

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
ННІ МІТ

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування» ім. М.Ф. Семка

**Пупань Л.І.**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

**з дисципліни «Метрологія і основи вимірювань»**

Харків

## МОДУЛЬ №1. ИЗМЕРЕНИЯ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### ЛЕКЦИЯ №1,2

#### СУЩНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ МЕТРОЛОГИИ

1. Понятие метрологии и ее роль на современном этапе
2. Этапы становления метрологии – САМ. РАБ. №1
3. Базовые метрологические термины
4. Единство измерения
5. Составные части метрологии
6. Законодательство в области метрологии
7. Национальная метрологическая служба
8. Международное сотрудничество

1. В современном обществе метрология как наука об измерениях и область практической деятельности играет большую роль. Это связано с тем, что практически нет ни одной сферы человеческой деятельности, где бы ни использовались результаты измерений.

*Вопросами теории и практики обеспечения единства измерений занимается метрология.*

**Метрология** (от греч. «метро» - мера и «логос» - учение) – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и требуемой точности (ДСТУ 2681-94).

С другой стороны, метрология – это *институт* обеспечения единства измерений в стране, включающий стандартизацию единиц физических величин, их воспроизведение с наивысшей в стране точностью с помощью государственных эталонов и передачу размеров единиц физических величин иерархическим образом сверху вниз всем средствам измерений (приборам), допущенным к применению на территории страны.

**3. Измерением** называют совокупность операций, выполняемых с помощью технического средства, которое сохраняет единицу величины и позволяет сравнить с ней измеряемую величину. *Целью измерения и его конечным результатом является нахождение значения физической величины.*

**Принцип измерений** – физическое явление или эффект, положенные в основу измерений.

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

**Объект измерения** – тело (физическая система, процесс, явление и т.д.), которое характеризуется одной или несколькими физическими величинами.

**Физической величиной** называют одно из свойств физического объекта (явления, процесса), которое является общим в качественном отношении для многих физических объектов и отличается по количественному значению.

**Значение физической величины** – оценка физической величины в принятых для измерения данной величины единицах.

Нахождение **истинного значения измеряемой физической величины** является центральной проблемой метрологии. Стандарт определяет истинное значение как значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Поскольку истинное значение физической величины определить невозможно, в практике измерений оперируют понятием действительного значения. **Действительное значение** – значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместо него. Под **измеренным значением** понимается значение величины, отсчитанное по отсчетному устройству средства измерения.

**Погрешность результата измерения** – отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

**Средство измерения** – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

**Класс точности** – обобщенная характеристика средства измерительной техники, которая определяется пределами его допустимых и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, которые влияют на его точность, значения которых регламентируются.

Многие термины и определения, которые касаются метрологического обеспечения, регламентированы Законом Украины «Про метрологію та метрологічну діяльність» (от 05.06.2014, №1314-VII), а также ДСТУ 2681-94 «Метрологія. Термины и определения», ДСТУ2682-94 «Метрологическое обеспечение. Основные положения».

**4. Возможность применения результатов измерений для правильного и эффективного решения любой измерительной задачи определяется следующими тремя условиями:**

- результаты измерений должны быть выражены в законных (установленных законодательством страны) единицах;
- значения показателей точности результатов измерений должны быть известны с необходимой заданной достоверностью;
- результаты измерений должны быть получены с требуемой точностью.

Если результаты измерений удовлетворяют первым двум условиям, то обеспечено **единство измерений** – состояние измерений, при котором их результаты выражены в законных единицах и погрешности результатов не выходят за установленные границы с заданной вероятностью. Такие результаты можно сопоставлять, они могут использоваться в различных сочетаниях, различными людьми, организациями.

*Третье из перечисленных выше условий определяет требование к точности применяемых методов и средств измерений.*

*Если при измерениях соблюдаются все три условия (обеспечивается единство и требуемая точность измерений), то говорят о метрологическом обеспечении.*

**Под метрологическим обеспечением** понимается установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

**5. Современная метрология включает три составляющие:**

- ▲ **законодательную метрологию;**
- ▲ **фундаментальную (научную);**
- ▲ **практическую (прикладную).**

Сфера действия и задачи, решаемые в рамках каждой из составляющих, указаны на рис.1.

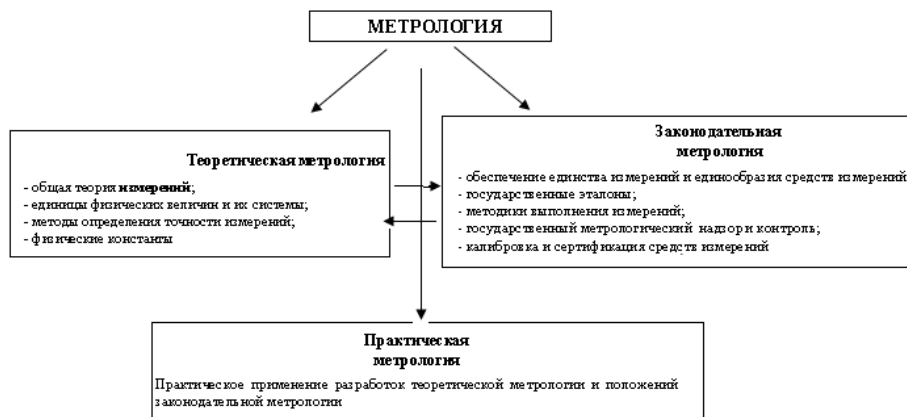


Рисунок 1 – Составные части метрологии

**6.** Неуклонно возрастающая значимость и ответственность измерений и измерительной информации обусловили необходимость установления в законодательном порядке целого комплекса правовых и нормативных положений, соблюдение которых направлено на обеспечение единства и требуемой точности измерений.

*Законодательные основы украинской метрологии определены сегодня самыми высокими актами – Конституцией Украины, Законом Украины «Про метрологію та метрологічну діяльність» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008), ДСТУ (например, ДСТУ 2681-94 «Метрология. Термины и определения», ДСТУ2682-94 «Метрологическое обеспечение. Основные положения» и т.д.).*

• **Конституция Украины.** Положения Конституции Украины закрепляют централизованное руководство основными вопросами законодательной метрологии (единицы величин, эталоны и связанные с ними другие метрологические основы).

*Статья 91: « ...Виключно законами України встановлюються: ... одиниці ваги, міри і часу, порядок встановлення державних стандартів».*

• **Закон Украины «Про метрологію та метрологічну діяльність» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008)** устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений, регулирует отношения государственных органов управления с юридическими и физическими лицами по вопросам изготовления, выпуска, эксплуатации, ремонта и импорта средств измерений и направлен на защиту прав и законных интересов граждан, установленного правопорядка и экономики Украины от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

**Закон определяет:**

- основные метрологические понятия (приведены определения основных метрологических терминов);
- сферу законодательно регулируемой метрологии;
- структуру и задачи метрологической системы Украины;
- единицы измерения величин, национальные эталоны, средства измерительной техники и методики выполнения измерений;
- структуру национальной метрологической службы;
- оценку соответствия и поверку средств измерительной техники;
- особенности метрологического надзора;
- финансирование метрологической деятельности;
- признание результатов метрологических работ, проведенных в других государствах;
- ответственность за нарушение законодательства в области метрологии и метрологической деятельности.

**7. Метрологическая служба - это совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений.**

*...Стаття 9 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Структура національної метрологічної служби*

*До національної метрологічної служби належать:*

- 1) *центральный орган исполнительной власти, что обеспечивает формирование государственной политики в сфере метрологии та метрологічної діяльності (діяльність визначається законами та покладеними на нього актами Кабінету Міністрів України);*
- 2) *центральный орган исполнительной власти, что реализует государственную политику в сфере метрологии та метрологічної діяльності;*
- 3) *центральный орган исполнительной власти, что реализует государственную политику в сфере метрологічного нагляду;*
- 4) *наукові метрологічні центри (визначаються Кабінетом Міністрів України з числа державних підприємств);*
- 5) *державні підприємства, які належать до сфери управління центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрології та метрологічної діяльності, та про-*

вядуть метрологічну діяльність в Автономній Республіці Крим, областях, містах Києві та Севастополі, містах обласного значення (далі - метрологічні центри);

б) Служба єдиного часу і еталонних частот, Служба стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, Служба стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів (Завдання та основні засади діяльності служб, зазначених у цій статті, визначаються положеннями про них, затвердженими Кабінетом Міністрів України);

7) метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, інших державних органів, підприємств та організацій;

8) органи з оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки та повірочні лабораторії.

Национальная метрологическая служба обеспечивает проведение единой технической политики в Украине по обеспечению единства измерений путем организации и проведения следующих мероприятий:

- ◆ організації проведення фундаментальних досліджень в області метрології;
- ◆ організації створення і функціонування еталонної бази України;
- ◆ визначення порядку створення, затвердження, реєстрації і застосування еталонів, а також сверки їх з міжнародними еталонами і еталонами інших країн;
- ◆ координацію діяльності метрологічної служби України;
- ◆ визначення загальних метрологічних вимог до засобів вимірювальної техніки, методів і результатів вимірювань;
- ◆ затвердження типів засобів вимірювальної техніки;
- ◆ визначення загальних вимог щодо порядку проведення калібрування і метрологічної атестації засобів вимірювальної техніки;
- ◆ визначення загальних вимог до розробки і атестації методик виконання вимірювань;
- ◆ організації навчання по метрології, стандартизації і сертифікації з метою підвищення кваліфікації інженерно-технічного персоналу підприємств, участі в діяльності міжнародних метрологічних організацій в порядку, передбаченому законодавством.

Национальная метрологическая система обеспечивает единство измерений в стране и направлена на:

- реалізацію єдиної технічної політики в області метрології;
- захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань;
- економію всіх видів матеріальних ресурсів;
- підвищення рівня фундаментальних досліджень і наукових розробок;
- забезпечення якості і конкурентоспроможності вітчизняної продукції;
- створення науково-технічних, нормативних і організаційних основ забезпечення єдинства вимірювань в державі.

8. Україна приймає активне участь в *міжнародних організаціях по метрології* і в інших міжнародних організаціях, в яких обговорюються питання метрології.

Найбільш вагомими міжнародними метрологічними організаціями є *Міжнародна організація мер і ваг (МОМВ)* і *Міжнародна організація законодавчої метрології (МОЗМ)*.

*Міжнародна організація мер і ваг (МОМВ)* - старіша міжурядова науково-технічна організація, заснована в 1875 г. відповідно до підписаної 17 країнами Метричної конвенції з метою уніфікації застосовуваних в різних країнах систем одиниць вимірювання, встановлення фактичного єдиного зображення еталонів довжини і маси (метра і кілограма).

В 1875г. было создано *Международное бюро мер и весов (МБМВ) (International Bureau of Weights and Measures (BIPM))* – первая международная научно-исследовательская лаборатория, расположенная во Франции (г. Севр).

МБМВ хранит и поддерживает международные эталоны: прототипы метра и килограмма, единицы ионизирующих излучений, электрического сопротивления и т.д.

Главная практическая задача МБМВ – сличение национальных эталонов с международными эталонами различных единиц измерений. Фактически МБМВ координирует деятельность метрологических организаций *более 100 государств*.

Научное направление работы МБМВ – совершенствование международной системы измерений (СИ) и эталонов единиц, разработка и применение новых методов и средств точных измерений, координация метрологических исследований в различных странах.

*Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ) (International Organization of Legal Metrology OIML)* учреждена на основе межправительственной Конвенции в 1956 г. Организация объединяет более 100 государств. Цель МОЗМ – разработка общих вопросов законодательной метрологии, в том числе обеспечение единообразия определения типов средств измерений, установление единообразия метрологических характеристик средств измерений.

МОЗМ издает два вида документов: международные рекомендации (МР) и международные документы (МД). МР имеют рекомендательный характер, МД – директивный. МР и МД предназначены для стран-членов МОЗМ и охватывают следующие вопросы: терминология в области метрологии, требования к метрологическим характеристикам средств измерений, способы выражения погрешностей средств измерений и результатов измерений, требования к метрологической деятельности (испытания, поверка, сертификация, калибровка средств измерений, метрологический контроль и надзор за обеспечением единства измерений и др.).

МОЗМ сотрудничает со многими международными организациями: МБМВ, МЭК (IEC), ИСО (ISO), ЮНИДО (UNIDO) (Организация объединенных наций по промышленному развитию), ИМЕКО (IMEQO) (Международная организация по измерительной технике и приборостроению) и т.д.

Существуют также региональные международные организации: Европейская организация по метрологии – *ЕВРОМЕТ*, Западноевропейское объединение по законодательной метрологии (*ВЕЛМЕК*), организация, объединяющую страны Центральной и Восточной Европы – *КООМЕТ* и т.д.

*Вопросами метрологии занимаются такие авторитетные международные организации (МЕС) - Международная электротехническая комиссия, МКО (IC) – Международная комиссия по освещению) и т.д.*

Специальными вопросами метрологии и измерительной техники занимаются и ряд других международных организаций, таких как: МККР – Международный консультативный комитет по радиосвязи; МККТТ – Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии; ИКАО - Международная организация гражданской авиации; МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергетике; КОСТРА – Комитет по исследованию космического пространства.

### ЛЕКЦИЯ №3

#### ИЗМЕРЕНИЯ И ИХ РОЛЬ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ

1. Роль измерений в развитии науки, техники, общества
2. Виды измерений по областям деятельности
3. Формы измерения
4. Аспекты измерения
5. Измерительная процедура
6. Единицы измерения. Понятие размерности – САМ. РАБ. №2

**1. Измерения являются мощным познавательным инструментом, а также имеют большое значение для хозяйственной деятельности человека.**

▲ Измерения проводятся для получения информации об окружающем мире, для формирования объективной картины мира.

▲ Измерения обеспечивают количественную характеристику окружающего мира, раскрывают действующие в природе закономерности.

▲ Точные измерения являются основой фундаментальных открытий.

▲ Измерения играют ведущую роль в практическом воплощении в жизнь результатов точных знаний.

В промышленной деятельности благодаря измерениям осуществляются:

▲ учет продукции по длине, массе, объему, затратам, мощности, энергии;

▲ измерения для обеспечения регулирования технологических процессов, обеспечения нормального функционирования транспорта и связи;

▲ измерения физических величин, технических параметров, состава и свойств веществ и материалов, которые осуществляются при научных исследованиях, испытаниях и контроле продукции в различных отраслях хозяйства.

Повышение точности измерений позволяет в итоге повысить качество продукции, способствует экономии всех видов ресурсов – энергетических, материальных, трудовых.

Затраты на получение достоверных результатов измерений в развитых странах составляют 9...12 % от ВВП (в Украине – 2 %).

## **2. Принято различать следующие области и виды измерений:**

1. Геометрические измерения (длина, угол, отклонения формы и расположения поверхностей, параметры шероховатости поверхности, координаты сложной поверхности).

2. Механические измерения (масса, сила, крутячий момент, напряжения и деформация, твердость, параметры движения).

3. Измерения расхода, вместимости, уровня, параметров потока.

4. Измерения давления и вакуума.

5. Физико-химические измерения (вязкость, плотность, влажность, концентрация компонентов).

6. Температурные и теплофизические измерения.

7. Измерения времени и частоты.

8. Электрические и магнитные измерения на постоянном и переменном токе (сила тока, напряжение, энергия, мощность, сопротивление, проводимость, магнитные характеристики материалов и т.д.).

9. Радиоэлектронные измерения (интенсивность, параметры формы и спектра сигналов и т.д.).

10. Виброакустические измерения (параметры вибрации, акустические измерения в газовой и жидкой среде и в твердых телах, уровень шума).

11. Оптические и оптико-физические измерения (сила света, освещенность, энергетические параметры излучения, характеристики лазерного излучения, оптические свойства материалов).

12. Измерения параметров ионизирующих излучений и ядерных констант.

13. Биологические и биомедицинские измерения.

## **3. Кроме видов, различают также формы измерений.**

Наиболее элементарной формой измерения является **номинальное измерение**. При таком измерении все величины, которые должны быть измерены, делят на несколько классов или групп таким образом, что измеряемая величина попадает только в один класс или группу. С помощью такого измерения осуществляют классификацию.

Номинальное измерение выгодно с экономической точки зрения: оно является достаточно простым и дешевым. Однако оно не может указать, какое из событий больше или меньше.

Нижнюю ступень среди форм **количественных измерений** занимает *порядковое измерение*. При подобном измерении можно определить относительную величину двух характеристик и расположить характеристики в определенном порядке согласно размеру, величине или интенсивности.

Измерение более высокого уровня носит название *интервального*.

С помощью подобного измерения можно не только установить тот факт, что одна величина больше другой, равна ей или меньше, но также определить, справедливо ли это в пределах определенного интервала.

Следующая форма измерения более высокого уровня обладает всеми свойствами предыдущих типов, но при этом добавляется фиксированное начало отсчета. Этот тип измерения называется *пропорциональным*.

Измерениями наивысшего уровня являются *кардинальные измерения*. С помощью таких измерений устанавливают соотношение между значением той или иной величины и значением эталонной величины, определенной заранее.

**4.** Одним из наиболее существенных аспектов (характеристик) измерения является *сбор информации*. Получение информации является необходимым, но не достаточным для определения измерения.

Другой аспект измерения состоит в том, что оно должно быть *избирательным*. Т.е. измерение может снабдить сведениями только о том свойстве, которое мы хотим узнать, но ничего не говорит ни об одном из многих других состояний или явлений вокруг нас.

Третий аспект – измерение должно быть *объективным*, его исход не должен зависеть от наблюдателя. Чтобы гарантировать объективность измерения, не обходимо воспользоваться теми или иными техническими средствами или приборами.

Т.о. **измерение** можно определить как получение информации с помощью измерительных систем в форме результата измерения, отражающего характеристику объекта измерения или явления в окружающем нас мире.

**5.** *Предметом метрологии* является получение количественной или качественной информации о свойствах объектов окружающего мира путем измерения. Само измерение – сложная процедура, включающая целый ряд последовательных и взаимодействующих элементов. Совокупность и порядок следования элементов процедуры измерения конкретного свойства фиксируется в форме соответствующей *методики выполнения измерений*.

Начальным элементом всякого измерения является его задача (цель).

**Задача измерения** в общем случае – это получение результата измерения требуемого качества, т.е. необходимой точности и достоверности. Формулирование конкретной измерительной задачи осуществляется с учетом априорной информации об измеряемом объекте и его свойствах.

**Объект измерения** – это реальный объект (тело, вещество, поле, процесс, организм), обладающий некоторой суммой свойств и находящийся в многосторонних и сложных связях с другими объектами.

**Субъект измерения** (человек, выполняющий измерение) принципиально не может охватить объект целиком, во всем многообразии его свойств и связей. Поэтому взаимодействие с объектом измерения возможно только на основе модели объекта.

**Модель объекта измерения** строится в соответствии с целью измерения на основе априорной информации об объекте и условиях измерения. Построение адекватной модели объекта измерения является сложной и неформализуемой задачей.

Субъект измерения выбирает принцип, метод и средства измерений.

Центральным элементом процедуры измерения является **измерительный эксперимент**. В узком смысле – это отдельное, однократное измерение, которое часто называют *наблюдени-*



ем. В общем случае измерительный эксперимент содержит ряд последовательных операций по взаимодействию средства измерения с измеряемым объектом, получению, преобразованию и индикации сигналов измерительной информации, регистрации результатов наблюдений.

Завершает процедуру измерения операция *обработки экспериментальных данных*, включающая проведение вычислений согласно принятому алгоритму, получение результата измерения, оценку его точности и достоверности, запись результата и его неопределенности (или погрешности) в соответствии с установленной формой представления.

## ЛЕКЦИЯ №4 МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

### 1. Классификация измерений 2. Методы измерений

1. Измерения классифицируют по способу получения информации, по характеру изменения измеряемой величины в процессе измерения, по количеству измерительной информации относительно основных единиц и т.д., рис.1.



Рисунок 1 – Классификация измерений

**По способу получения информации** измерения могут быть прямыми, косвенными, совокупными и совместными.

▲ *Прямыми измерениями* называются измерения, результат которых получается непосредственно из опытных данных, т.е. происходит непосредственное сравнение физической величины с ее мерой.

▲ *Непрямыми (косвенными)* называют измерения, при которых искомая величина непосредственно не измеряется, а ее значение находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными в результате прямых измерений.

▲ *Совокупные измерения* – это измерения, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, которая составляется по результатам одновременных измерений нескольких однородных величин; решение системы уравнений дает возможность вычислить искомую величину.

▲ *Общими (совместными)* называют проводимые одновременно измерения двух или более неоднородных физических величин для определения зависимости между ними.

**По характеру изменения измеряемой величины** различают измерения:

▲ *статистические* – связаны с определением случайных процессов, звуковых сигналов, уровня шумов;

▲ *статические* – имеют место тогда, когда измеряемая величина практически постоянна;

▲ *динамические* – связаны с измерением величин, которые в процессе измерения изменяются.

**По количеству измерительной информации:**

▲ *однократные* измерения – одно измерение одной величины;

▲ *многократные* – характеризуются повышенным числом измерений количества измеряемых величин. Минимальное число – более трех.

**В зависимости от отношения к основным единицам измерения:**

▲ *абсолютные измерения* – используется прямой выбор одной (или нескольких) основной величины и физическая константа;

▲ *относительные измерения* – базируются на установлении отношения измеряемой величины к однородной, которая используется как единица.

**По связи с объектом измерения:** бесконтактные и контактные.

**По точности оценки погрешности измерений:** лабораторно-исследовательские с точным или приближенным оцениванием погрешности; технические, регламентируемые стандартами и т.д.

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

*Методы измерений классифицируют по нескольким признакам:* по общим приемам получения результатов измерений, по условиям измерения и по способу сравнения измеряемой величины с ее единицей. Выделяют следующие методы измерений.

**По способу получения значений измеряемых величин** различают два основных метода: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

*Метод непосредственной оценки* – метод, в котором искомое значение физической величины определяют непосредственно по отчетному устройству средства измерения, которое проградуировано в соответствующих единицах.

*Метод сравнения с мерой* – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (например, сравнение массы на рычажных весах).

Отличительной чертой методов сравнения с мерой является непосредственное участие меры в процедуре измерения, в то время как в методе непосредственной оценки мера в явном виде при измерении не присутствует, а ее размеры перенесены на отчетное устройство (шкалу) средства измерения заранее, при его градуировке.

Обязательным в методе сравнения с мерой является наличие сравнивающего устройства.

Метод сравнения с мерой имеет несколько разновидностей: *нулевой метод* (или метод полного уравновешивания) – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и встречного воздействия меры на сравнивающее устройство сводятся к нулю; *дифференциальный метод измерения* – это метод измерения, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины; *метод замещения* – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой; *метод совпадений* – метод, при котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

**По условиям измерения** различают контактный и бесконтактный метод. *Контактный метод* – это метод измерения, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения. У *бесконтактного метода* чувствительный элемент прибора не контактирует с измеряемым объектом.

**В зависимости от типа применяемых измерительных средств** различают *инструментальный, экспертный, эвристический и органолептический* методы измерений.

## ЛЕКЦИЯ №5,6 СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Общая характеристика
2. Классификация средств измерений
3. Метрологические характеристики средств измерений
4. Поверка средств измерений
5. Эталоны и перспективы их развития – САМ. РАБ. №3

1. *Основой технической базы метрологического обеспечения являются средства измерений и контроля.*

*Средство измерений* – это техническое средство (или комплекс средств), предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

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

- *воспроизведение величины заданного (известного) размера;*
- *выработка сигнала (показания), несущего информацию о значении измеряемой величины.*

2. *Все средства измерений можно классифицировать по двум основным признакам:*

- *по метрологическому назначению.*
- *по конструктивному исполнению, рис.1.*

Средства измерений также классифицируют *по уровню автоматизации и стандартизации.*

*По метрологическому назначению* все средства измерений подразделяются на два вида: рабочие средства измерений и эталоны, см. рис. 1.

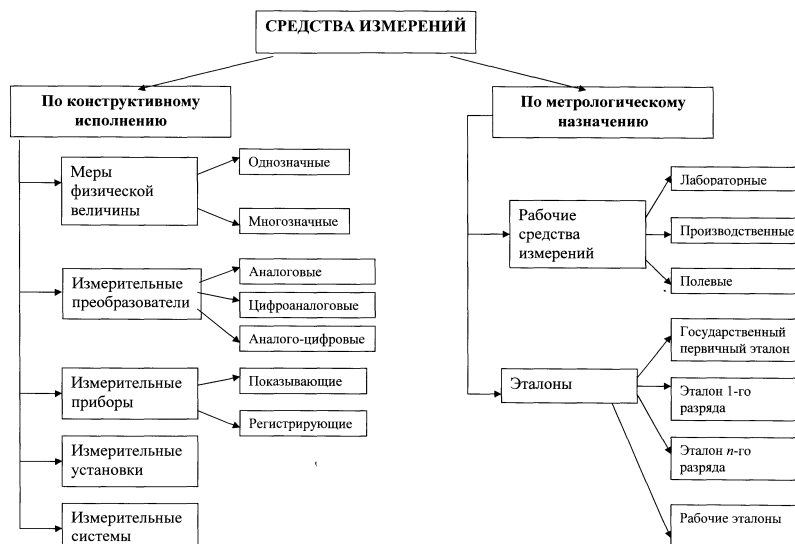


Рисунок 1

♦ *Рабочее средство измерений* – средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений. Рабочие средства измерений (меры и приборы) предназначены для определения параметров (характеристик) технических устройств, технологических процессов, окружающей среды.

♦ **Эталон** – это средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы физической величины и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений. Эталоны могут быть меры и приборы.

**По конструктивному исполнению, а также форме представления измерительной информации** средства измерений подразделяются следующим образом:

- мера физической величины;
- измерительный преобразователь;
- измерительный прибор;
- измерительная установка;
- измерительная система.

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

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

**Измерительный прибор** – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

**Измерительная установка** – совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и т.д.) и вспомогательных устройств (компьютер), предназначенная для измерения одной или нескольких физических величин, выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, и расположенная в одном месте.

**Измерительная система** – совокупность средств измерений (функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей), вычислительных устройств и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта, соединенных между собой каналами связи.

**3. Метрологические свойства средства измерения** – это свойства, влияющие на результат измерений и его погрешность. Показатели метрологических свойств являются их количественной характеристикой и называются **метрологическими характеристиками**.

Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативными документами, называются **нормируемыми метрологическими характеристиками**.

Отличием средства измерений от других технических устройств является то, что оно предназначено для получения измерительной информации и *имеет нормированные метрологические характеристики*.

Сведения о метрологических характеристиках содержатся, как правило, в нормативно-технических документах на средство измерения (в государственном стандарте, в ТУ, в паспорте на средство измерения). Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называются **нормируемыми**, а определяемые экспериментально – **действительными**.

*Нормированные метрологические характеристики могут быть представлены в виде числа, формулы, таблицы, графика; возможна комбинированная форма представления.*

**Все метрологические свойства средства измерений можно разделить на две группы:**

- 1) свойства, определяющие область применения средства измерения;
- 2) свойства, определяющие качество результатов измерения.

Нормируемые метрологические характеристики средств измерений определены ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Нормовані метрологічні характеристики засобів вимірювань».

Стандарт предполагает следующую номенклатуру метрологических характеристик, рис.2 :

- характеристики, предназначенные для определения результата измерений (функция преобразования, значения меры, цена деления, кодовые характеристики);
- характеристики погрешностей средств измерений;



Рисунок 2 - Номенклатура метрологических характеристик средств измерений

- характеристики чувствительности средств измерений к влияющим факторам;
- динамические характеристики;
- характеристики свойств средств измерений, которые влияют на погрешность вследствие взаимодействия средств измерения.
- неинформативные параметры выходного сигнала.

К метрологическим свойствам, характеризующим **качество измерений**, относятся точность, правильность, достоверность, сходимость и воспроизводимость результатов измерений. Наиболее широко в метрологической практике используется точность измерений.

**Точность средства измерений** – характеристика качества средства измерений, отражающая близость его погрешности к нулю.

**4. Поверкой средств измерений** называют совокупность действий, выполняемых для определения и оценки **погрешностей** средств измерений.

Организацию и поверку средств измерений в Украине проводят согласно ДСТУ 2708-99.

Цель поверки – выяснить, соответствуют ли точностные характеристики приборов значениям, указанным в технической документации, и пригодно ли средство измерения к применению.

Вид поверки определяют в зависимости от того, какой метрологической службой проведена поверка, каков характер поверки (инспекционная, экспертная), каков этап работы средства измерений.

**Поверка средств измерений может быть государственной или ведомственной.**

Государственная поверка проводится территориальными метрологическими органами, ведомственная – организациями ведомственных метрологических служб, получившими регистрационное удостоверение на право выполнения поверочных работ.

Обязательной государственной поверке подлежат:

- СИ, применяемые в органах государственной метрологической службы;
- исходные образцовые СИ предприятий, организаций и учреждений;
- СИ, выпускаемые из производства в качестве образцовых;
- рабочие СИ (по перечню), применяемые при учете материальных ценностей, взаимных расчетах в торговле, для охраны здоровья, обеспечения безопасности труда, регистрации национальных и международных спортивных рекордов.

Все остальные средства измерений подлежат обязательной ведомственной поверке.

*В зависимости от целей и назначения результатов поверки различают пять видов поверки: первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную и экспертную.*

*Средства измерений поверяют в центральных измерительных лабораториях предприятий и специальных метрологических лабораториях.* Результаты записывают в специальные паспорта (или аттестаты) инструментов и приборов.

**Методы поверки средств измерений:**

♦ *Без использования компаратора* (прибора сравнения), т.е. непосредственным сличением поверяемого средства измерений с образцовым средством измерений того же вида.

♦ *Сличением* поверяемого средства измерений с образцовым средством измерений того же вида с помощью компаратора.

♦ *Прямым измерением* поверяемым измерительным прибором величины, воспроизводимой образцовой мерой.

♦ *Косвенным измерением* величины, воспроизводимой мерой или измеряемой прибором, подвергаемым поверке.

*Реализация методов поверки осуществляется комплектной или поэлементной поверкой.*

**Поверочная схема** – это рекомендательный нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче участка шкалы (размера единицы) от эталона к рабочим СИ с указанием методов поверки и предельных погрешностей.

## ЛЕКЦИЯ № 7

### ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ И ИХ ОЦЕНКА

1. Понятие погрешности измерения. Абсолютная и относительная погрешность
2. Точная, приближенная и предварительная оценка погрешности
3. Классификация погрешностей
4. Критерии качества измерений

1. Количественной характеристикой качества измерений является **погрешность измерения**  $\Delta x$ , определяемая как разность между измеренным  $X_{изм}$  и истинным  $X_{ист}$  значениями измеряемой величины

$$\Delta x = x_{изм} - x_{ист} \quad (1).$$

Строго говоря, применение формулы (1) для вычисления погрешности измерения невозможно, поскольку истинное значение измеряемой величины неизвестно. Поэтому это выражение погрешности используется только в теоретических исследованиях, а на практике  $X_{ист}$  заменяется на его оценку – действительное значение величины  $X_d$ , и погрешность рассчитывается по формуле

$$\Delta x = x_{изм} - x_d \quad (2).$$

Поскольку действительное значение измеряемой величины только с той или иной степенью приближения заменяет истинное, то **погрешность измерения, найденная относительно действительного значения**, будет отличаться от погрешности измерения, которая могла бы быть найдена относительно истинного значения и является **приближенной оценкой «истинной» погрешности измерения**.

Погрешность, выраженная в соответствии с формулами (1) и (2), имеет размерность измеряемой величины и называется **абсолютной погрешностью**.

Используется также понятие **относительной погрешности** – погрешности, выраженной в долях измеряемой величины. Относительные погрешности выражают принятыми в системе СИ относительными величинами: безразмерным числом, в процентах и т.д.;  $\gamma_{отн} = (\Delta/x_d) \cdot 100 \%$ .

Приведенная погрешность – это отношение абсолютной погрешности к условно принятому (нормирующему) значению  $x_n$  измеряемой величины; как правило, выражается в процентах:  $\gamma = (\Delta/x_n) \cdot 100 \%$ .

Понятие погрешности характеризует несовершенство измерения. Позитивной характеристикой качества измерений является **точность измерения**. Точность и погрешность связаны обратной зависимостью – измерение тем более точно, чем меньше его погрешность. *Количественно точность выражается числом, равным обратному значению относительной погрешности.*

Стандартизованной является оценка качества измерения с указанием погрешности. При этом предпочтение отдается выражению погрешности измерения в форме относительной погрешности как наиболее информативной, дающей возможность объективно сопоставлять результаты и оценивать качество измерений, выполненных в разное время или разными экспериментаторами.

2. ♦ При измерениях с «точной» оценкой погрешности учитываются индивидуальные метрологические свойства и характеристики каждого из примененных средств измерения, анализируется метод измерений, контролируются условия измерений с целью учета их влияния на результат измерения.

♦ При измерениях с *приближенной* оценкой погрешностей учитывают лишь нормативные, типовые метрологические характеристики средств измерения и оценивают влияние на результат измерения лишь отклонений условий измерения от нормальных.

♦ Измерения с *предварительной* оценкой погрешностей выполняются по типовым методикам выполнения измерений, регламентированным нормативно-технической документацией, в которых указываются методы и условия измерений, типы и погрешности используемых средств измерений и, на основе этих данных, заранее оценена и указана в методике возможная погрешность результата.

В инженерной практике обычно имеют дело с двумя последними видами измерений и приемами оценки погрешностей результата измерения, относящегося к категории технические измерения.

3. ♦ По характеру проявления во времени выделяют систематические и случайные составляющие погрешности, рис.1.



Рисунок 1 – Классификация погрешностей

*Систематической погрешностью* измерения называется погрешность, которая при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях остается постоянной или закономерно изменяется.

Нормируется предельной погрешностью и средним квадратичным отклонением.

*Основные причины появления систематических погрешностей* – погрешности инструментов или метода измерений, индивидуальные особенности экспериментатора.

*Причины систематических ошибок можно выявить и устранить.*

Систематические погрешности по характеру проявления делят на постоянные и переменные.

*Постоянными систематическими погрешностями* называют такие, которые остаются неизменными в течение всей серии данных измерений, например, погрешность из-за неточно установки указателя прибора на ноль.

*Переменные систематические погрешности* изменяются в процессе измерений.

*Периодическая систематическая погрешность* – погрешность, значение которой является периодической функцией времени.

*Случайная погрешность* – составляющая погрешности измерения, которая изменяется случайно (непостоянна по абсолютной величине и знаку) при повторных измерениях одной и той же величины. Нормируется ее предельно допустимым значением.

Как правило, случайные погрешности являются следствием одновременного действия многих независимых причин, каждая из которых мало влияет на результат измерения.

*Случайные погрешности нельзя исключить из результатов измерений (в отличие от систематических), однако можно уменьшить.*

Значения этих погрешностей заранее установить невозможно, но с помощью методов теории вероятности и математической статистики можно оценить вероятность их появления.

Грубыми погрешностями (**промахами**) называют погрешности, которые значительно превышают систематические или случайные погрешности. Грубые погрешности обычно выявляют путем повторных измерений или статистической обработки выборки. Промахи приводят к искажению результатов измерений и их необходимо исключать из совокупности результатов измерений.

◆ Обязательными компонентами любого измерения являются средство измерения, метод измерения и человек, проводящий измерение. Несовершенство каждого из этих компонентов приводит к появлению своей составляющей погрешности результата. В соответствии с этим, **по источнику возникновения** различают инструментальные, методические и личные погрешности.

Учет инструментальных погрешностей мер и приборов осуществляют введением поправок. *Поправкой* называют значение величины, одноименной с измеряемой, которое нужно прибавить к полученному при измерении значению величины с целью исключения систематической погрешности. Поправка определяется с помощью поверки технических средств, составления и использования соответствующих таблиц и графиков. Применяются также расчетные способы нахождения поправочных значений.

*Личные систематические погрешности* связаны с индивидуальными особенностями наблюдателя.

◆ **По условиям возникновения** у средств измерения различают основную и дополнительные погрешности.

Погрешность средства измерения, определенная при нормальных условиях, называется *основной*.

Погрешность, обусловленную выходом значений влияющих величин за пределы нормальных значений, называют *дополнительной*.

◆ **В зависимости от режима работы средства измерения** выделяют статические и динамические составляющие погрешности

◆ У средств измерений часто можно выделить составляющие погрешности, не зависящие от значения измеряемой величины и погрешности, изменяющиеся пропорционально измеряемой величине. Такие составляющие называют соответственно *аддитивными* и *мультипликативными* погрешностями.

**4. Качество измерений** характеризуется точностью, достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью измерений, а также размером допустимых погрешностей.

*Точность результата измерений* отражает близость к нулю погрешности его результата и является качественной величиной.

*Достоверность измерений* определяется степенью доверия к результату измерения и характеризуется вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины находится в заданных пределах, данная вероятность называется доверительной.



*Правильность измерений* – это характеристика измерений, отражающая близость к нулю систематических погрешностей результатов измерений.

*Сходимость результатов измерений* – характеристика качества измерений, отражающая близость результата измерений одной и той же величины, выполненных повторно одним и тем же методом в одинаковых условиях с одинаковой тщательностью.

*Воспроизводимость результатов измерений* – характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами и средствами измерений, разными операторами, в разное время в одних тех же условиях измерений.

## МОДУЛЬ №2. ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

### ЛЕКЦИЯ №8,9

#### СТАНДАРТИЗАЦИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

##### 1. Метрология как базис стандартизации в машиностроении

##### 2. Задачи и принципы стандартизации

##### 3. Виды стандартов

##### 4. Уровни стандартизации

##### 5. Формы стандартизации

##### 6. Особенности стандартизации в машиностроении.

##### Стандартизация технической документации - САМ. РАБ. №4

1. Одной из первоочередных задач *машиностроения* является *стандартизация подлежащих измерению параметров (размеров, отклонений формы, качества поверхности и т.д.) заготовок, деталей, технологических процессов.*

К этой же проблеме вплотную примыкает необходимость стандартизации измерительной процедуры, терминов и определений в международном масштабе в связи с глобализацией мировой экономики, тенденцией к поддетальной специализации. Отсюда закономерное следствие – *необходимость наличия аттестованных и стандартизованных методик выполнения измерений, методик калибровки и поверки средств измерений, применяемых в машиностроении и т.д.*

Т.о., именно метрология является *количественным базисом стандартизации.*

2. Под *стандартизацией* понимают установление и применение единых правил с целью упорядочения деятельности в определенной отрасли или области деятельности.

*Стандарт* – это нормативный документ, который устанавливает обязательные для общего и многоразового применения правила, общие принципы или характеристики, которые касаются различных видов деятельности или ее результатов.

Продукцию или услугу, для которой разрабатываются и устанавливаются стандарты, называют *объектом (предметом)* стандартизации.

*Субъектами стандартизации* являются: Центральный орган исполнительной власти в сфере стандартизации, совет по стандартизации, технические комитеты по стандартизации либо другие субъекты, занимающиеся стандартизацией.

##### **Основные цели и задачи стандартизации:**

- содействие обеспечению пропорционального развития всех отраслей народного хозяйства;
- улучшение качества продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем развития науки, техники и технологии;
- обеспечение условий для развития специализации в области проектирования и производства продукции, снижение ее трудоемкости;
- техническая и информационная совместимость, а также взаимозаменяемость продукции;

- обеспечение согласования требований к продукции с потребностями обороноспособности и мобилизационной готовности страны;
- обеспечение условий для экспорта товаров, которые удовлетворяют требованиям мирового рынка;
- развитие международного экономического и технического сотрудничества;
- рациональное использование производственных фондов и экономия материальных и трудовых ресурсов;
- обеспечение безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества населения;
- обеспечение единства измерений;
- обеспечение безопасности хозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф и других чрезвычайных ситуаций и т.д.

**Основные принципы стандартизации:**

- ▲ принцип добровольности;
- ▲ учет законных интересов заинтересованных лиц;
- ▲ за основу национальных стандартов должны приниматься *Международные стандарты*;
- ▲ стандартизация не должна препятствовать *нормальному товарообороту* больше, чем это необходимо для ее осуществления.
- ▲ все элементы системы, подвергнутой стандартизации, должны быть *совместимы*;
- ▲ стандарты должны быть максимально *динамичны*;
- ▲ стандартизация должна быть *эффективной*;
- ▲ стандарты не должны противоречить друг другу или техническим регламентам, *не должны создавать барьеров в международной торговле*.
- ▲ все стандарты должны быть *четко сформулированы* и не должны допускать двусмысленных трактовок.
- ▲ выполнение установленных стандартов в дальнейшем *может быть объективно проверено*.

**3. В зависимости от специфики объекта стандартизации** и содержания устанавливаемых к нему требований разрабатывают **стандарты следующих видов:**

- стандарты основополагающие;
- стандарты на продукцию, услуги;
- стандарты на работы (процессы);
- стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа).

**В зависимости от последующего влияния на развитие народного хозяйства** можно выделить следующие виды стандартизации, принципиально отличающиеся подходом к установлению в стандартах соответствующих норм:

- *стандартизация по достигнутому уровню*, фиксирующая достигнутый уровень производства;
- *опережающая стандартизация*, заключающаяся в установлении повышенных по отношению к уже достигнутому на практике уровню норм.
- *комплексная стандартизация*, при которой для оптимального решения конкретной проблемы осуществляется целенаправленное и планомерное установление и применение системы взаимосвязанных требований как к самому объекту комплексной стандартизации в целом, так и к его основным элементам.

**4. Уровни стандартизации:**

▲ **Международная стандартизация** – это стандартизация, которая проводится на международном уровне, участие в которой открыто для соответствующих органов всех стран.

Ведущие организации – **ИСО (ISO), МЭК (IEC), МСЭ (ITU)**.

Международная организация по стандартизации (ИСО) – наиболее крупная и авторитетная из международных организаций. Основная ее цель сформулирована в ее Уставе:

«...содействие развитию стандартизации в мировом масштабе для обеспечения международного товарообмена и взаимопомощи, а также для расширения сотрудничества в областях интеллектуальной, научной, технической и экономической деятельности».

*ISO разрабатывает стандарты во всех областях человеческой деятельности, кроме электротехники, электроники и связи, которые входят в компетенцию МЭК (IEC) – Международной электротехнической комиссии.*

Пользователи международных стандартов ИСО – промышленные и деловые круги, правительственные и неправительственные организации, потребители и общество в целом.

Международные стандарты ИСО не имеют статуса обязательных для всех стран-участниц. Решение вопроса о применении международного стандарта ИСО связано в основном со степенью участия страны в международном разделении труда и состоянием ее внешней торговли.

Наибольшее распространение в мире в сфере *контроля качества* получил стандарт серии *ISO 9000*, а также новая серия стандартов, принятая в 2000 г.: *ISO 9000:2000, ISO 9001:2000 и ISO 19011*.

*ISO 9000 «Системы менеджмента качеством. Основные положения и понятия» – устанавливает основные положения, определения и термины, используемые в серии ISO 9000.*

*ISO 9001 «Система менеджмента качеством. Рекомендации по улучшению деятельности» – определяет требования к системе управления качеством.*

*ISO 19011 «Ведущие указания по проверке систем менеджмента качества и охране окружающей среды».*

С 1967 года МЭК практически является электротехническим отделом ИСО с координацией работ через координационный комитет ИСО / МЭК.

Другие международные организации, которые занимаются стандартизацией:

**МСЭ**, **ITU** – Международный союз электросвязи; **МАГАТЭ**, **IAEA** – Международное агентство по атомной энергетике; **ИМКО**, **IMCO** – Межправительственная морская консультативная организация; **ЮНЕСКО**, **UNESCO** – Организация объединенных наций по вопросам образования, науки и культуры и т.д.

Работа в международных организациях по стандартизации позволяет странам получать большие экономические выгоды, которые в конечном итоге заключаются в *повышении качества и конкурентоспособности продукции*, которая выпускается, в расширении экспортных возможностей.

▲ **Региональная стандартизация** – стандартизация, которая проводится на соответствующем региональном уровне, участие в которых открыто для соответствующих органов стран определенного экономического или географического пространства.

◆ **Национальная стандартизация** – стандартизация на уровне одной страны.

Государственные стандарты содержат обязательные и рекомендационные требования.

Обязательные требования государственных стандартов подлежат безусловному исполнению органами государственной исполнительной власти, всеми предприятиями, их объединениями, организациями и гражданами – субъектами предпринимательской деятельности; на деятельность которых распространяется действие стандартов.

С 3.01.2015 г. введен в действие Закон Украины «О стандартизації» (Про стандартизацію, Відомості Верховної Ради, 2014, №31).

В Законе определены основные термины в сфере стандартизации, законодательство Украины в сфере стандартизации, основные положения государственной политики в области стандартизации.

Согласно новому закону, субъектами стандартизации в Украине являются:

- **центральный орган исполнительной власти**, который обеспечивает формирование государственной политики в области стандартизации;

- **центральный орган исполнительной власти**, который реализует государственную политику в области стандартизации;

- **Национальный орган стандартизации**, к полномочиям которого относятся: организация и координация деятельности в области стандартизации, представление интересов Украины

в международных и региональных организациях по стандартизации, утверждение программы работ по стандартизации, принятие и отмена национальных стандартов и т.д.;

- технические комитеты стандартизации;
- предприятия, учреждения и организации, которые осуществляют стандартизацию.

Законом предусмотрено введение **двух уровней стандартизации** в зависимости от объекта стандартизации: 1) *национальные стандарты*, принятые Национальным органом стандартизации и 2) *стандарты и технические условия*, принятые предприятием.

Законом **установлена добровольность применения национальных стандартов и отменяется отраслевая стандартизация** (отраслевые стандарты переводятся на национальный уровень).

Действие Закона не распространяется на санитарные меры безопасности пищевых продуктов, ветеринарно-санитарные меры, строительные нормы, лекарственные средства, стандарты медицинской помощи, оценки имущества, образования и другие социальные стандарты.

- **Национальные стандарты Украины ДСТУ** устанавливают на изделия общемашиностроительного применения, продукцию для населения, научно-техническую терминологию, техническую документацию, методы испытаний и т.д.

- **Технические условия ТУ** содержат требования, которые регулируют отношения между производителем и заказчиком (потребителем) продукции, для которой отсутствуют государственные стандарты.

- **Стандарты предприятий СТП** разрабатывают на продукцию (процессы, услуги), которые производят и применяют только на конкретном предприятии.

5. Решение основных задач стандартизации может осуществляться в **различных формах**, которые, в конечном счете, служат достижению общих целей повышения эффективности стандартизации.

▲ **Систематизация** предметов, явлений или понятий преследует цель расположить их в определенном порядке и последовательности, образующей четкую систему, удобной для пользования.

Формы систематизации: алфавитная система, порядковая нумерация, хронологическая последовательность.

▲ **Классификация** – разновидность систематизации, которая заключается в упорядочении путем расположения предметов, явлений или понятий по классам, подклассам и разрядам в зависимости от их общих признаков.

Классификацию удобнее всего проводить, используя десятичную систему.

▲ **Симплификация** – форма стандартизации, заключающаяся в простом сокращении числа применяемых при разработке изделия или при его производстве марок полуфабрикатов, комплектующих изделий и т.д. до количества, технически и экономически целесообразного, достаточного для выпуска изделий с требуемыми показателями качества. Симплификация способствует упрощению производства, облегчает материально-техническое снабжение, складирование, отчетность.

▲ **Унификация** – рациональное уменьшение числа типов, видов и размеров объектов одинакового функционального назначения. Объектами унификации наиболее часто являются отдельные изделия, их составные части, детали, комплектующие изделия, марки материалов и т. д.

*Унификация является наиболее распространенной и эффективной формой стандартизации.*

▲ **Агрегатирование** – метод создания новых машин, приборов и другого оборудования путем компоновки конечного изделия из ограниченного набора стандартных и унифицированных узлов и агрегатов, обладающих геометрической и функциональной взаимозаменяемостью.

Позволяет сократить трудоемкость проектирования, изготовления и ремонта изделий, повышает уровень взаимозаменяемости продукции, способствует специализации предприятий, механизации и автоматизации производственных процессов, улучшает качество продукции, а

также облегчает перестройку производства при переходе предприятий на освоение новой продукции.

▲ **Типизация** – разновидность стандартизации, заключающаяся в разработке и установлении типовых решений (конструктивных, технологических, организационных и т. д.) на основе наиболее прогрессивных методов и режимов работы.

Применительно к конструкциям типизация состоит в том, что некоторое конструктивное решение (существующее или специально разработанное) принимается за основное – базовое для нескольких одинаковых или близких по функциональному назначению изделий. Требуемая же номенклатура и варианты изделий строятся на основе базовой конструкции путем внесения в нее ряда второстепенных изменений и дополнений.

*На основе типизации, например, осуществляется стандартизация технологических процессов в машиностроении.*

## ЛЕКЦИЯ №10,11 ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ

1. Понятие взаимозаменяемости и ее виды
2. Отклонения геометрических параметров и их виды
3. Понятие о размерах, допуске, предельных отклонениях
4. Допуски и посадки гладких соединений
5. Единая система допусков и посадок (ЕСДП)

1. Современное производство машин, механизмов, узлов, деталей и их ремонт базируются на принципе **взаимозаменяемости**.

**Взаимозаменяемость** – свойство деталей, сборочных единиц, агрегатов занимать свое положение в машине без дополнительных операций обработки и выполнять при этом заданные функции в соответствии с техническими требованиями.

Детали, которые входят в сборочные единицы, должны быть стандартизированы, т.е. **взаимозаменяемость базируется на стандартизации**.

*Взаимозаменяемость в совокупности со стандартизацией, метрологией, техническими измерениями является важнейшим инструментом обеспечения качества продукции.*

**Основное назначение взаимозаменяемости** заключается в обеспечении производства изделий необходимого качества с минимальными затратами.

Принцип взаимозаменяемости экономически обосновано применять в серийном и массовом производстве.

Различают взаимозаменяемость полную и неполную, внешнюю и внутреннюю, по функциям и геометрическим размерам.

**Полная взаимозаменяемость** обеспечивает заданные показатели качества *без дополнительных подгоночных операций* при сборке в процессе изготовления или ремонта машин и их узлов.

**Неполная взаимозаменяемость** – способность изделий занимать определенное место в более сложном изделии *после дополнительной частичной обработки (подгонки) заданных поверхностей*; подборки соединительных составных частей вследствие регулирования заданных размеров с помощью специально предусмотренных в конструкции участков (поверхностей, деталей). Применяется также для соединений высокой точности.

**Внешняя взаимозаменяемость** – это соответствие соединяемых поверхностей узлов по размерам и форме, а также по эксплуатационным показателям.

**Внутренняя взаимозаменяемость** обеспечивается точностью деталей, которые входят в узлы.

Взаимозаменяемость, которая обеспечивает не только возможность сборки или замены при ремонте каких-либо деталей, но и их *оптимальные служебные характеристики*, называется **функциональной**.

*Именно принцип функциональной взаимозаменяемости является одним из главных принципов конструирования и производства, контроля и эксплуатации машин и узлов.*

Уровень взаимозаменяемости производства характеризуется коэффициентом *взаимозаменяемости*, который при изготовлении машин и сборочных работах определяется в соответствии со следующими зависимостями:

$$K_B = T_{и}/T_o, K_B = 1 - (T_{под} + T_{сс})/T_c,$$

где  $T_{и}$  – трудоемкость изготовления заменяемых деталей и узлов данной машины;  $T_o$  – общая трудоемкость изготовления данной машины;  $T_{под}$  – трудоемкость работ подгонки;  $T_{сс}$  – трудоемкость работ по методу селективной сборки;  $T_c$  – трудоемкость сборочных работ.

*Степень приближения коэффициента к единице является показателем технической культуры производства.*

**2.** При изготовлении деталей (изделий) возникают различные виды погрешностей геометрических параметров – отклонения размера, формы, расположения и микрогеометрии поверхности от значений, предусмотренных чертежом. Эти виды отклонений появляются одновременно и неизбежно.

Основные причины появления погрешностей геометрических параметров элементов деталей:

1. Состояние оборудования и его точность.
2. Качество и состояние технологической оснастки и инструмента.
3. Режимы обработки.
4. Неоднородность материала заготовок.
5. Упругие деформации станка, приспособления, инструмента и детали.
6. Температурные деформации станка, приспособления, инструмента и детали.
7. Квалификация и субъективные ошибки рабочего.

Погрешности размера, формы, взаимного расположения и микрогеометрии обработанной поверхности, в свою очередь, влияют на точность и эксплуатационные свойства соединений (и машин в целом), а их допускаемые значения должны регламентироваться чертежом.

*Основным документом по нормированию требований к точности геометрических параметров детали является стандарт.*

В соответствии с действующими стандартами на чертеже детали должны указываться требования к точности по следующим видам отклонений геометрических параметров, рис.1:

- *отклонение размера (допуск размера  $T_L$ , ГОСТ 25346-89, ГОСТ 25347-82);*
- *отклонение расположения (допуск расположения  $T_P$ , ГОСТ 24642-81, ГОСТ 24643-81, ГОСТ 14140-81, ГОСТ 25069-81, ГОСТ 2.308-79) – отклонение реального расположения профиля от его номинального расположения;*
- *отклонения формы (допуск формы  $T_\Phi$ , стандарты те же, что и для допуска расположения) – наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей линии (поверхности);*
- *волнистость (параметры  $W_i, S_i$ , установленные для волнистости по рекомендациям СЭВ РС 3951-73);*
- *шероховатость поверхности (параметры по ГОСТ 2789-73, ГОСТ 2.309-73 с изменениями от 28.05.2002).*

При анализе схемы, см. рис. 1, можно записать следующее соотношение между допусками, высотой и шагом микронеровностей:

$$T_L > T_P > T_\Phi > W_i, S_i > W_i, S_i.$$

волнистость      шероховатость

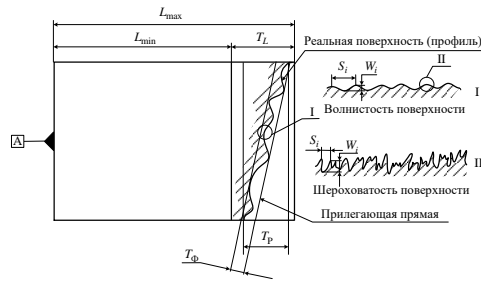


Рисунок 1

**3. Одной из основных погрешностей геометрических параметров деталей является отклонение размера.**

**Размер** – числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.д.), выраженное в единицах измерения.

В зависимости от происхождения и назначения линейные размеры имеют различные наименования: номинальный, исполнительный, действительный и т.д.

**Номинальный размер** – размер, значение которого устанавливают расчетом, исходя из функционально назначения детали, или принимают, руководствуясь конструктивными соображениями.

**Действительный размер** – размер, установленный в результате измерения с допустимой погрешностью.

**Допуск** – допускаемая (планируемая конструктором) погрешность обработки, при которой деталь может выполнять функциональное назначение при сборке и эксплуатации с заданной точностью и надежностью.

Значения допусков стандартизированы и систематизированы в виде рядов точности – **квалитетов** (ГОСТ 25346-89).

Допуск указывают на чертежах рядом с номинальным размером с помощью двух **предельных отклонений**: верхнего *ES* (отверстие), *es* (вал) и нижнего *EI*, *ei* предельных отклонений.

**Вал** – термин, условно применяемый для обозначения наружных (охватываемых) элементов деталей, включая и элементы, ограниченные плоскими поверхностями. **Отверстие** – термин, условно применяемый для обозначения внутренних (охватывающих) элементов деталей, включая и элементы, ограниченные плоскими поверхностями.

Допуск рассчитывается как алгебраическая разность верхнего и нижнего предельных отклонений (его значение всегда положительно):

$$T_D = ES - EI; T_d = es - ei.$$

Предельные отклонения записывают на чертежах рядом с номинальным размером с соответствующим знаком: + или -. Например:  $\varnothing 20^{+0,20}_{+0,05}$ ,  $50 \pm 0,07$ ,  $20^{-0,1}_{-0,2}$  и т.д.

Термин **«поле допуска»** связывают с **графическим изображением допусков** на схемах и рассматривают его как интервал значений, ограниченный верхним и нижним предельными отклонениями, в пределах которого допускаются действительные отклонения размера детали.

Размер, который подлежит исполнению по данному чертежу, называют **исполнительным размером**. Исполнительный размер состоит из следующих составляющих, например, для тела вращения:

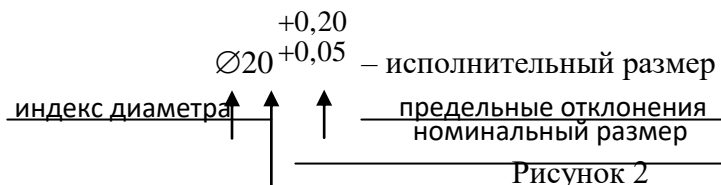


Рисунок 2

Стандартные предельные отклонения рассчитаны в зависимости от значения основного отклонения (ГОСТ 25346-89) и допуска (ГОСТ 25346-89), а их значения приведены в ГОСТ 25347-82.

С помощью предельных отклонений не только задают допуск на чертежах, но и ограничивают *предельные размеры* детали: наибольший –  $D_{\max}$ ,  $d_{\max}$  и наименьший –  $D_{\min}$ ,  $d_{\min}$ .

**Предельные размеры** – два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер детали:

$$\begin{aligned} \text{для отверстия} \quad D_{\max} &= D + ES; & D_{\min} &= D + EI, \\ \text{для вала} \quad d_{\max} &= d + es; & d_{\min} &= d + ei. \end{aligned}$$

Таким образом, допуск ( $T_D$ ,  $T_d$ ) – это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами отверстия или вала.

$$T_D = D_{\max} - D_{\min}; \quad T_d = d_{\max} - d_{\min}.$$

Т.о., итоговое определение: **допуск** – это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или величина алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями.

Условия годности детали вытекают из соотношения между действительными и предельными размерами:

$$\begin{aligned} D_{\max} &\geq D_d \geq D_{\min} - \text{для отверстия} \\ d_{\max} &\geq d_d \geq d_{\min} - \text{для вала} \end{aligned}$$

Пример схемы расположения поля допуска вала  $\varnothing 20 \begin{smallmatrix} +0,20 \\ +0,05 \end{smallmatrix}$  приведен на рис.3.

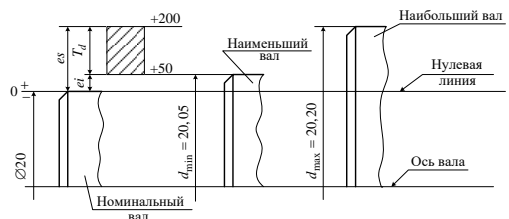


Рисунок 3 – Схема расположения поля допуска на изготовление вала

с исполнительным размером  $\varnothing 20 \begin{smallmatrix} +0,20 \\ +0,05 \end{smallmatrix}$

**4.** В процессе сборки машины детали соединяются между собой, образуя соединения. Характер соединения двух деталей между собой назвали условно термином «*посадка*».

Посадка характеризует свободу относительного перемещения соединяемых деталей или степень сопротивления их взаимному смещению после сборки.

*Количественным выражением посадки является зазор или натяг.*

**Зазор S** – разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала.

**Натяг N** – разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия.

В реальном соединении после сборки возможны два вида посадок – с зазором или с натягом.

В проектном исполнении (на чертеже), когда посадка в соединении определяется взаимным расположением полей допусков сопрягаемых деталей, существуют три вида посадок:

- ▲ с зазором (поле допуска вала ниже поля допуска отверстия);
- ▲ с натягом – поле допуска вала выше поля допуска отверстия;
- ▲ переходная – поля допусков частично или полностью перекрываются, рис. 4.

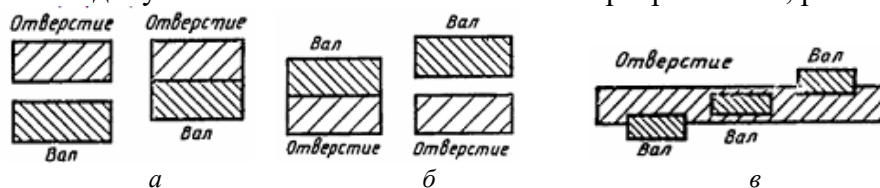


Рисунок 4 – Схема расположения полей допусков сопрягаемых деталей посадки с зазором (а), с натягом (б), с переходной посадкой (в)



**5. Система допусков и посадок (СДП)** – совокупность (набор) числовых значений допусков, предельных отклонений, зазоров и натягов, *закономерно расположенных и установленных на основании экспериментальных исследований, передового производственного опыта, оформленных в виде стандартов.*

**ЕСДП (единая система допусков и посадок)**, которая принята во многих странах, охватывает различные виды соединений в машиностроении: гладкие (цилиндрические и плоские), конические, резьбовые, шлицевые, зубчатые передачи и т.д.

*ЕСДП создана для унификации национальных систем допусков и посадок с целью обеспечения международных технических связей, в т.ч. создает условия для обеспечения взаимозаменяемости деталей, узлов и машин в международном масштабе, одинакового оформления технической документации, единого парка контрольно-измерительных инструментов.*

В результате применения ЕСДП достигается:

1. Повышение надежности международной специализации при производстве узлов и машин.
2. Повышение эффективности проектно-конструкторских работ по международной стандартизации в области машиностроения.
3. Обеспечение кооперации в области технического оснащения.
4. Сокращение сроков подготовки и производства продукции по технической документации из других стран (например, по лицензии).
5. Повышение конкурентоспособности изделий отечественного машиностроения на мировом рынке в результате ее соответствия международным стандартам.
6. Облегчение условий продажи за границу лицензий и технической документации на машины и приборы.
7. Повышение эффективности научно-технического обмена и т.д.

*В Украине ЕСДП действует с 01.01.1980 г.; разработана на базе рекомендаций ISO, оформлена в виде стандартов ГОСТ 25346-82 (СТ СЭВ 145-75), ГОСТ 25347 (СТ СЭВ 144-75), ГОСТ 25346-89 (СТ СЭВ 145-88).*

*Единая система допусков и посадок (ЕСДП) охватывает два диапазона размеров – до 500 мм и свыше 500 до 3150 мм.*

С целью сокращения количества значений стандартных допусков диапазон размеров до 500 мм разбит на 13 интервалов размеров (1..3; 3...6; 6...10; 10...18; 18...30; 30...50 и т.д.).

*Стандартные допуски систематизированы в виде 20 рядов точности – **квалитетов**.*

**Квалитет (степень точности)** – совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров.

Каждый ряд имеет свой числовой индекс: 01, 0, 1, 2, ...18 (самый точный – 01, самый грубый ряд – 18).

В среднем машиностроении при создании соединений деталей используются в основном квалитеты, начиная с 5. Квалитеты 01, 0, 1, 2, 3, 4 используются при изготовлении различных эталонов и контролирующего инструмента. Квалитеты *13...18* – для деталей, не образующих сопряжения.

Стандартный допуск в технической документации обозначают буквами *IT* и числовым индексом квалитета, например, *IT5* – допуск в 5-том квалитете.

*В каждом ряду точности допуск изменяется в зависимости от номинального размера, но это изменение соответствует одному и тому же **уровню точности (относительной точности)**, предусмотренному квалитетом.*

Согласно ЕСТП, поле допуска обозначается сочетанием буквы (букв) основного отклонения и порядкового номера квалитета. Например: g6, js7, H7, H11. Обозначение поля допуска указывается после номинального размера элемента. Например: 40g6, 40H7, 40H11.

*Посадка по ЕСДП записывается дробью:*

Посадка =  $\frac{\text{поле допуска отверстия (корпус, кольцо, паз и т. д.)}}{\text{поле допуска вала (шпонка, штифт, болт и т. д.)}}$ .

Например,  $\varnothing_{25} \frac{H8}{f7}$ :

где  $\varnothing$  – обозначение диаметра; 25 – номинальный размер, мм;  $H$  и  $f$  – основные отклонения отверстия и вала, указывающие расположение поля допуска относительно номинального размера (нулевой линии); 8 и 7 – квалитеты, которыми нормируется допуск размера 25 мм отверстия и вала соответственно;  $H8$  – поле допуска отверстия;  $f7$  – поле допуска вала;  $\frac{H8}{f7}$  – посадка с зазором.

## ЛЕКЦИЯ №12,13 ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

1. Особенности и роль измерений в машиностроении
2. Линейные и угловые измерения как основной вид измерений в машиностроении
3. Универсальные и специальные средства измерений
4. Специальные средства измерений. Методы и средства контроля резьбы; средства контроля шпоночных и шлицевых соединений; средства контроля зубчатых передач: принцип действия, контролируемые параметры, метрологические характеристики – САМ. РАБ. №5

1. Измерительная техника является неотъемлемой частью материального производства. Качество, и соответственно, конкурентоспособность продукции во многом определяются состоянием измерительной процедуры на предприятии.

Особую роль играют измерения в машиностроении.

Качество выпускаемой продукции на машиностроительных предприятиях во многом зависит от количества и качества измерений, с помощью которых контролируются как технологические параметры производственных процессов, так и параметры, характеристики и свойства получаемых изделий. На выполнение измерений приходится до 15 % трудовых затрат.

2. Измерение геометрических форм и размеров деталей имеет важное значение в современном машиностроении.

Измеряют длину и толщину деталей, диаметры (внешние и внутренние), параллельность сторон, углы, шероховатость поверхности и т.д.

Оценка точности формы и размеров зависит от степени точности измерений.

*Определяющая роль принадлежит методам и средствам измерения линейных и угловых размеров в машиностроении.* Измерения длин и углов являются наиболее специфичными и ответственными в производственных цехах, центральных измерительных лабораториях, отделах технического контроля.

В промышленно развитых странах эти виды измерений составляют 85...90 % всех существующих видов измерений.

Условия этих измерений характеризуются комплексом влияющих величин, часть которых относится к сложным физическим полям, к числу существенных влияющих величин при измерениях длины и угла могут относиться температура, вибрации, давление, влажность, состав окружающего воздуха, ориентация в пространстве, электрические и магнитные поля, т. е. весьма широкий спектр физических факторов.

3. Контрольно-измерительные инструменты, в т.ч. для линейных и угловых измерений, по назначению подразделяют на универсальные и специальные.

*Универсальные измерительные инструменты* для измерения линейных размеров (длины, толщины, диаметров) и углов наиболее распространены.

Их подразделяют на простые средства измерения (линейки), штриховые, раздвижные инструменты с линейным нониусом (штангенциркули, универсальные угломеры), микромет-

рические инструменты (микрометры, глубиномеры), оптические приборы (инструментальные микроскопы, измерительные микроскопы) и т.д.

С помощью универсальных инструментов можно измерять линейные размеры с разной точностью. Один и тот же инструмент или прибор можно использовать для измерения разных размеров. Благодаря этой особенности измерительные инструменты используют при ремонте.

**Универсальные инструменты и приборы для абсолютных измерений** используют для непосредственного определения измеряемой величины.

Наиболее распространенными измерительными инструментами являются измерительные линейки, штангенинструменты (штангенциркули для измерения внешних и внутренних размеров, штангенглубиномеры для измерения глубины отверстий, пазов, штангенрейсмусы для разметки и измерения высоты изделий) и микрометрические измерительные инструменты (микрометры для внешних измерений, микрометрические глубиномеры и нутромеры для измерения внутренних размеров изделий).

Инструментальные и универсальные микроскопы предназначены для измерения углов и линейных размеров деталей и инструментов, а также для проверки калибров.

**Приборы для относительных измерений** используются, как правило, для определения значений малых линейных размеров, которые не выходят за пределы показаний шкалы измерительной головки. Эти приборы основаны на превращении малых перемещений измерительного стержня в большие перемещения показателя.

В зависимости от принципа действия механизма эти приборы делят на рычажные (рычажные скобы для контроля шлифованных и доведенных поверхностей), с зубчатой передачей (индикаторы часового типа для измерения внешнего размера детали), с рычажно-зубчатой передачей (индикаторные скобы для измерения внешних размеров деталей, индикаторные нутромеры для измерения внутренних размеров детали, рычажные микрометры), с рычажно-винтовой, рычажно-пружинной передачей (микрометры), с рычажно-оптической передачей (оптиметры для внешних и внутренних измерений) и т.д.

Для измерения углов и конусов применяют транспортирные (измеряют внешние углы от 0 до 180°) и универсальные (измеряют внешние углы от 0 до 180°, внутренние от 40 до 180°) угломеры, синусные линейки (для точных измерений внешних и внутренних углов деталей непрямым методом), универсальные делительные и оптические головки (для измерения центральных углов от 0 до 360°).

К **специальным средствам измерений** относят методы и способы контроля резьбы; средства контроля шпоночных и шлицевых соединений; средства контроля зубчатых передач и т.д.

**Измерительная (масштабная) линейка** применяется для геометрических построений, линейных измерений и вычислений. Это наиболее простой и доступный инструмент; выполняется в виде стальной ленты; на ее поверхности наносят одну или две шкалы с ценой деления 0,5 или 1,0 мм; используют для измерений с невысокими требованиями точности, например, размеров заготовок.

Существуют также специальные виды линейек, например, с помощью усадочной линейки сравнивают нормативный и действительный размеры, поверочная линейка служит для проверки прямолинейности образующих и плоскостности поверхностей обработанных изделий и т.д.

**Штангенинструмент** – обобщенное название средств измерения и разметки внешних и внутренних размеров.

К **штангенинструментам** относят: штангенциркули; штангенглубиномеры; штангенрейсмусы; штангензубомеры для определения размеров зубьев зубчатых колес.

Все виды штангенинструмента имеют штангу с основной шкалой и отсчетное устройство с нониусом – вспомогательной шкалой, по которой определяют доли делений основной шкалы.

**Штангенциркуль** (ГОСТ 166-89, ИСО 3599-76) представляет собой универсальный раздвижной инструмент для измерения внешних и внутренних размеров, а также глубины и высоты, рис.1.

Благодаря достаточно простой конструкции, удобству в обращении являются одним из самых популярных инструментов и применяются практически во всех областях, связанных с производственной деятельностью.

В соответствии с ГОСТ 166-89 измерительные поверхности штангенциркулей изготавливают из инструментальной и конструкционной стали (твердость не менее 59 HRC), из высоколегированной нержавеющей стали (твердость не менее 51,5 HRC); рабочие поверхности подвергают хромированию, армируют твердым сплавом.

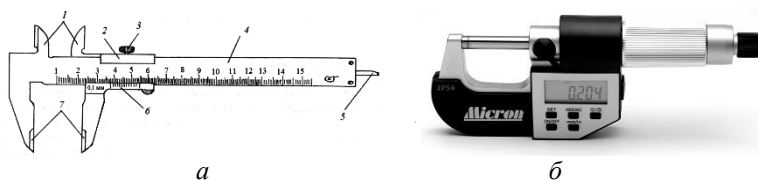


Рисунок 1 – Штангенциркули: а – нониусный (ЩЦ1);  
б – электронный

По способу снятия показаний штангенциркули могут быть нониусными, циферблатными или стрелочными, цифровыми (электронными); с ценой деления 0,1; 0,05 и 0,02 мм; с различными пределами измерений.

Точность, с которой можно определить отсчет по шкале штангенинструмента, зависит от того, на сколько интервал деления шкалы нониуса меньше интервала деления основной шкалы.

При измерении штангенциркулем целые миллиметры отсчитываются непосредственно по шкале штанги до нулевого штриха нониуса, а дробные (например, десятые) доли миллиметра – по шкале нониуса. При этом дробная величина (количество десятых долей миллиметра) определяется умножением цены деления нониуса на порядковый номер штриха нониуса (не считая нулевого), совпадающего со штрихом штанги.

**Штангенглубиномер** – универсальный инструмент для измерения глубины глухих отверстий, пазов, канавок, уступов и высот с величиной отсчета по нониусу 0,1 и 0,05 мм. Отличается от штангенциркуля конструкцией: штанга заканчивается срезанным торцом, являющимся измерительной поверхностью, рамка имеет вместо губок широкую опорную поверхность, рис.2.

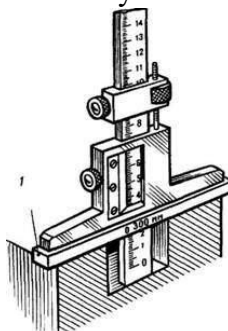


Рисунок 2

**Штангенрейсмус** – инструмент для определения и нанесения размеров при разметке (нанесения на заготовке разметочных линий параллельно выбранной базовой линии) и измерения высоты изделий, рис.3. Применяется также для проверки правильности установки изделий.



Рисунок 3 – Штангенрейсмус с отсчетом по нониусу и с цифровой шкалой

При выполнении точных линейных измерений внешних поверхностей в машиностроении широко используют **микрометры** (ГОСТ 6507-90) – измерительные приборы для определения линейных размеров абсолютным контактным методом.

Принцип их действия основан на использовании микровинтовой пары (микрометрического винта и гайки) и *преобразования вращательного движения в поступательное* (перемещение винта вдоль оси при вращении его в неподвижной гайке).

Микрометры, рис.4, предназначены для измерения наружных диаметров изделий, их длины и ширины, толщины листов и лент, толщины стенок деталей и труб; специальные микрометры – для измерения деталей из мягких материалов, стандартных резьб, сферических поверхностей. Выпускаются в ручном и в настольном варианте.

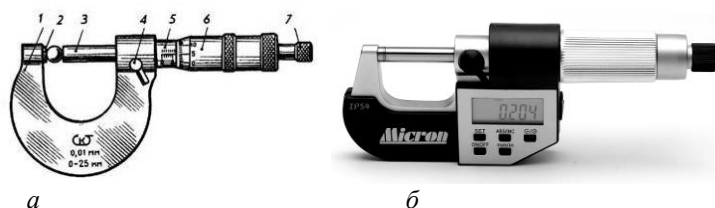


Рисунок 4 – Микрометр

Микрометры имеют две шкалы – продольную (на стебле), цена деления – 1 мм, и круговую (на барабане) – цена деления 0,01 мм. Продольная шкала служит для отсчета целых миллиметров, круговая – десятых и сотых долей миллиметра.

Погрешность измерения зависит от пределов измерения микрометра и составляет от 5 мкм для микрометров с диапазоном измерения 0...25 мм до 50 мкм для микрометров с диапазоном измерений 500...600 мм.

Выпускают микрометры различного типа, в т.ч. с цифровой индикацией, рис.4,б.

**Инструментальные и универсальные микроскопы** предназначены для измерения углов и линейных размеров деталей и инструментов сложного профиля – метчиков, фасонных резцов, резьбовых калибров, для измерения элементов резьбы.

С помощью таких микроскопов измерения осуществляют двумя основными способами: 1) без перемещения изделий в процессе измерения (изделия малых размеров); 2) с перемещением крупных изделий, применяется в основном в машиностроении.

Наибольшее применение получили инструментальные микроскопы моделей ММИ, БМИ, УИМ.

Например, микроскоп модели БМИ-1, рис.5, предназначен для измерения в проходящем и отраженном свете наружных линейных размеров и диаметров валов – до 150 мм в продольном направлении и до 50 мм – в поперечном; углов – до 360°. Дискретность цифрового отсчета при линейных измерениях – 0,001 мм. Видимое увеличение отсчетной окулярной угломерной головки – 45х.

Измеряемые изделия – резцы, фрезы, кулачки, шаблоны любой формы и конфигурации, габариты которых позволяют установить их на измерительном столе микроскопа.

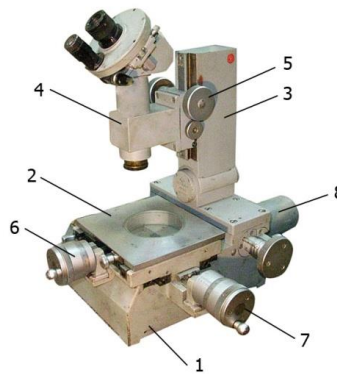


Рисунок 5

К приборам для контактных измерений относительным методом относят индикаторные инструменты.

Приборы для относительных измерений основаны на преобразовании малых поступательных перемещений измерительного стержня (щупа) в достаточно большие перемещения показателя (стрелки шкалы индикатора). В зависимости от применяемого механизма передачи движения эти приборы делят на рычажные, с зубчатой передачей, с рычажно-зубчатой передачей, рычажно-винтовой, рычажно-пружинной, рычажно-оптической и т.д.

Для определения действительного размера детали к известному размеру меры добавляют или отнимают от него отклонение, которое регистрирует индикатор.

Примером прибора с зубчатой передачей может служить индикатор часового типа, рис.б, который используется в практике технических измерений как измерительное устройство в различных приборах, например, в нутромере, глубиномере; для измерения отклонений от правильной геометрической формы (величины биения, огранки и т.д.).



Рисунок 6 – Индикатор часового типа

Преобразование поступательного перемещения измерительного стержня осуществляется с помощью зубчатой передачи и передается стрелке индикатора. Определенному значению перемещения измерительного стержня соответствует определенный угол поворота стрелки (например, в нормальных индикаторах с пределами измерений 0-5 и 0-10 мм и ценой деления 0,01 мм) поступательному движению стержня на 0,01 мм соответствует перемещение большой стрелки на одно деление; на 1 мм – полный оборот.

Погрешности индикаторов часового типа находятся в пределах от  $\pm 4,5$  до 26 мкм.

Пример рычажного стрелочного прибора для измерений линейных размеров калибров, деталей машин относительным контактным способом – миниметр, рис.7.

Миниметры применяются главным образом для измерений наружных размеров; миниметр может также служить измерительным устройством в различных измерительных приборах или приспособлениях специального назначения, например, в приборах для измерения зубчатых колес, резб, шарикоподшипников и конусов.

Измерительный стержень прибора со сферической и плоской мерительной поверхностью связан с показывающей стрелкой при помощи рычагов. Пределы измерений от 20 до 600 мкм, погрешность 0,5...2,5 мкм.

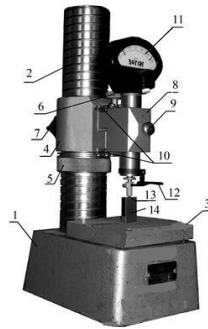


Рисунок 7 – Миниметр

Приборы с рычажно-оптической передачей используют для особо точных линейных измерений (относительным методом). Один из таких приборов – *оптиметр*; применяется для контроля прямолинейности, плоскостности направляющих, например, станка, точной установки технологического оборудования, проверки средств измерения (калибров).

Цена деления шкалы оптиметра – 0,001 мм; допустимая погрешность показаний – 0,0002 мм.

## ЛЕКЦИЯ №14,15 КОНТРОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ, ОТКЛОНЕНИЙ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

1. Шероховатость как параметр качества поверхности
2. Основные параметры шероховатости
3. Нормирование параметров шероховатости
4. Методы и средства оценки шероховатости поверхности
5. Контроль отклонений формы и расположения поверхностей – СР№6

1. Особую роль в обеспечении высоких служебных характеристик машин играет качество поверхностного слоя составляющих их деталей.

**Качество поверхности (поверхностного слоя)** – это совокупность всех служебных свойств поверхностного слоя материала, формирующихся в результате различных методов предшествующей обработки и, прежде всего, размерной обработки (механической, физико-химической), применяемой на стадии получения деталей из заготовок.

Качество поверхности является комплексным понятием и определяется геометрическими, структурными и физико-химическими характеристиками: (волнистостью, шероховатостью, составом, наличием макро-, микро- и субмикродфектов, в т.ч. дефектов кристаллического строения, определенным уровнем механических свойств – прежде всего, микротвердости, наличием макро- и микронапряжений).

Характеристики поверхности, связанные с геометрией детали, показаны на рис.1 в порядке уменьшения их абсолютных величин: отклонения формы (макрогеометрия); волнистость; шероховатость (микрогеометрия).

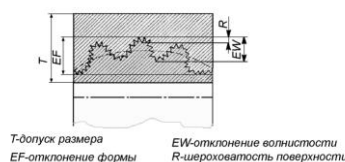


Рисунок 1 – Реальная поверхность, имеющая шероховатость, волнистость и отклонение формы

**Шероховатость поверхности** представляет собой совокупность неровностей, образующих рельеф реальных поверхностей с относительно малым шагом, выделенная с помощью базовой длины.

### 2.1. Параметры, определяющие высотные свойства шероховатостей.

**Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$**  – это среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины, рис.2.  $R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$  или  $R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$ , где:  $l$  – базовая длина;  $n$  – число выбранных точек профиля на базовой длине.

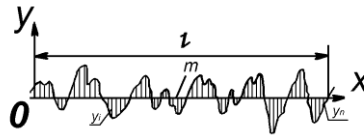


Рисунок 2

Параметр  $R_a$  определен на основе  $n$  выбранных  $y_{pm}$  выступов и впадин  $y_{vm}$ , наиболее объективно дает высотную характеристику поверхности. Именно поэтому он является предпочтительным при указании на чертежах.

**Высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$**  – это сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины.  $R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5}$ , где  $y_{pmi}$  – высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;  $y_{vmi}$  – глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля, рис.3.

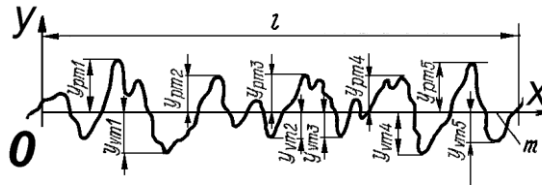


Рисунок 3

**Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{max}$**  – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины, рис.4.

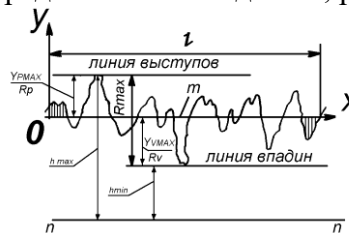


Рисунок 4

Информативность параметра  $R_z$  выше, чем  $R_{max}$ . Исторически применение  $R_z$  связано с оптическими методами измерений, когда обсчитывать все неровности затруднительно, а  $R_{max}$  уже не устраивает. Сегодня применение этого параметра рекомендовано в меньшей степени, чем  $R_a$ , однако для некоторых изделий он остается необходимым.

Между высотными параметрами  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  установлены следующие корреляционные зависимости: для лезвийной обработки  $R_z = 5 \cdot R_a$ ;  $R_{max} = 6 \cdot R_a$ ; для шлифования  $R_z = 5,5 \cdot R_a$ ;  $R_{max} = 7 \cdot R_a$ ; для полирования и притирки  $R_z = 4 \cdot R_a$ ;  $R_{max} = 5 \cdot R_a$ . При этом среднеквадратическое отклонение профиля  $R_q$  и параметр среднеарифметического отклонения  $R_a$  связаны между собой зависимостью  $R_a \approx 0,8$ .



2.2. *Параметры, определяющие свойства шероховатостей в направлении длины профиля.*

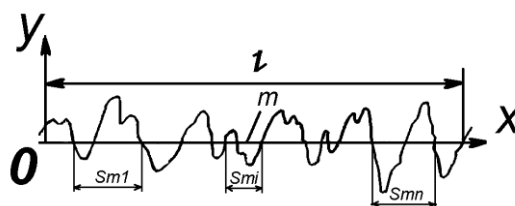


Рисунок 5

Одним из важнейших параметров является **средний шаг неровностей профиля**  $S_m$  – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины, рис.5.

2.3. *Параметры шероховатости, связанные с формой неровностей профиля.* Уровень сечения профиля – расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля, рис.6. Опорная длина профиля  $h_p$  – это сумма длин отрезков, в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии.

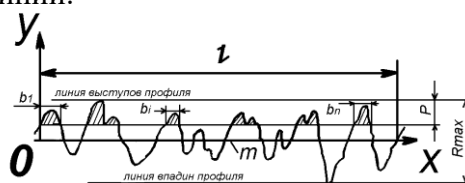


Рисунок 6

*Относительная опорная длина профиля*  $t_p$  – отношение опорной длины профиля к базовой длине.

Параметр  $t_p$  связан с возможностью «опирания» втулки на вал. По сути, это отношение «опирания» полученной поверхности  $\Sigma b_i$  к идеальному варианту, когда неровностей нет, т.е. поверхность – идеально ровная линия с размером базовой длины  $l$ .

Кроме рассмотренных, широко применяемых параметров, ГОСТ 25142-82 предусматривает и другие, получаемые современными измерительными комплексами.

### 3. На практике применяется три способа нормирования параметров шероховатости поверхности:

- 1) расчетный (как правило, это часть допуска размера либо формы);
- 2) прецедентный (по прототипу);
- 3) экспериментальный (на базе индивидуальных исследований создаваемой или эксплуатируемой конструкции).

Назначение поверхности и условия ее применения являются исходными основами при выборе параметров шероховатости поверхности и их численных значений, которые определяются на базовой длине.

Базовая длина выбирается так, чтобы полученной информации было достаточно для получения параметров шероховатости. По сути, нужно иметь 7...20 неровностей.

Стандарты предусматривают выбор базовой длины в зависимости от необходимых значений шероховатости; шероховатость, в свою очередь, связана с методом обработки.

Числовые значения базовой длины (мм) выбираются из ряда: (0,01) (0,03) 0,08 0,25 0,80 2,5 8 (25). Значения, указанные в скобках, применяются в особых случаях.

Предпочтительно применение параметра  $R_a$  как наиболее информативного, в том числе и для грубых поверхностей.

Однако параметры  $R_z$  и  $R_{max}$  не потеряли своего значения и их применяют в тех случаях, когда по функциональным требованиям необходимо ограничить полную высоту неровностей профиля, а также когда прямой контроль параметра  $R_a$  не представляется возможным, напри-

мер для поверхностей, имеющих малые размеры или сложную конфигурацию (режущие кромки инструментов, детали измерительных приборов и т.д.)

Для ответственных поверхностей производится дополнительно нормирование не только высотных параметров, но также шаговых.

Параметр  $t_p$  позволяет нормировать важнейшие эксплуатационные свойства поверхности, которые определяются формой неровностей и зависят также от высотных параметров профиля.

Относительная опорная длина профиля  $t_p$  (%) выбирается из ряда: 10 15 25 30 40 50 60 70 80 90. Числовые значения уровня сечения профиля  $p$  в (%) от  $R_{\max}$  выбираются из ряда: 5 10 15 20 25 30 40 50 60 70 80 90.

В дополнение к количественным параметрам в некоторых случаях целесообразно нормировать направление неровностей, например в связи с направлением относительного перемещения трущихся сопряженных поверхностей или направления движения жидкостного, или газового потока. Кроме того, определение направления неровностей существенно для обеспечения необходимой статической и особенно циклической прочности.

Обычно добиться качественной поверхности для отверстия труднее, чем для вала, поэтому часто проводится назначение различной шероховатости поверхностей сопрягаемых деталей: у отверстия шероховатость принимается на шаг выше.

При назначении параметров шероховатости поверхностей необходимо оценить возможность их достижения.

При выборе шероховатости поверхности следует учитывать, что значения параметров  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{\max}$  должны составлять только некоторую часть допуска соответствующего размера.

На основе опыта разработки конструкций существуют следующие рекомендации по назначению параметра  $R_z$  в зависимости от допуска размера: для квалитетов  $IT5...IT10$   $R_z$  не более 0,25 допуска, для квалитетов более  $IT10$  не более 0,125 допуска.

В качестве исходного параметра может быть принят допуск формы, тогда  $R_z$  не должен превышать  $(0,2...0,5) TF$ .

**4.** Существует ряд методов и средств оценки параметров микронеровностей. Методы могут быть качественными и количественными.

В цеховых условиях в соответствии с ГОСТ 9378-93 «Образцы шероховатости поверхности сравнения. Общие технические условия», (ИСО 2632-1-85, ИСО 2632-2-85) наиболее простым методом контроля шероховатости поверхностей изделий является визуальное (невооруженным глазом или через лупу) или органолептическое (на ощупь) сравнение с образцами. Данный метод является *качественным*.

*Количественные методы* оценки шероховатости основаны на измерении микронеровностей специальными приборами – контактными и бесконтактными.

Наибольшее распространение для определения шероховатости *контактным методом* получили щуповые приборы, работающие по принципу «ощупывания» поверхности алмазной иглой, рис.7.



а



б

Рисунок 7 – Профилограф (а) и профилограф-профилометр (б)

В щуповых приборах контактного действия (профилометрах, показывающих среднее арифметическое отклонение профиля, профилографах – профиль поверхности, профилографах-профилометрах) для измерения высоты неровностей используют вертикальные колебания иглы, перемещаемой по контролируемой поверхности. Колебания преобразуются в электрическое напряжение с помощью индуктивных, механотронных, пьезоэлектрических преобразователей.

В настоящее время нашли применение приборные комплексы с применением преобразования аналогового сигнала в цифровой, последующей обработки по предусмотренной программе.

Программное обеспечение позволяет в диалоговом режиме управлять процессом измерения, выбирая оптимальные режимы, вводить необходимую фильтрацию, вычислять параметры шероховатости, выводить на экран монитора и анализировать геометрические особенности микропрофиля.

К бесконтактным количественным устройствам оценки шероховатости относят оптические приборы – светового сечения (например, двойной микроскоп Линника), теневой проекции, интерференции света.

## ЛЕКЦИЯ №16 ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

*Правильный выбор средств измерения (СИ) обеспечивает получение достоверной информации необходимой точности.*

При этом точность СИ должна быть согласована с требованиями к предельно допустимым значениям контролируемых параметров и режимов (погрешность результатов измерений, получаемых с помощью выбранного СИ, должна быть значительно меньше допуска на контролируемый параметр изделия).

*Недостаточная точность СИ приводит к возникновению ложного и необнаруженного брака контроля, а излишняя точность - к повышению трудоемкости и стоимости контрольных операций, а следовательно, к увеличению затрат на производство продукции.*

**Выбор средств измерения** зависит от вида контроля, метрологических факторов, точности изготовления (восстановления) деталей, масштабов производства, конструктивных и экономических показателей.

• **Вид контроля.** В ремонтном производстве, как и в общем машиностроении, применяют две формы контроля: активный и пассивный контроль.

*Активный контроль с прямым измерением размеров детали непосредственно влияет на технологический процесс получения определенного размера.* При активном контроле используют, как правило, специальные контрольные устройства.

*Пассивный контроль лишь определяет годность деталей.*

При выполнении производственных измерений учитывают такие метрологические показатели: диапазон показаний, диапазон измерений, точность и погрешность измерений.

• **Погрешность измерений** – один из решающих факторов, которые влияют на выбор средств измерения. Погрешность измерений приводит к тому, что часть бракованных деталей поступает на сборку (ошибки второго рода), а часть годных деталей бракуют (ошибки первого рода).

Для устранения ошибок второго рода необходимо уменьшить допуск детали  $T$ , т.е. ввести суженный или производственный допуск  $T_{пр}$ .

**Производственный допуск** – это допуск на изготовление, уменьшенный с целью устранения негативного влияния погрешностей измерения. Введение производственного допуска полностью исключает поступление на сборку деталей с размерами, которые выходят за пределы определенного допуска.

**Технически обоснованный выбор средств измерений по точности при измерении или контроле параметров проводится при наличии следующих исходных данных:**

- перечня (оптимального) контролируемых параметров изделия;
- значений допускаемых отклонений для каждого контролируемого параметра и допускаемых значений погрешности измерений для измеряемых параметров;
- допускаемых значений вероятностей ложного и необнаруженного отказов (брака контроля) на каждый из контролируемых параметров; значений доверительных вероятностей для измеряемых параметров;
- законов распределения отклонений измеряемых (контролируемых) параметров и погрешностей измерений, возникающих при применении средств измерений (контроля) параметров;
- условий измерений, к которым относят механические нагрузки (вибрации, удары, линейные ускорения), климатические воздействия (температура, влажность, атмосферное давление, солнечная радиация), наличие или отсутствие разрушающей среды, в которой эксплуатируются средства измерений или их элементы (агрессивные газы и жидкости, высокая температура, высокое напряжение, грибки, электрические и магнитные поля, помехи).

• **Масштаб производства** также влияет на выбор средств измерения. В индивидуальном и мелкосерийном производстве целесообразно использовать универсальные средства измерения, в массовом – специальные средства измерения и калибры.

• **Конструктивные особенности** (габариты, форма, масса) деталей также обуславливают определенные ограничения на выбор средств измерения. Так, массивные детали контролируются переносными и измерительными приборами, а детали небольших размеров – стационарными.

• **Экономические факторы**, которые влияют на выбор средств измерения, включают: стоимость средств измерения, длительность их работы до повторного восстановления и ремонта, время на установку и измерение, соответствующую квалификацию оператора.