моменты времени.
- 



**4. По стадии технологического процесса** различают входной, операционный и приемочный (приемосдаточный) контроль.

- **Входному контролю** подвергают сырье, материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия, техническую документацию, квалификацию исполнителей и т.д., т.е. все то, что используется при производстве продукции или на этапах ее обращения (хранение, транспортировка, эксплуатация и т.п.).
- **Операционный контроль** еще незавершенной в производстве продукции проводится на «выбранных» операциях производственного процесса.
- **Приемочный контроль** готовых, сборочных и монтажных единиц осуществляется в конце технологического процесса.

Для законченных строительством объектов (зданий, сооружений) приемочный контроль называют **приемосдаточным**.



5. **По возможности** (или невозможности) использования продукции после выполнения контрольных операций различают неразрушающий и разрушающий контроль.

- При **неразрушающем** контроле соответствие контролируемого размера (или какого либо значения) заданной норме определяется по результатам воздействия различных физических полей и (или) излучений с объектом контроля. Интенсивность полей и излучений выбирается такой, чтобы не только не происходило разрушений объекта контроля, но и не менялись его свойства во время и после контрольной операции.

В зависимости от природы физических полей и излучений виды неразрушающего контроля разделяются на следующие группы: *механические, акустические, радиационные, оптические, радиоволновые, тепловые, магнитные, вихревые, электрические, проникающих веществ.*

- При **разрушающем** контроле определение соответствия (или несоответствия) контролируемого размера (или значения) норме сопровождается разрушением изделия (объекта контроля), например, при проверке изделия на прочность, когда контролируемый параметр определяется после (или в момент) разрушения объекта.




**6. По характеру воздействия на ход производственного процесса** контроль делится на активный и пассивный.

- При **активном контроле** его результаты непрерывно используются для управления технологическом процессе. Можно сказать, что активный контроль совмещен с производственным в единый контрольно-технологический процесс. Как правило, он выполняется автоматически (или частично автоматизирован).
- **Пассивный контроль** проводится после завершения отдельной операции или всего технологического процесса. Он может быть ручным, автоматизированным или автоматическим.


Более эффективным является активный контроль, т.к. позволяет уменьшить количество брака до проведения итогового контроля.





7. **В зависимости от места проведения** различают подвижный или стационарный контроль.

- **Подвижный контроль** проводится непосредственно на рабочих местах, где изготавливается продукция (у станка, на сборочных и настроечных стендах и т.д.)
- **Стационарный контроль** проводится на специально оборудованных рабочих местах. Он применяется при необходимости создания специальных условий контроля; при наличии возможности включения в технологический цикл стационарного рабочего места контролера; при использовании средств контроля, которые применяются только в стационарных условиях; при крупносерийном и массовом производстве.



8. **По способу отбора изделий**, подвергаемых контролю, отличают сплошной и выборочный контроль.

- **Сплошной** (стопроцентный) контроль всех без исключения изготовленных изделий применяется при индивидуальном и мелкосерийном производстве, на стадии освоения новой продукции, по аварийным параметрам (размерам), при селективной сборке.
- **Выборочный контроль** проводится во всех остальных случаях, чаще всего при крупносерийном и массовом производстве.

Для сокращения затрат на контроль большой партии изделий (которую в математической статистике принято называть генеральной совокупностью) контролю подвергается только часть партии – выборка, формируемая по определенным правилам, обеспечивающим случайный выбор изделий.

Если число бракованных изделий в выборке превышает установленную норму, то **вся партия** (генеральная совокупность) **бракуется**.

# МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ


Основная потеря точности при измерениях происходит не за счет неисправности или большой погрешности средств измерений, а за счет несовершенства методов и методик выполнения измерений.

*В целом точность измерения зависит от:*

1. точности применяемого средства измерений;
2. точности метода измерений;
3. учета влияния внешних факторов рабочей среды.

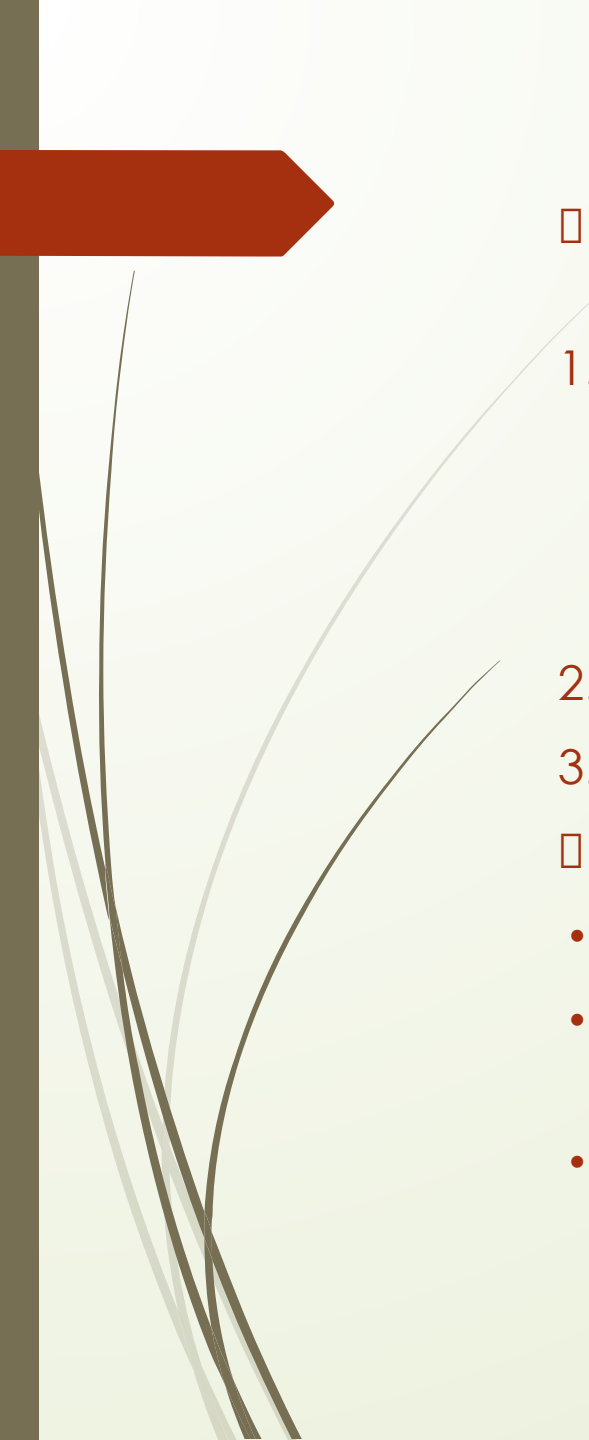
**Под методикой выполнения измерений понимают** совокупность методов, средств, процедур, условий подготовки и проведения измерений, а также правил обработки экспериментальных данных при выполнении конкретных измерений.


По Закону РФ «О ОЕИ» измерения в сфере гос. регулирования по ОЕИ должны осуществляться по аттестованными в установленном порядке методиками выполнения измерений (МВИ).



□ Разработка методик измерения должна включать:

- Анализ технических требований к точности измерений, изложенных в стандарте, технических условиях или техническом задании;
- Определение конкретных условий проведения измерений (параметры рабочей среды измерений);
- Выбор испытательного и вспомогательного оборудования, а также средств измерений;
- Разработку при необходимости нестандартных средств измерений;
- Исследование влияния условий проведения измерений и подготовки испытуемых объектов к измерениям;
- Определение порядка подготовки средств измерений к работе, последовательности и количества измерений;
- Разработку и выбор алгоритма обработки экспериментальных данных и правил оформления результатов измерений.

- 
- Нормативно-техническими документами (НТД), регламентирующими методику выполнения измерений являются:
    1. Национальные стандарты или методические указания Росстандарта на методики выполнения измерений. Стандарт разрабатывается в том случае, если применяемые средства измерений внесены в Федеральный реестр средств измерений (как правило, это происходит после процедуры утверждения типа средства измерений).
    2. Отраслевые МВИ, используемые в одной отрасли.
    3. Стандарты предприятий на МВИ, используемы на одном предприятии.
  - В НТД на МВИ предусматриваются:
    - нормы точности измерений;
    - специфика измеряемой величины (диапазон значений, вид или метод измерений, наименование продукции и т.д.);
    - максимальная автоматизация измерений и обработки данных.



МВИ перед их вводом (разрешением применения) должны быть аттестованы или стандартизированы.

□ Аттестация МВИ включает в себя:

- разработку и утверждение программы аттестации;
- выполнение исследований в соответствии с программой аттестации;
- составление и оформление отчета об аттестации;
- оформление аттестата МВИ.

При аттестации должна быть проверена правильность учета всех факторов, влияющих на точность измерений, установлена достоверность получения их результатов.

Аттестацию МВИ проводят государственные метрологические службы. Могут также выполнять аттестацию и ведомственные МС и отдельные предприятия, оказывающие метрологические услуги. Обязательное условие для таких предприятий, они должны быть аккредитованы для реализации своей деятельности.

При этом государственные метрологические службы проводят аттестацию методик особо точных, ответственных измерений, а также измерений, проводимых в организациях Росстандарта.

Стандартизация методик применяется для измерений, широко применяемых. МВИ периодически пересматриваются с целью их усовершенствования.


## Лекция № 5. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

▣ **Средство измерений** – техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее ЕФВ, размер которой принимается неизменным в течение известного промежутка времени.

По существу СИ (за исключением таких мер, как гири, линейки и др.) в простейшем случае производят две операции: обнаружение ФВ; сравнение неизвестного размера с известным (или сравнение откликов на воздействие неизвестного и известного размера).

В этом состоит метрологическая суть СИ:

1. в умении хранить (или воспроизводить) ЕФВ;
2. в неизменности размера хранимой единицы величины.



Средства измерений являются технической основой метрологического обеспечения измерений. Их действие основано на использовании различных физических эффектов: пьезо-, термо-фотоэлектрические эффекты, эффектов Холла, Фарадея и др.

Измерять с необходимой точностью можно при условии, что средство измерений обеспечивает хранение ЕФВ практически неизменной во времени и под действием факторов окружающей среды (ОС). Неизменность размера единицы во времени и под действием факторов ОС необходимо контролировать. Этот контроль осуществляют с помощью различных средств измерений, которые часто называют вспомогательными (дополнительными) средствами измерений.

Средства измерений имеют некоторые общие признаки, присущие либо всем СИ, либо отдельным группам СИ независимо от их назначения и области применения.






# КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По роли, выполняемой в системе обеспечения единства измерений.

Метрологические средства измерений – это СИ, предназначенные для метрологических целей – воспроизведения ЕФВ и (или) ее хранения и передачи размера ЕФВ рабочим СИ.

Рабочие средства измерений- это СИ, применяемые для измерений, не связанных с хранением или передачей размеров единиц.

2. По виду измеряемых величин (механические, пневматические, акустические, электрические и электронные, прочие и комбинированные).
3. По назначению (контрольные, диагностические, испытательные, прогнозирующие).
4. По поверочной схеме (рабочие, образцовые, эталонные).

- 
5. По виду шкалы (с равномерной (неравномерной) шкалой, с нулевой отметкой внутри, на краю или вне шкалы и др.).
  6. По виду измерительного сигнала (аналоговые, цифровые, аналого-цифровые).
  7. По виду регистрации измерительного сигнала (показывающие, регистрирующие, самописцы, печатающие).
  8. По степени автоматизации (неавтоматизированные, автоматизированные, автоматические).
  9. По виду преобразования измерительного сигнала (прямого действия, сравнения, интегрирующие (суммирующие), измерительные преобразователи (первичные, промежуточные, передающие, масштабные).
  10. По режиму работы (динамические, статические);
  11. По конструктивному исполнению (по РМГ 29-2013).

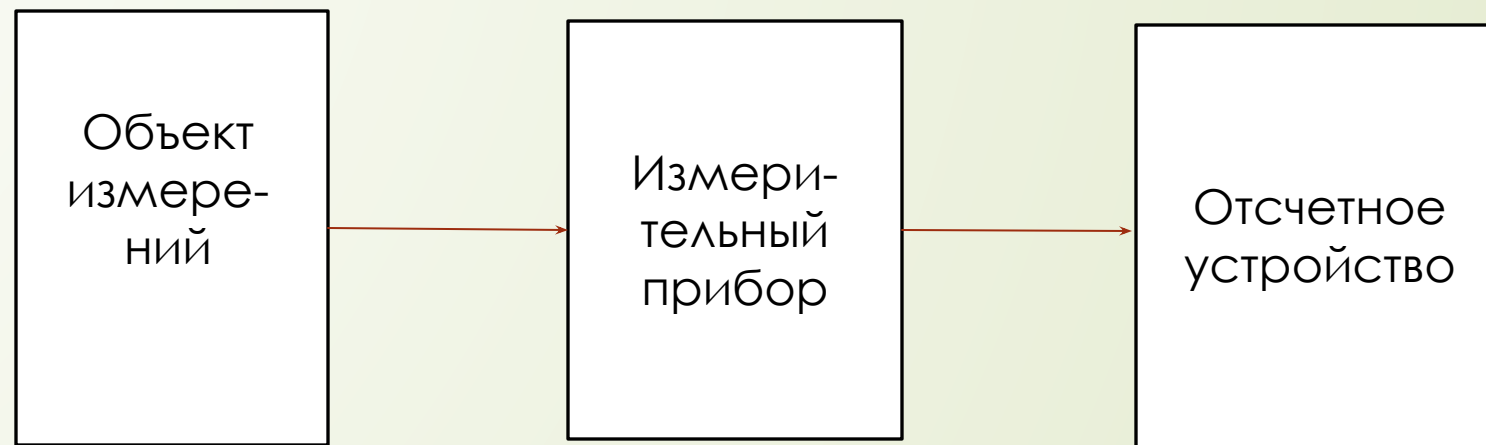



Рис. Простая измерительная цепь



## КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПО КОНСТРУКТИВНОМУ ИСПОЛНЕНИЮ

По конструктивному исполнению средства измерений разделяют на меры, устройства сравнения, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы.

- ▣ **Мера** – средство измерений, воспроизводящее ФВ заданного размера. Различают меры: однозначные; многозначные; наборы мер.
- **Однозначная мера** воспроизводит (или содержит) ФВ одного размера. К ним можно отнести *стандартные образцы (СО)*. Существуют СО состава веществ и свойств материалов.
- **Многозначная мера** воспроизводит ряд одноименных величин разного размера (потенциометр, конденсатор переменной емкости).

- 
- **Набор мер** – специально подобранный комплект однотипных элементов (мер), применяемых не только по отдельности, но и в различных сочетаниях для воспроизведения ряда одноименных величин разного размера.

Набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их объединения в различных комбинациях, называют *магазином мер* (магазин мер длины, мер электрических сопротивлений, мер индуктивностей, мер массы).

- **Устройство сравнения (компаратор)** – средство измерений, позволяющее сравнивать друг с другом меры однородных ФВ или показаний измерительных приборов. В качестве устройства сравнения применяется фотореле, включающее и выключающее уличное электрическое освещение.
- ▣ **Измерительный преобразователь** – средство измерений, вырабатывающее сигнал измерительной информации в форме, удобной для передачи, преобразования, обработки, хранения, но неподдающееся непосредственному восприятию наблюдателем.




□ По виду входных и выходных величин различают измерительные преобразователи:

- **аналоговые**, преобразующие одну аналоговую величину в другую аналоговую;
- **аналого - цифровые** (АЦП), предназначенные для преобразования аналогового измерительного сигнала в цифровой код;
- **цифро-аналоговые** (ЦАП), предназначенные для преобразования цифрового кода в аналоговую величину.

□ По месту, занимаемому в измерительной цепи различают преобразователи **первичные** и **промежуточные**.

□ **Измерительный прибор** – СИ, предназначенное для выработки определенного сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.




По форме преобразования измерительных сигналов приборы делят на аналоговые и цифровые.

**Аналоговый измерительный прибор** – средство измерений, показания которого являются непрерывной функцией изменения (значения) измеряемой величины.

Различают четыре основные группы аналоговых приборов, применяемых для разных измерительных целей.

1. Приборы для измерения параметров измерительных сигналов в течение промежутка времени или по результатам какого либо воздействия (осциллографы, частотомеры и др.).
2. Приборы для измерения параметров активных и пассивных величин электрических схем (измерители сопротивления, емкости, индуктивности, приборы для снятия частотных и переходных характеристик цепей).
3. Измерительные генераторы, являющиеся источниками сигналов разной амплитуды, формы и частоты.
4. Измерительные преобразователи - элементы измерительных схем.



**Цифровым измерительным прибором (ЦИП)** наз. СИ автоматически вырабатываемые сигналы измерительной информации и представляющие показания в цифровой форме.


Преимущества ЦИП перед АИП:

1. удобство и объективность отсчета измеряемых величин;
2. высокая точность результатов;
3. широкий диапазон ИВ;
4. быстроедействие и возможность автоматизации процесса измерения;
5. возможность использования современной микроэлектроники.

**Измерительная установка (ИУ)** – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и др. устройств, предназначенных для измерения одной или нескольких одноименных ФВ от объектов измерения и расположенная в одном месте.

Измерительную установку, применяемую для поверки СИ называют **поверочной ИУ**, ИУ, входящую в состав эталона – **эталонной** установкой.






□ **Измерительная система** (ИС) – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и др. технических средств, размещенных в разных точках измерительного пространства (контролируемого объекта) с целью измерения одной или нескольких ФВ (свойственных этому объекту) и выработки измерительных сигналов.

Измерительные системы условно принято делить на:

- информационно-измерительные комплексы (ИИК);
- измерительно-вычислительные комплексы (ИВК);
- виртуальные информационно-измерительные системы – виртуальные приборы, чаще наз. компьютерно - измерительными системами (КИС).

- 
- **Информационно-измерительные системы** – совокупность функционально объединенных СИ, средств вычислительной техники и вспомогательных устройств, соединенных м/д собой каналами связи, предназначенных для выработки измерительных сигналов о ФВ свойственных объекту измерения в форме, удобной для автоматической обработки в автоматических системах управления.
  - **Измерительно- вычислительные комплексы** – функционально объединенная совокупность СИ, компьютера и вспомогательных устройств для выполнения в измерительной системе конкретной измерительной задачи.

Виртуальный прибор состоит из ПК с программным обеспечением и встроенной в него аналого-цифровой платой сбора данных.

## Лекция № 7. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

**Метрологические свойства средств измерений** – это свойства, влияющие на результат измерений и его погрешность.

Показатели метрологических свойств являются их количественной характеристикой и применительно к конкретному типу СИ называются **метрологическими характеристиками** (или набором МХ).

Под **метрологическими характеристиками** (МХ) СИ понимают такие характеристики, которые позволяют судить о пригодности СИ для измерений:

- в известном диапазоне значений измеряемой физической величины (ИФВ);
- с известной (заданной) точностью результата измерений (РИ).


В отличие от средств измерений приборы (или вещества), не имеющие нормированных МХ, называют индикаторами.



# МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

**Метрологическая характеристика** – одно из свойств средств измерений (СИ), влияющая на результат измерений и его погрешность.

- Для оценки пригодности СИ к измерениям в известном диапазоне с известной точностью вводят МХ СИ с целью:
  1. обеспечения возможности установления (или вычисления) точности измерений;
  2. достижения взаимозаменяемости СИ, их сравнения между собой и выбора нужных СИ по точности и др. характеристикам;
  3. определения погрешностей измерительных систем и установок на основе МХ входящих в них СИ;
  4. возможности оценки технического состояния СИ при его поверке.



По стандарту (ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений) устанавливают перечень МХ, способы их нормирования и формы представления.


Для каждого типа СИ устанавливают свой набор метрологических характеристик.

Метрологические характеристики, устанавливаемые НТД (ГОСТ, ГОСТ Р, ТП, ИТЭ) называются *нормируемыми* (НМХ данного СИ), а определяемые экспериментально - *действительными* (ДМХ данного СИ).

# МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

К ним относятся:

- 1. Длина деления шкалы** – это расстояние между серединами двух соседних отметок (штрихов, точек и т.п.) шкалы.
- 2. Цена деления шкалы** – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы (у микрометра – 0,01 мм).
- 3. Градуировочная характеристика** – зависимость между значениями величин на выходе и входе СИ.
- 4. Диапазон показаний** – область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы, т.е. наибольшим и наименьшим значением ИВ.
- 5. Диапазон измерений** – область значений измеряемой величины, в пределах которой нормированы пределы погрешности СИ.

- 
6. **Чувствительность прибора** – отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к изменению измеряемой величины (сигнала) на входе. Так, если изменение измеряемой величины составило 0,01мм, что вызвало перемещение стрелки показывающего устройства на 10 мм, то абсолютная чувствительность прибора составляет  $10/0,01 = 1000$ . Для шкальных измерительных приборов абсолютная чувствительность численно равна передаточному отношению. **Порог чувствительности** – это наименьшее отклонение величины на выходе к изменению величины на входе.
7. **Вариация** (нестабильность) показаний прибора – алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим результатом измерений при многократных измерениях одной и той же величины в неизменных условиях.
8. **Стабильность** средства измерений – свойство, выражающее неизменность во времени его метрологических характеристик (показаний). По значению временного интервала стабильности показаний СИ определяют продолжительность межповерочного интервала СИ (МПИ СИ).



□ Для **рабочих СИ** метрологические свойства разделяют на две группы:


- 1) свойства, определяющие область применения СИ (область применения СИ напрямую зависит от диапазона значений ИФВ);
- 2) свойства, определяющие качество измерений (качество результатов измерений зависит от некоторых МХ СИ, которые подбираются в соответствии с заданными требованиями точности).

К основным метрологическим характеристикам, определяющим свойства первой группы, относят: цена деления, градуировочная характеристика, диапазон измерений, чувствительность, порог чувствительности.

К метрологическим характеристикам второй группы свойств относят: точность СИ, длину деления, вариацию, стабильность, сходимость результатов измерений (Сх. РИ) и воспроизводимость результатов измерений (Воспр. РИ).

Наиболее широко в метрологической практике используется первое свойство – точность измерений, она определяется погрешностью СИ.






**Погрешность СИ** - это разность между показаниями СИ (как РИ) и истинным (действительным) значением величины. (получаемым РИ вышестоящими по поверочной схеме эталонными СИ).

**Точность измерений СИ** – это величина обратная погрешности СИ, определяется как  $T = 1/\Delta_{СИ}$ .


Так как истинное значение величины неизвестно, то на практике пользуются ее действительным значением. Для РСИ за действительное значение принимают показания рабочего эталона, для рабочего эталона – показания (РИ) вышестоящего по поверочной схеме рабочего эталона, таким образом, за базу сравнения принимают значение СИ, которое является в поверочной схеме вышестоящим по отношению к подчиненному СИ (обычно не менее чем в 10 раз более точным).



**Сходимость результатов измерений** – близость результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами измерений, одним и тем же методом, в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Высокая сходимость результатов измерений важна при оценке качества продукции, приобретаемой партией. Количественная оценка сходимости может быть дана с помощью разных показателей.

Например, в стандартах на методы определения химического состава мяса сходимость указывается в различной форме: при определении *нитратов* за результат анализа принимают среднее арифметическое двух параллельных определений при расхождении по отношению к среднему не более 10 % при  $P=0,95$ ; при определении *азота* разница между результатами двух измерений, выполненных одновременно (или с небольшим интервалом) одним химиком-аналитиком, не должна превышать 0,1 г азота на 10 г образца.



**Воспроизводимость результатов измерений** – повторяемость (близость) результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами измерений, разными операторами в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, влажности, давлению и др.).

Например, в стандарте на методы определения плотности молока воспроизводимость регламентируется в форме: допустимое расхождение между результатами измерений одним и тем же типом ареометра в различных условиях (разное время, место, операторы) не должно превышать  $0,8 \text{ кг/м}^3$ .

# КЛАССЫ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ


Учет всех нормируемых МХ СИ является сложной и трудоемкой процедурой. На практике такая точность измерений не нужна, поэтому рабочие СИ принято разделять на классы точности (КТ РСИ), которые определяют **обобщенную метрологическую характеристику средства измерений**.

Требования к МХ устанавливаются в стандартах на СИ конкретного типа, они могут варьироваться у разных экземплярах СИ в зависимости от его класса точности.

**Класс точности**- обобщенная характеристика данного типа средства измерений, отражающая уровень точности показаний и выражаемая точностными характеристиками (пределами основной и дополнительной погрешности средства измерений).

Классы точности присваиваются средствам измерений с учетом результатов **государственных приемочных испытаний** на этапе их выхода из процесса производства (контроль готовой продукции).

Обозначения КТ наносят на циферблаты, щитки и корпуса СИ, обязательно указываются в нормативно-технической документации на СИ (НТД СИ).




Классы точности могут обозначаться буквами (М, С, В) или римскими цифрами (I, II, III и т.д.).

Обозначение классов точности СИ по стандарту («ГОСТ 8.401-80. ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования») может производиться дополнительными условными знаками:

Используют различные способы выражения основных нормированных погрешностей в зависимости от вида СИ. Для гирь, концевых мер длины указывают значения абсолютных допустимых погрешностей, класс точности обозначается одной арабской цифрой (порядковым номером): 0; 1; 2. Наименьшие погрешности соответствуют классу 0. Значения этих погрешностей для номинальных значений мер указаны в таблицах стандартов на меры.

Если нормируется допустимая относительная погрешность  $\beta$ , то КТ обозначается в виде числа 1,0 – значение допустимой предельной относительной погрешности в % от измеренного значения.

Например, если при измерении прибором, имеющим на щитке обозначение класса точности 1,5, получен результат 200, то абсолютная погрешность  $\Delta$  не превышает значения  $200 \cdot 0,015 = 3$  и измеренной значение находится в интервале  $200 \pm 3$ .



Для многих электрических приборов (вольтметров, амперметров) нормируют значение приведенной погрешности  $\gamma$ , измеряемой в процентах, где  $X_N$  – нормируемое значение, в качестве которого принимается значение верхнего предела измерений. Класс точности при этом обозначается числом того же ряда, что и при нормировании относительной погрешности, но дополнительного знака при этом нет.

Например, если вольтметр класса 1,5 с диапазоном измерений от 0 до 250В показывает напряжение 36 В, то абсолютная погрешность измерения составит

$\Delta = 250 * 0,015 = 3,75$  В, а относительная погрешность измерения составит:

$\beta = 3,75 * 100 / 36 = 10$  %.

Для приборов с нормируемой приведенной погрешностью абсолютная погрешность не зависит от значения измеряемой величины, а относительная погрешность увеличивается с уменьшением значения измеряемой величины. Значение абсолютной погрешности можно снизить, если использовать прибор того же класса точности, но с меньшим диапазоном измерений.

Для шкал, проградуированных в миллиметрах, абсолютная погрешность выражается в единицах длины. Если для такого прибора нормируется значение приведенной погрешности, то КТ прибора обозначается в виде 1,0 – значение приведенной погрешности, выраженное в %.

## Лекция № 8. ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ИЗМЕРЕНИЙ В СФЕРЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (ГР ОЕИ) к применению допускаются средства измерений: 1. утвержденного типа; 2. прошедшие поверку и 3. обеспечивающие соблюдение установленных обязательных требований, включая обязательные метрологические и технические требования к средствам измерений.

В состав обязательных требований к средствам измерений в необходимых случаях включаются также требования к их составным частям, программному обеспечению и условиям эксплуатации средств измерений.

Конструкция средств измерений должна обеспечивать ограничение доступа к определенным частям средств измерений (включая программное обеспечение) в целях предотвращения несанкционированных настройки и вмешательства, которые могут привести к искажениям результатов измерений.

## Понятие типа средства измерений

**Технические требования к средствам измерений** - требования, которые определяют особенности конструкции средств измерений в целях сохранения их метрологических характеристик в процессе эксплуатации средств измерений, достижения достоверности результата измерений, предотвращения несанкционированных настройки и вмешательства, а также требования, обеспечивающие безопасность и электромагнитную совместимость средств измерений.

**Тип средств измерений** - совокупность средств измерений, предназначенных для измерений одних и тех же величин, выраженных в одних и тех же единицах величин, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации.

**Утверждение типа** средств измерений - документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа средства измерений метрологическим и техническим требованиям (характеристикам) на основании результатов испытаний, проведенных в целях утверждения типа.



# УТВЕРЖДЕНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Тип средств измерений, применяемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, подлежит обязательному утверждению. При утверждении типа средств измерений устанавливаются: 1. показатели точности; 2. интервал между поверками средств измерений и 3. методика поверки данного типа средств измерений.

Решение об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений принимается, на основании положительных результатов испытаний средств измерений в целях утверждения типа.

Утверждение типа средств измерений удостоверяется свидетельством об утверждении типа средств измерений. В течение срока действия свидетельства об утверждении типа средств измерений интервал между поверками средств измерений может быть изменен только ФОИВ, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений.

На каждый экземпляр средств измерений утвержденного типа, сопроводительные документы к указанным средствам измерений наносится знак утверждения их типа. Конструкция средства измерений должна обеспечивать возможность нанесения этого знака в месте, доступном для просмотра.

Испытания стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа проводятся юридическими лицами, аккредитованными в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации на выполнение испытаний в целях утверждения типа.

Сведения об утвержденных типах стандартных образцов и типах средств измерений вносятся в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

# ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

*Поверка средств измерений* - совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям.

Метрологические требования - требования к влияющим на результат и показатели точности измерений характеристикам (параметрам) измерений, эталонов единиц величин, стандартных образцов, средств измерений, а также к условиям, при которых эти характеристики (параметры) должны быть обеспечены.

Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации - периодической поверке. Применяющие средства измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны своевременно представлять эти средства измерений на поверку.

Поверку средств измерений осуществляют аккредитованные юридические лица и индивидуальные предприниматели.

Правительством РФ устанавливается перечень средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными государственными региональными центрами метрологии.



## ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ (продолжение)

Результаты поверки средств измерений удостоверяются знаком поверки, и (или) свидетельством о поверке, и (или) записью в паспорте (формуляре) средства измерений, заверяемой подписью поверителя и знаком поверки. Конструкция средства измерений должна обеспечивать возможность нанесения знака поверки в месте, доступном для просмотра. Если особенности конструкции или условия эксплуатации средства измерений не позволяют нанести знак поверки непосредственно на средство измерений, он наносится на свидетельство о поверке или в паспорт (формуляр).


Сведения о результатах поверки средств измерений, предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений проводящими поверку средств измерений юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.

## ВИДЫ ПОВЕРОК

Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (стран СНГ) установлены следующие виды поверок:

- ▣ **Первичная поверка** — поверка, выполняемая при выпуске средства измерений из производства или после ремонта, а также при ввозе средств измерений из-за границы партиями.
- ▣ **Периодическая поверка** — поверка средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени.
- ▣ **Внеочередная поверка** — поверка средств измерений, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки.
- ▣ **Инспекционная поверка** — поверка, проводимая органом государственной метрологической службы при проведении государственного надзора за состоянием и применением средств измерений.

- 
- ▣ **Комплектная поверка** — поверка, при которой определяют метрологические характеристики средства измерений, присущие ему как единому целому.
  - ▣ **Поэлементная поверка** — поверка, при которой значения метрологических характеристик средств измерений устанавливаются по метрологическим характеристикам его элементов или частей.
  - ▣ **Экспертная поверка** — проводится при возникновении разногласий по вопросам, относящимся к метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению.
  - ▣ **Выборочная поверка** — поверка группы средств измерений, отобранных из партии случайным образом, по результатам которой судят о пригодности всей партии.



*Нормативная документация по вопросам поверки средств измерений:*

ПР 50.2.006-94. ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений.

ПР 50.2.014-96. ГСИ. Правила проведения аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений.

ПР 50.2.012-94. ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений.

ПР 50.2.007-94. ГСИ. Поверительные клейма.

РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

## ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА

**Поверочная схема** для средств измерений — нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим средствам измерений (с указанием методов и погрешности при передаче). Различают государственные и локальные поверочные схемы.

Государственная поверочная схема распространяется на все средства измерений определенного типа для данной физической величины, применяемые в стране, например, на средства измерений электрического напряжения в определённом диапазоне частот. Устанавливая многоступенчатый порядок передачи размера единицы ФВ от государственного эталона, требования к средствам и методам поверки, государственная поверочная схема представляет собой структуру метрологического обеспечения определённого вида измерений в стране. Эти схемы разрабатываются главными центрами эталонов и оформляются одним стандартом ГСИ.

Локальные поверочные схемы распространяются на средства измерений, подлежащие поверке в данном метрологическом подразделении на предприятии, имеющем право поверки собственных средств измерений и оформляются в виде стандарта предприятия. Ведомственные и локальные поверочные схемы не должны противоречить государственным и должны учитывать их требования применительно к специфике конкретного предприятия.

*Нормативная документация*

ГОСТ 8.061-80. ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение.

РМГ 29—2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

## Лекция № 9. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

**Погрешность измерений** – это отклонение значения величины, найденной путем измерений от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

По форме числового выражения погрешность может быть представлена абсолютной погрешностью, относительной, приведенной.

**Абсолютной** называют погрешность, выраженную в тех же единицах (ЕФВ), что и измеряемая величина (2,5 мкм; 0,4 В и тп).

$$\Delta x = X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}} (\Delta).$$

**Относительная** погрешность представляет собой отношение абсолютной погрешности к истинному (действительному) значению ИВ.

$$\beta = \Delta x / X_{\text{ист}} (\Delta) (*100 \%).$$

**Приведенной** погрешностью называют отношение абсолютной погрешности к нормируемому значению диапазона измерений величины  $X$  данного средства измерений.

$$\beta = \Delta x / X_N (*100 \%), \text{ где } X_N - \text{ВПИ СИ.}$$





# КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По форме численного выражения
  - абсолютные
  - относительные
  - приведённые
2. По закономерностям проявления
  - 2.1. По виду влияющего источника
    - методические
    - инструментальные
    - субъективные
    - от внешних влияний



## 2.2. По характеру проявлений

- постоянные
- переменные
  - изменяются по линейному закону
  - изменяются по сложному закону


## 2.3. Разделяемые для удобства выявления, уменьшения и исключения

- теоретические
- практические

## 4. Разделяемые для удобства вычислений и учёта

- систематические
- случайные
- грубые погрешности (промахи)

Изучение причин погрешностей и уменьшения размеров погрешностей – одна из главных задач практической метрологии, поэтому понятие «погрешность» - одно из центральных в метрологии.




В зависимости от причин и места возникновения (источника) погрешности подразделяют на группы: *инструментальные, методические, субъективные*.

**Инструментальная погрешность** – это погрешность применяемого средства измерения (или средств измерений). Если применяется стандартное СИ, прошедшее поверку, то интервал, в котором находится эта погрешность, известен с заданной вероятностью (стандартное значение).

**Методическая погрешность** обусловлена несовершенством применяемого метода измерения. На ее величину оказывают влияние несовершенство принятой измерительной модели объекта измерений, способ применения измерительного средства, алгоритмы, по которым вычисляют результат измерений и др. факторы, не связанные со свойствами применяемых средств измерений.

**Субъективная погрешность** – это погрешность оператора, связана с его недостаточной квалификацией или индивидуальными особенностями и связана с тщательностью выполнения правил измерительных операций.



**Параметры окружающей среды**, в которой проводятся измерения могут оказывать влияние как на средства измерений и применяемые методы измерений, так и на объект измерений.

Погрешность средств измерений, возникающую от отклонений внешних факторов среды измерений от номинальных значений называют дополнительной и, для широко применяемых средств измерений, её значения часто указывают в стандартах на СИ.

Влияние внешних факторов на методическую погрешность следует оценивать отдельно в каждом конкретном случае. Для большинства видов измерений наиболее полно изучено и поддается учету определение погрешностей при отклонении температуры окружающей среды.

Погрешности внешних условий по характеру проявления являются *систематическими*.

Под влиянием совокупности всех действующих факторов, в т.ч. и внешних, складывается *суммарная погрешность измерения*.

Влияние каждого фактора может исследоваться отдельно, но удобно для исследования и оценки погрешностей делить суммарную погрешность на две составляющие: случайную и систематическую, принципиально отличающиеся по характеру проявления и требующие различных способов для их обнаружения, оценки и учета.


Для определения суммарной погрешности при технических измерениях допускается использовать простую формулу (1)

$$P_{\Sigma} = \sqrt{P_{\text{сист}}^2 + P_{\text{сл}}^2}; \quad (1)$$

# НОМИНАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЛИЯЮЩИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Влияющая величина	Номинальное значение величины
Температура для всех видов измерений	293К (20°C)
Давление окружающего воздуха для измерения ионизирующих излучений, теплофизических, температурных, магнитных, электрических, давлений, параметров движения	100 кПа (750 мм рт.ст.)
То же для остальных видов измерений	101,3 кПа (760 мм рт.ст.)


Относительная влажность воздуха для измерений: линейных, угловых, массы и спектроскопии	58 %
То же для измерений электрического сопротивления	55 %
То же для измерений температуры, силы, твердости, переменного электрического тока, ионизирующих излучений, параметров движения	65 %
То же для остальных видов измерений	60 %
Плотность воздуха	1,2 кг/м <sup>3</sup>
Ускорение свободного падения	9,8 м/с <sup>2</sup>
Магнитная индукция (например, магнитного поля) и напряженность электростатического поля для измерений параметров движения, магнитных и электрических величин	0
То же для остальных видов измерений	Соответствует характеристикам поля Земли в данном районе
Частота питающей сети переменного тока	(50 ± 5)Гц



▣ **Случайная погрешность** – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку или значению) в серии повторных измерений одного и того же размера ФВ, проведенных с одинаковой тщательностью в одних и тех же условиях. В появлениях таких погрешностей не наблюдается закономерности, они обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса результатов.

Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результатах измерений. Описание случайных погрешностей возможно только на основе теории вероятностей и математической статистики.

В отличие от систематических случайные погрешности нельзя исключить из результатов измерений путем введения поправок. Однако их можно существенно уменьшить путем увеличения числа измерений, поскольку среднее арифметическое значение  $X$  при этом стремится к истинному значению измеряемой величины  $Q$ .




□ Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ.

Систематическая погрешность, как правило, не изменяется при многократных измерениях и может быть почти полностью устранена путем обнаружения и устранения причины, по которой она возникла или путем введения поправки в оформляемый результат измерений.

Однако, приведенные иллюстрации несколько упрощены, т.к. систематическая погрешность также содержит некоторый элемент случайности и в некоторой степени обладает свойствами случайной величины. На этом основании предложено считать систематическую погрешность специфической, она также может изменяться при многократных измерениях, когда фактор времени или нестабильность измерительной системы вносят заметные изменения в результаты.

Часть систематических погрешностей, не поддающихся учету, причисляют к случайными. Искаженные неучтенными систематическими погрешностями результаты труднее поддаются математической обработке. В последние годы ведутся большие дискуссии вокруг понятия «неопределенность измерений».





При измерениях могут проявляться также очень большие **грубые погрешности** (промахи), которые возникают из-за ошибок или неправильных действий операторов, а также из-за сбоев в работе измерительных приборов и других резких изменений условий проведения измерений.

Грубые погрешности обнаруживают и отбрасывают непосредственно в процессе измерений или при математической обработке результатов (их проверке) с использованием специальных критериев, применяемых для разного числа измерений (Кр.Райта, Кр. Романовского, Кр. Шовине и др.).

## Выявление и исключение грубых погрешностей (промахов)

Существует ряд критериев для оценки промахов.

Критерий  $3\sigma$  (для  $n \geq 20$ ).

В этом случае считается, что результат, возникающий с вероятностью  $P \leq 0,003$  малореален и его можно квалифицировать промахом, т.е. результат  $X_i$  надо отбрасывать, если выполняется неравенство (или равенство)

$$|X_{ca} - X_i| \geq 3\sigma_x;$$

Тогда  $X_i$  считается результатом, содержащим грубую погрешность (промах) и величины  $X_{ca}$  и  $\sigma_x$  вычисляются заново, без учета  $X_i$ .

Данный критерий надежен при числе измерений  $n \geq 20, \dots, 50$ .

Если  $n < 20$ , то можно применить критерий Романовского.

При этом вычисляют отношение

$$\frac{|X_{ca} - X_i|}{\sigma_x} = \beta_p;$$

полученное значение  $\beta_p$  сравнивают с теоретическим (т.е. табличным значением коэффициента Романовского)  $\beta_T$ , которое выбирают из таблицы.

Если выполняется неравенство  $\beta_p \geq \beta_T$ , то результат  $X_i$  отбрасывают.

## ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ


Погрешность результата измерения ФВ дает представление о том, какие последние цифры в его числовом значении являются сомнительными. Поэтому нет смысла выражать погрешность более чем одной или двумя цифрами. В соответствии с установленными правилами погрешность выражается двумя значащими цифрами, если первая из них 1 или 2, и одной, начиная с цифры 3.

Числовое значение результата измерения следует округлять в соответствии с числовым рядом значащей цифры погрешности, т.е. числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же разряда (или тем же десятичным знаком), которым оканчивается значение абсолютной погрешности.

*При этом если старшая отбрасываемая цифра больше или равна 5, но за ней имеются цифры, то предыдущую оставляемую цифру увеличивают на единицу. Если отбрасываемая цифра 5 не имеет за собой значащих цифр, то предыдущая не изменяется, если она четная, и увеличивается на единицу, если она нечетная.*

1,214 – 1,21; 1,2151 – 1,22; 1,215 - 1,22; 1,225 – 1,22


К округлениям относятся внимательно, рекомендуется производить вычисления с одним-двумя лишними знаками, а округлять в окончательном ответе.



## СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ. СПОСОБЫ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ

Группы погрешностей (инструментальная, методические, субъективные) при своем проявлении могут содержать случайную и систематическую составляющие, поэтому при анализе причин возникновения систематических погрешностей выделяют эти же группы погрешностей с добавлением четвертой – погрешностей внешних влияний. Методические погрешности подразделяют при этом на теоретические и (погрешности измерительной модели, или погрешности метода) и практические (погрешности установки прибора и т.д.).


Главные источники систематических погрешностей в большинстве измерений известны и разработаны методы, позволяющие их устранить до начала измерения или, если это невозможно, определить поправку для внесения в результат измерений.



Примеры факторов, влияющих на возникновение инструментальных погрешностей: неравноплечность весов, погрешность градуировки шкалы прибора или штриховых мер длины, погрешность установки нуля, отклонение от номинального значения массы гири, а также перекосы, искривления, люфты, зазоры, отклонения от номинальных размеров отдельных деталей. Например, при изготовлении оптико-механических приборов для измерения длины нецелесообразно ужесточать допуски на отдельные детали оптической системы и после сборки прибора (и после ремонта) производится юстировка\* отдельных узлов и всего прибора в целом.

\* Юстировка СИ – комплекс операций по доведению инструментальных погрешностей до значений, соответствующих техническим требованиям.


Инструментальные погрешности возрастают, как правило, при увеличении срока службы измерительных средств. При этом увеличение погрешностей в два – четыре раза превышающих допускаемые значения, может долго оставаться незамеченным. Особенно это опасно в эталонных СИ. Следовательно, необходимо устанавливать разумный межповерочный интервал с учетом условий и интенсивности эксплуатации СИ.



**▣ Теоретические погрешности** – погрешность метода измерений, погрешности несоответствия (некорректности) измерительной модели исследуемому объекту, использование упрощений или допущения при вычислении результатов. Примеры:


1. При определении площади прямоугольника не всегда достаточно измерить две его стороны. В зависимости от допустимой погрешности в измерениях должны или нет контролироваться углы, равенство диагоналей, равенство противоположных сторон, прямолинейность, неплоскостность.

2. При определении прочности бетона неразрушающими методами с использованием эмпирических зависимостей (например, скорость ультразвука – прочность) систематическая составляющая погрешности метода, как правило, значительно превосходит допустимую, если не произведено уточнение цены деления прибора путем предварительных испытаний, позволяющих учесть вид заполнителей и особенностей состава бетона.



3. При изготовлении бетонных смесей необходимо оперативно корректировать дозировку воды в зависимости от влажности используемого песка. Применяемые для этой цели электрические и электронные влагомеры, в основе которых лежит зависимость электрических параметров от влажности материала, имеют погрешность, обусловленную тем, что данные на данные параметры наряду с влажностью влияет также и гранулометрия песка.

4. При измерении электрического сопротивления при помощи амперметра и вольтметра на основе закона Ома вносится систематическая погрешность, зависящая от сопротивлений амперметра и вольтметра. При точных измерениях эти сопротивления должны быть известны и учтены в виде поправок к результатам измерений.



□ **Практические погрешности** – это погрешности установки прибора, погрешности оператора и погрешности, возникающие от воздействия влияющих величин рабочей среды измерений на объект измерений, средство измерений и метод измерений.

*Погрешности установки прибора* – отклонения от горизонтали или вертикали при установке весов, геодезических приборов и т.д.; - несогласованность характеристик отдельных приборов, входящих в измерительный комплекс; - неправильность установки прибора, приводящая к параллаксу при отсчете по шкале и др.


Неправильность установки прибора – наиболее частая причина неучтенных погрешностей при линейно-угловых измерениях с помощью линейки, метра, рулетки, угольника, штангенциркуля.

Отметим, что рассмотренные теоретические погрешности и погрешности установки во многом сходны и по существу являются методическими. Вместе с тем, приведенные причины погрешности при линейно-угловых измерениях можно отнести к субъективным.

*Погрешность оператора (субъективная)*

- запаздывание при регистрации измерительного сигнала,
- низкая точность при отсчете по шкале,
- приложение недостаточных или избыточных физических усилий при выполнении измерений,
- неправильный выбор позиции и т.п.






Эти погрешности могут носить как систематический, так и случайный характер (пример с установкой заданного размера на штангенциркуле начинающим слесарем, молодым инженером и опытным механиком, правильность размера проверялась более точным прибором, опыт повторяли 100 раз. Погрешность установки у инженера и начинающего слесаря носила чисто случайный характер при большей сходимости у инженера, у опытного механика при высокой сходимости имелась систематическая погрешность, обусловленная укоренившимся неверным навыком).

**Погрешности внешних влияний** легко учитываются, если фактор влияния хорошо изучен и постоянно контролируется.


В большинстве областей измерений известны главные источники систематических погрешностей и разработаны методы, исключаящие их возникновение или устраняющие их влияние на результат измерения. Однако, влияние некоторых факторов (магнитные и электрические поля, ионизирующие излучения, изменения атмосферного давления и др.) может оставаться незамеченным оператором и недооцениваться, особенно когда влияние непрерывно и погрешность остается постоянной в процессе измерений.



□ Используют следующие пути учета и исключения систематических погрешностей от внешних воздействий:

- 1) Устранение источников погрешностей или обеспечение защиты от них до начала измерения. Например, для устранения влияния температуры применяют термостатирование или кондиционирование. Для устранения влияния магнитных полей применяют экраны. Влияние вибраций устраняют путем амортизации. Влияние изменения влажности – герметизацией.
- 2) Исключение погрешностей в процессе измерения специальными методами или вычисление и внесение в результат поправок. При этом используют методы замещения, противопоставления, симметричных наблюдений и специальные статистические методы.

Метод замещения представляет собой разновидность метода сравнения, когда сравнение осуществляется заменой ИВ известной величиной так, чтобы в состоянии и действии всех используемых средств не происходило никаких изменений. Для этого необходимо иметь регулируемую меру.



На чашу весов устанавливают полный комплект гирь и уравнивают произвольным грузом, затем на чашу с гирями помещают взвешиваемую массу и снимают часть гирь для восстановления равновесия. Суммарное значение массы снятых гирь равно значению взвешиваемой массы. Такой метод позволяет исключить погрешность от неравноплечности весов и сохранить неизменной их чувствительность при взвешивании различных масс.

Метод замещения применяют также при измерении электрического сопротивления при помощи моста и мер сопротивления; измерении силы света при помощи фотометра и эталонных ламп и т.п.

Метод **противопоставления** является также разновидностью метода сравнения, при этом измерение производится дважды и проводится так, чтобы причина, вызывающая погрешность, оказала противоположное действие при первом и втором измерениях.

Для определения погрешности от неравноплечности весов при взвешивании этим методом массу  $m$  взвешивают два раза, меняя ее метами с гирями. Исправленное значение массы (с учетом погрешности) определяют по формуле

$$m = \sqrt{m_1 m_2}$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – значения, полученные при первом и втором взвешиваниях.

Этим методом определяется одновременно и отношение плеч:

$$l_2/l_1 = \sqrt{m_2/m_1}$$

которое используется в дальнейшем при обычном взвешивании в качестве поправочного коэффициента.

Для обнаружения и устранения переменных и монотонно изменяющихся систематических погрешностей производится их анализ с помощью графического изображения предполагаемой закономерности путем соединения плавной кривой ряда точек – значений результатов измерений.

Метод **симметричных** наблюдений используется для исключения прогрессивной систематической погрешности, являющейся линейной функцией времени (или другой величины). При выполнении ряда измерений в этом случае пользуются тем, что среднее значение погрешностей любой пары симметричных измерений равно погрешности среднего измерения в данном ряду. Например, выполнено 5 измерений через равные промежутки времени (равные интервалы изменения другой величины). В этом случае

$$(\Delta_1 + \Delta_5)/2 = (\Delta_2 + \Delta_4)/2 = \Delta_3$$

где  $\Delta_1, \dots, \Delta_5$  - погрешности 1-го, ..., 5-го измерений.

Специальные статистические методы включают в себя метод последовательных разностей, дисперсионный анализ и др.

## Лекция № 8. СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Факторы, определяющие возникновение случайных погрешностей, проявляются нерегулярно, в различных комбинациях и с разной интенсивностью, которую трудно предвидеть.

- Случайная погрешность случайно изменяется при повторных измерениях одной и той же ФВ. Однако если использовать исправленные результаты измерений, т.е. такие, из которых исключены систематические погрешности, то чисто случайные погрешности отличаются свойствами:
  - равные по абсолютной величине положительные и отрицательные погрешности равновероятны;
  - большие погрешности наблюдаются реже, чем малые;
  - с увеличением числа измерений одной и той же ФВ среднее арифметическое погрешностей стремится к нулю и, следовательно, среднее арифметическое результатов стремится к истинному значению измеряемой величины.

Фактическое значение случайной погрешности, полученной при поверке СИ, не характеризует его точности.

Для оценки интервала значений погрешностей и вероятности появления определенных значений нужны многократные измерения и использование математического аппарата Теории Вероятностей и т.

Наиболее универсальный способ описания случайных величин заключается в отыскании их интегральных или дифференциальных функций распределения.

□ **Интегральной функцией распределения**  $F(x)$  называют функцию, значение которой для каждого  $x$  является вероятностью появления значений  $x_i$  (в  $i$  – том наблюдении), меньших  $x$ :

$$F(x) = P \{ x_i \leq x \} = P \{ -\infty < x_i \leq x \}$$

где  $P$  – символ вероятности события, заключенного в фигурных скобках.

Обычно график интегральной функции распределения результатов наблюдений представляет собой непрерывную неубывающую кривую, начинающуюся от нуля на отрицательной бесконечности и асимптотически приближающуюся к единице при увеличении аргумента до плюс бесконечности.

Если интегральная функция имеет точку перегиба при значении  $X$ , близком к истинному значению ИВ, и принимает в этой точке значение, равное 0,5, то говорят о симметричности распределения результатов.

Более наглядным является описание свойств результатов наблюдений, содержащих случайные погрешности, с помощью дифференциальной функции распределения, называемой плотностью распределения вероятностей :


$$p(x) = dF(x) / dx$$

Так как  $F(x = +\infty) = 1$ , то  $\int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx = 1$ ,

т.е. площадь, заключенная между кривой дифференциальной функции распределения и осью абсцисс, равна единице.

Вероятность попадания случайной величины  $x$  в заданный интервал  $(x_1; x_2)$  равна площади, заключенной между абсциссами  $x_1$  и  $x_2$ :

$$P \{X_1 < X < X_2\} = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx$$




Отыскание функций распределения требует проведения трудоемких исследований и вычислений. На практике встречаются трапецеидальные, уплощенные, экспоненциальные и др. виды распределений.

Для наибольшего числа встречающихся на практике случайных величин можно ожидать распределение по закону нормального распределения (з-н Гаусса).

Теоретически доказано, что распределение случайных погрешностей будет близко к нормальному всякий раз, когда результаты наблюдений формируется под действием большого числа независимых факторов, каждый из которых оказывает незначительное действие по сравнению с суммарным действием всех остальных.





Плотность нормального распределения вероятностей для случайной величины (рис. 2 а) описывается уравнением

$$P(x) = (1 / \sigma \sqrt{2 \pi}) e^{- (x - m_x)^2 / 2 \sigma^2}$$

где  $m_x$  и  $\sigma$  - математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение, являющиеся основными параметрами нормального распределения;  $e$  – основание натурального логарифма.

Кривая имеет точки перегиба, соответствующие абсциссам  $m_x \pm \sigma$ .

Если данную кривую рассматривают как плотность распределения случайных погрешностей, то начало координат переносят в центр распределения и по оси абсцисс откладывают значение погрешностей  $\Delta = X - m_x$ .

Уравнение принимает вид

$$P(\Delta) = (1 / \sigma \sqrt{2 \pi}) * e^{-\Delta^2 / 2 \sigma^2}$$

**Математическое ожидание** случайной величины  $m_x = \int_{-\infty}^{\infty} x P(x) dx$  представляет собой оценку истинного значения измеряемой величины.

Математическое ожидание случайных погрешностей равно нулю.

Дисперсия результатов наблюдений является характеристикой их рассеивания:

$$D(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 P(x) dx = \sigma^2$$

Она имеет размерность квадрата измеряемой величины и не всегда удобна для использования в качестве характеристики их рассеивания.

**Среднее квадратическое отклонение** результатов наблюдений

$\sigma = \sqrt{D(x)}$  имеет размерность измеряемой величины и наиболее часто используется в качестве основного параметра, характеризующего рассеивание результатов измерений.

Если абсцисса функций нормального распределения выражается в долях среднего квадратического отклонения  $t = (x - m_x) / \sigma$  и начало координат находится в центре распределения, то распределение называется нормированным.

□ Уравнения дифференциальной и интегральной функций

нормированного нормального распределения принимают следующий вид:

$$P(t) = (1 / \sqrt{2\pi}) e^{-t^2 / 2} ;$$

Определенный интеграл

называют функцией Лапласа. Заметим, что

$$F(t) = (1 / \sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^t e^{-t^2 / 2} dt$$


$$\Phi(t) = (1 / \sqrt{2\pi}) \int_0^t e^{-t^2 / 2} dt$$

$$F(t) - \Phi(t) = 0,5.$$

## ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИИ ЛАПЛАСА

Таблица 1

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0.0	0.0000	0.9	0.3159	1.8	0.4641	2.7	0.4965
0.1	0.0398	1.0	0.3413	1.9	0.4713	2.8	0.4974
0.2	0.0793	1.1	0.3643	2.0	0.4772	2.9	0.4981
0.3	0.1179	1.2	0.3849	2.1	0.4821	3.0	0.4986
0.4	0.1554	1.3	0.4032	2.2	0.4861	3.5	0.4998
0.5	0.1915	1.4	0.4192	2.3	0.4893	4.0	0.4999
0.6	0.2257	1.5	0.4332	2.4	0.4918	$\infty$	0.5
0.7	0.2580	1.6	0.4452	2.5	0.4938		
0.8	0.2881	1.7	0.4554	2.6	0.4981		



Приведенные значения функции Лапласа показывают, что случайная погрешность при однократном измерении не выйдет за пределы интервала  $\pm \sigma$  с вероятностью  $\approx 0,68 (0,3413 \cdot 2)$ , т.е. 68% измерений будут иметь погрешность  $\Delta \leq \sigma$ . В интервале  $\pm 2 \sigma$  погрешность находится с вероятностью  $\approx 0,95 (0,4772 \cdot 2)$ , а в интервале  $\pm 3 \sigma$  - с вероятностью 0,9773, т.е. вероятность того, что случайная погрешность не выйдет за пределы  $\pm 3 \sigma$ , составляет 0,9973, или 99,73 %.

На практике с учетом интервала  $\pm 3 \sigma$  часто указывают предельную погрешность для некоторых средств измерений. В ряде случаев для средства измерения указывают среднее квадратическое отклонение случайной погрешности, а доверительную вероятность выбирают в зависимости от конкретных условий.

В производственной практике часто считают необходимым выполнение следующего условия: допустимое предельное отклонение от заданного номинального размера должно быть не меньше интервала  $\pm 3 \sigma$ . В этом случае в среднем только одно из 370 изделий (измерений) будет бракованным.

*Область технологического рассеивания какого-либо размера (параметра) изделия, как правило, подчиняется нормальному закону, и периодически определяемое СКО является показателем изменений в технологическом процессе.*

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ, СОДЕРЖАЩИХ СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ


На практике приходится пользоваться ограниченным числом измерений для того, чтобы оценить истинное значение ИВ и точность измерения.

Если число измерений велико (более 100), то кривую распределения можно построить достаточно точно, и если она соответствует нормальному закону, то графически определяется математическое ожидание  $m_x$  и СКО  $\sigma$ . Результаты измерений  $x_1, x_2, \dots, x_n$  делят на 10, ..., 20 интервалов  $\Delta x$  и записывают в виде статистического ряда

	$\Delta x_1$	$\Delta x_2$	....	$\Delta x_n$
$m_i$	$m_1$	$m_2$	....	$m_n$
$P_i$	$P_1$	$P_2$	....	$P_n$

**Примечание:**  $m_i$  - число результатов в интервале;  $P_i$  - вычисленная вероятность попадания в этот интервал.

При этом  $\sum m_i = n$ ;  $P_i = m_i / n$ .



Статистический ряд служит основой для построения гистограммы и статистической функции распределения. При  $\Delta x \rightarrow 0$  гистограмма переходит в плавную кривую.

Соответствие полученной кривой закону нормального распределения проверяют по критериям Пирсона и Холмогорова.

*Если измерений меньше 15, то принадлежность экспериментального распределения к нормальному не проверяется.*

При обработке результатов ограниченного числа наблюдений в качестве оценки математического ожидания принимается среднее арифметическое результатов наблюдений  $\bar{X} = \sum x_i / n$ .

Приближенное значение СКО в этом случае определяется по формуле

$$\sigma \approx \sqrt{\bar{D}} = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)}$$

Появление в знаменателе выражения  $(n-1)$  вместо  $n$  связано с заменой математического ожидания средним арифметическим незначительного числа наблюдений.

Среднее арифметическое отличается от математического ожидания на величину случайной погрешности (погрешности среднего значения), которая подчиняется тому же закону распределения, что и погрешности результатов отдельных наблюдений.

- Дисперсия среднего арифметического вычисляется по формуле  $\tilde{D}_{x^-} = \tilde{D}/n$ , а среднее квадратическое среднего арифметического – по формуле


$$\tilde{\sigma}_{x^-} = \tilde{\sigma} / \sqrt{n} = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / n (n-1)}$$



Значения коэффициента  $t$  при числе измерений  $n$  от 2 до 20  
и заданной доверительной вероятности  $P$

Таблица 2

	Доверительная вероятность $P$									
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.999
2	1.00	1.38	1.96	3.08	6.31	12.71	31.80	63.70	127.30	637.20
3	0.82	1.06	1.34	1.89	2.92	4.30	6.96	9.92	14.10	31.60
4	0.76	0.98	1.25	1.64	2.35	3.18	4.54	5.84	7.50	12.94
5	0.74	0.94	1.19	1.53	2.13	2.77	3.75	4.60	5.60	8.61
6	0.73	0.92	1.16	1.48	2.02	2.57	3.36	4.03	4.77	6.86
7	0.72	0.91	1.13	1.44	1.94	2.45	3.14	3.71	4.32	5.96
8	0.71	0.90	1.12	1.42	1.90	2.36	3.00	3.50	4.03	5.40
9	0.71	0.89	1.11	1.40	1.86	2.31	2.90	3.36	3.83	5.04
10	0.70	0.88	1.11	1.38	1.83	2.26	2.82	3.25	3.69	4.78



11	0.70	0.88	1.09	1.37	1.81	2.23	2.76	3.17	3.58	4.59
12	0.70	0.88	1.09	1.36	1.80	2.20	2.72	3.11	3.50	4.49
13	0.70	0.87	1.08	1.36	1.78	2.18	2.68	3.06	3.43	4.32
14	0.69	0.87	1.08	1.35	1.77	2.16	2.65	3.01	3.37	4.22
15	0.69	0.87	1.08	1.34	1.76	2.14	2.62	2.98	3.33	4.14
16	0.69	0.87	1.07	1.34	1.75	2.13	2.60	2.95	3.29	4.07
17	0.69	0.86	1.07	1.34	1.75	2.12	2.58	2.92	3.25	4.02
18	0.69	0.86	1.07	1.33	1.74	2.11	2.57	2.90	3.22	3.96
19	0.69	0.86	1.07	1.33	1.73	2.10	2.55	2.88	3.20	3.92
20	0.69	0.86	1.07	1.33	1.73	2.09	2.54	2.86	3.17	3.88
∞	0.67	0.84	1.04	1.28	1.64	1.96	2.33	2.58	2.81	3.29

При увеличении числа наблюдений  $X^- \rightarrow m_x$  и  $\sigma_{x^-} \rightarrow 0$ . Границы доверительного интервала, в котором с заданной вероятностью (обеспеченностью) находится случайная погрешность среднего арифметического, определяют по формуле

$$P_{сл} = \pm t * \sigma_{x^-}$$

где:  $t$  – коэффициент Стьюдента (табличное значение);

$\sigma_{x^-}$  – среднее квадратическое отклонение среднего значения  $X$ .

При числе наблюдений  $n > 20$  значения коэффициента  $t$  определяют по таблицам функции Лапласа (табл. 1), а при  $n < 20$  – по таблицам функции Стьюдента (табл. 2, 3).

Зная число наблюдений  $n$  и задавшись доверительной вероятностью  $P$ , можно найти по таблице 2 значение  $t$  и, умножив его на  $\sigma_{x^-}$ , определить границы доверительного интервала.

В тех случаях, когда требуется определить доверительную вероятность при заданном  $t$ , удобнее пользоваться таблицей 3, стр.156).

Значения функции Стьюдента для интервалов  $t=2...3,5...$   
при числе измерений  $n$  от 2 до 20

Таблица 3

n	Коэффициент t				n	Коэффициент t			
	2.0	2.5	3.0	3.5		2.0	2.5	3.0	3.5
2	0.705	0.758	0.795	0.823	12	0.929	0.970	0.988	0.995
3	0.816	.870	.905	.928	13	.931	.972	.989	.996
4	0.861	.912	.942	.961	14	.933	.974	.990	.996
5	0.884	.933	.960	.975	15	.935	.974	.990	.996
6	.898	.946	.970	.983	16	.936	.975	.991	.997
7	.908	.953	.976	.987	17	.937	.976	.992	.997
8	.914	.959	.980	.990	18	.938	.977	.992	.997
9	.919	.963	.983	.992	19	.939	.978	.992	.997
10	.923	.966	.985	.993	20	.940	.978	.993	.997
11	.927	.969	0.987	.994	$\infty$	.955	.988	.997	.9997

## СУММИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

▣ **Суммированием погрешностей** измерений называют определение расчетным путем оценки результирующей погрешности по известным оценкам ее составляющих.


Если составляющие подчиняются разным законам распределения и их количество велико, то их суммирование с выявлением функции многомерного распределения представляет неразрешимую задачу.

На практике суммирование заключается, как правило, в определении СКО ( $\sigma_{\Sigma}$ )

Результирующей погрешности по известным  $\sigma_i$  составляющих погрешностей. При этом используют упрощения и ряд допущений.

Приведем некоторые основные правила и формулы.

Простейшим случаем, при котором возникает необходимость суммирования погрешностей, является нахождение искомой величины как суммы нескольких составляющих  $Q = a + b + c + \dots + n$  (например, большой длины по частям).




Если при этом систематические погрешности при измерениях исключены и коэффициент корреляции между составляющими отсутствует, то можно утверждать, что

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_c^2 + \dots + \sigma_n^2}.$$

Если число составляющих более 5, то можно утверждать, что распределение случайной погрешности суммы будет близко к нормальному. Для построения доверительного интервала можно применить функцию Лапласа.

Если при определении составляющих погрешностей используют измерительные средства с известными предельными погрешностями, заданными из условия трех сигм ( $\Delta \leq 3\sigma$ ), и при измерениях не вносятся дополнительные методические погрешности, то справедлива формула


$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_a^2 + \Delta_b^2 + \Delta_c^2 + \dots + \Delta_n^2}$$


- Погрешность суммы в этом случае не выйдет за пределы полученного значения с вероятностью 0,997.
- Приведенные формулы используют при расчете допуска замыкающего звена размерных цепей в системе обеспечения геометрической точности в строительстве.
- Другая часто встречающаяся функциональная зависимость, используемая при косвенных измерениях, выражается уравнением

$$Q = k a^{\alpha} b^{\beta} c^{\gamma},$$

где  $k$  - безразмерный коэффициент.

В этом случае относительное СКО  $\sigma_Q/Q$  (коэффициент вариации) результирующей величины определяется по формуле

$$\sigma_Q/Q = \sqrt{\alpha^2 (\sigma_a/a)^2 + \beta^2 (\sigma_b/b)^2 + \gamma^2 (\sigma_c/c)^2}$$



При суммировании составляющие погрешности могут значительно отличаться по величине. Наименьшие из них не влияют на точность определения суммарной погрешности, тогда ими можно пренебрегать. Для этого устанавливают критерий ничтожно малой погрешности, т.е. правило, позволяющее исключать ее из расчета.

Наиболее часто используют правило: *наименьшую случайную погрешность можно не учитывать, если ее среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  в три раза меньше, чем  $\sigma$  любой из оставляемых погрешностей.*