

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ПСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

И.Г. Ершова, С.И. Дмитриев

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

**Краткий конспект лекций
для студентов специальности
«Технология машиностроения»**



Псков ППИ
2010

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

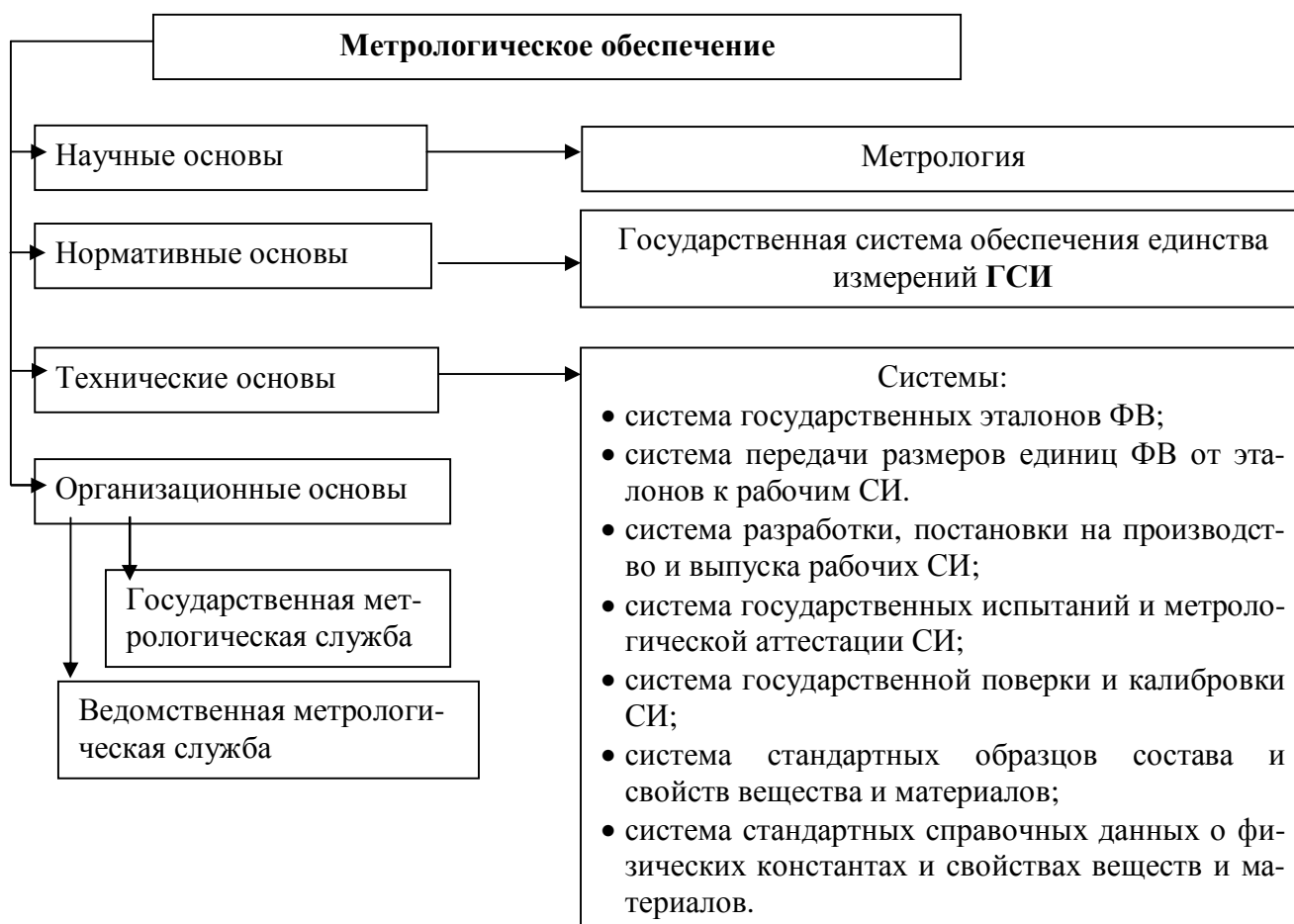
Согласно ГОСТ 1.25–76 «Государственная система стандартизации. Метрологическое обеспечение. Основные положения» под метрологическим обеспечением (МО) понимается установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства измерений (результаты измерений должны быть выражены в узаконенных единицах величин) и требуемой точности измерений (погрешность измерений не должна выходить за установленные границы).

Понятие МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ применяется, как правило, по отношению к измерениям в целом. В то же время допускается использование термина МО технологического процесса, подразумевая при этом МО измерений в данном процессе, производстве, организации.

Объектом МО являются все стадии жизненного цикла (ЖЦ) изделия (продукции) или услуги.

ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Метрологическое обеспечение имеет 4 основы: научную, нормативную, техническую и организационную.



1. НАУЧНАЯ ОСНОВА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Научной основой метрологического обеспечения являются **МЕТРОЛОГИЯ**.

Метрология (от греческих слов «метрон» – мера, «логос» – учение) – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности (ГОСТ 16263–70).

Основными задачами метрологии (РМГ 29-99) являются:

- установление единиц физических величин, государственных эталонов и образцовых средств измерений;
- разработка теории, методов и средств измерений и контроля;
- обеспечение единства измерений;
- разработка методов оценки погрешностей, состояния средств измерения и контроля;
- разработка методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

Основными понятиями метрологии являются

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА - одно из свойств физического объекта, которое является общим в качественном отношении для многих физических объектов, отличаясь при этом количественным значением.

Практически все решаемые в рамках метрологии задачи направлены на обеспечение единства измерений при требуемой для производства точности. С этой целью разрабатываются и утверждаются единые для страны единицы физических величин, в соответствии с которыми градуируются средства измерений, создаются государственные эталоны для воспроизведения единиц конкретных физических величин и передачи их размера применяемым в стране средствам измерения этих величин.

ЕДИНИЦА ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1.

Совокупность основных и производных единиц, относящихся к некоторой системе величин, и образованная в соответствии с принятыми принципами, составляет систему единиц физических величин.

Одним из условий обеспечения единства измерений – выражение результата в узаконенных единицах. Для этого необходимо обеспечить воспроизведение, хранение единиц физических величин и передачу их размеров всем применяемым средствам измерений, проградуированных в этих единицах.

ЭТАЛОНОМ называется СИ, обеспечивающее воспроизведение единицы с максимально возможной точностью и хранение ее для передачи размера другим СИ, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке.

Передача размеров единиц осуществляется путем поверки или калибровки СИ.

ПОВЕРКА СИ – совокупность операций, выполняемых органами Гос. метрологической службы с целью определения и подтверждения соответствия СИ установленным техническим требованиям, т.е. находят погрешности СИ и устанавливают его пригодность к применению.

КАЛИБРОВКА СИ – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений характеристик и пригодности к применению СИ, не подлежащих Гос. метрологическому контролю и надзору.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ – представляют собой технические устройства, предназначенные для измерений и имеющие нормированные метрологические характеристики.

Для получения результата измерения СИ применяются по определенному методу.

Под **МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЙ** понимают совокупность приемов использования принципов и СИ.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИ - характеристики свойств СИ, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ – отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины.

2. НОРМАТИВНЫЕ ОСНОВЫ МО

Нормативной основой (нормативно-правовой) является Государственная система обеспечения единства измерений ГСИ (устанавливает различные нормативные документы).

Нормативную базу МЕТРОЛОГИИ составляют:

1. Конституционная норма по вопросам метрологии – устанавливает, что в федеральном ведении находятся стандарты, эталоны, закрепляет руководство основными вопросами метрологии.

2. Вся метрологическая деятельность в РФ основывается на конституционной норме, согласно которой приняты следующие законы, детализирующие основы метрологической деятельности.

Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» - регулирует вопросы о СИ, допускает к применению единицы ФВ Международной системы единиц.

Закон «О стандартизации» устанавливает правовые основы стандартизации.

3. Текущая метрологическая деятельность регламентируется Постановлениями Правительства РФ по отдельным вопросам (направлениям) метрологической деятельности.

4. Разрабатываются и принимаются Нормативные документы Госстандарта России: ГОСТ, РД, МИ – методич. инструкции, ПР - правила, РМГ – межгосуд. рекомендации.

Все нормативные документы в виде Государственных и Межгосударственных стандартов (т.е. ГОСТ Р и ГОСТ) по метрологическому обеспечению имеют шифр ГСИ – Государственная система обеспечения единства измерений и выпускаются под серией «8», например ГОСТ 8.051–81.

5. Рекомендации государственных научных метрологических центров Госстандарта РФ.

Комплекс нормативных документов, устанавливающих правила, нормы, требования, направленные на достижение и поддержание единства измерений в стране при требуемой точности, составляет государственную систему обеспечения единства измерений (ГСИ).

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Технические основы метрологического обеспечения включают в себя формулировки характера выполняемых работ.

Приведем важнейшие из них:

1. Система государственных эталонов единиц физических величин, обеспечивающих воспроизведение единиц с наивысшей точностью;

Практически во всех странах есть государственные службы, которые создают государственные эталоны, и следят за их сохранностью.

В соответствии с законом «Об обеспечении единства измерений» под эталоном единиц величин имеют в виду средства измерений, предназначенные для воспроизведения и хранения единицы величины (либо кратных, либо дольных значений единицы величины).
2. Система передачи размера от государственных эталонов рабочим средствам измерений.

Эта система должна обеспечивать положение, при котором точное значение величины передается от эталона до рабочих средств измерений.
3. Система поверки и калибровки средств измерений.

Средства измерений, находящиеся в эксплуатации, должны периодически поверяться с тем, чтобы убедиться, что погрешность их не стала больше, чем это может быть допущено.
4. Система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение рабочих средств измерений требуемой точности;

5. Система государственных испытаний, метрологической аттестации средств измерений, обязательной государственной и ведомственной поверок средств измерений;

Поскольку точность средств измерений влияет не только на качество выпускаемой продукции, но и на большие материальные потери и даже на здоровье и жизнь людей, необходимо допускать к применению только такие средства измерений, которые испытаны Государственной метрологической службой. Это относится к определенной группе средств измерений.

6. Система стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов.

7. Система стандартных справочных данных, физических констант и свойств веществ и материалов.

4. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.

Государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений в РФ осуществляет Комитет РФ по стандартизации и метрологии – Госстандарт России.

Он является федеральным органом исполнительной власти, осуществляет межотраслевую координацию и регулирование в области стандартизации, метрологии и сертификации.

Он руководствуется Конституцией РФ, законами, указами и др. нормативными документами в области метрологии.

В ведении Госстандарта России находятся

- Государственная метрологическая служба - ГНМЦ.
- Метрологические службы юридических лиц (ведомственная метрологическая служба).

Метрологические службы - специальные или специализированные организации или подразделения на предприятиях, которые проводят работы по метрологическому обеспечению. Метрологические службы разрабатывают нормы, правила, требования.

Метрологические службы бывают государственные и службы юридических лиц.

Государственная метрологическая служба.

Основными задачами государственной метрологической службы являются организация и проведение работ по созданию и сохранению системы государственных эталонов величин, а также системы передачи точности эталонов до рабочих средств измерений.

Метрологические службы юридических лиц.

Создаются в необходимых случаях в установленном порядке для выполнения работ по обеспечению единства измерений, повышения уровня метрологического обеспечения.

Метрологические службы призваны обеспечить необходимую и достаточно достоверную измерительную информацию при проектировании, испытании и контроле качества выпускаемой продукции.

К основным задачам метрологических служб относятся: калибровка средств измерений; надзор за состоянием и применением средств измерений, за методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, применяемыми для калибровки СИ, за соблюдением правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений; представление СИ на поверку и калибровку;

Метрологические службы занимаются метрологической подготовкой производства, созданием и метрологической аттестацией специальных средств измерений, метрологической экспертизой, конструкторской, технологической и другой документации и рядом других работ.

Именно в связи с этим и возникло понятие «метрологическое обеспечение», которое включает не только обеспечение единства измерения, но обеспечение необходимыми средствами измерений.

Общий комплекс работ по МОП разделяют на две основные части:

1. Метрологическое обеспечение подготовки производства
2. Метрологическое обеспечение действующего производства

1. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

В общий комплекс работ по метрологическому обеспечению при подготовке производства входят следующие работы:

- метрологическая экспертиза и метрологическая проработка конструкторской и технологической документации;
- разработка методик измерений отдельных показателей геометрической точности;
- проведение испытаний на утверждение типа средств измерений;
- разработка систем измерений для конкретных производств.

**Метрологическая экспертиза и метрологическая проработка
технической документации**

1. Метрологическая экспертиза (МЭ) конструкторской и технологической документации – анализ и оценка технических решений по выбору параметров, подлежащих измерению, установлению норм точности и обеспечению методами и средствами измерений процессов разработки, изготовления, испытания, эксплуатации и ремонта изделия.

Специалист, проводящий МЭ на основании изучения конструкторской и технологической документации должен дать заключение, что все точностные требования указанные в документации могут быть выявлены с помощью имеющихся на данном производстве средств измерений.

2. Метрологическая проработка (МП) – это поиск технических решений по выбору параметров, подлежащих измерению, установление метрологически обеспеченных норм точности на эти параметры и выбор методов и средств измерений для обеспечения процессов разработки, производства, испытаний и эксплуатации изделий.

Из сопоставления понятий МЭ и МП следует, что принципиальная разница заключается, прежде всего, во времени проведения работ. Если МЭ проводится после окончания разработки документации, то МП проводится в процессе разработки документации.

Конструкторская документация на средства измерений, подлежащая МП метрологической проработке и МЭ метрологической экспертизе должна проводиться на всех этапах разработки документации, и эту работу можно разделить на три этапа:

- подготовка и разработка технического задания – ТЗ;
- разработка технического предложения или технического проекта – ТП;
- разработка рабочей документации – РД.

Цель МП (МЭ) конструкторской документации заключается в обеспечении контролепригодности точностных требований, установленных в документации.

Под контролепригодностью понимается возможность измерений нормируемых параметров с допустимой погрешностью в конкретных условиях производства (на конкретном производстве).

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ (МВИ)

Методика выполнения измерений – это нормативный документ по обеспечению единства измерений, в котором рассматривается последовательность применения средства измерений с вспомогательными устройствами и способ обработки результатов непосредственных измерений для определения значений параметров физических величин или соответствия этих параметров заданным предельным значением.

Разработка методик выполнения измерений должна включать:

- Ø анализ технических требований к точности измерений, изложенных в стандарте, технических условий или технических заданий;
- Ø определение конкретных условий проведения измерений;
- Ø выбор испытательного и вспомогательного оборудования, а так же СИ;
- Ø исследование влияния условий проведения измерений и подготовки испытуемых объектов к измерениям;
- Ø определение порядка подготовки средств измерений к работе, последовательности и количества измерений;
- Ø разработку или выбор алгоритма обработки экспериментальных данных и правил оформления результатов измерения.

Общие требования к методикам выполнения измерений указаны в **разделах**, которые должны быть в каждой **методике измерений см** в ГОСТ 8.010 – 72.

2. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

В процессе производства, цель метрологического обеспечения заключается в обеспечении единства мер и средств измерений.

Основным содержанием этих работ является

- поверка средств измерений или их калибровка,
- а также метрологический контроль и надзор с целью проверки соблюдения метрологических правил и норм.

1. Поверка и калибровка средств измерений

Содержание работ выражаемых терминами «поверка» и «калибровка», в принципе, характеризуют одну и ту же деятельность, только проводится она специалистами разных ведомств и организаций.

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.

Различают несколько видов поверки: первичная; периодическая; внеочередная; инспекционная; экспертная.

1. Первичная поверка проводится при выпуске средств измерения после изготовления или ремонта, а также при ввозе по импорту.
2. Периодическая поверка проводится через межповерочные интервалы, которые первоначально устанавливаются при испытании приборов. Поверяется каждый экземпляр средства измерений.
3. Внеочередная поверка производится в тех случаях, когда повреждено клеймо, удостоверяющее поверку, или утрачено свидетельство о поверке. Эта поверка может быть произведена и при вводе средства измерений в работу после хранения, если оно хранилось более одного поверочного интервала.
4. Инспекционная поверка проводится при общей поверке предприятия органами государственного метрологического надзора. Эта поверка должна производиться в присутствии хозяина прибора.
5. Экспертная поверка осуществляется при возникновении споров между изготовителем и потребителем или приемщиком, по запросу прокуратуры.

Калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средств измерений, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору. Калибровка не является обязательной.

Калибровка средства измерений производится метрологической службой юридических лиц, т.е. предприятий и организаций, где эти средства измерений применяются.

Средства измерений, не подлежащие поверке, могут подвергаться калибровке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при эксплуатации, прокате и продаже.

Результаты положительной калибровки удостоверяются калибровочным знаком непосредственно на средстве измерений или выдачей сертификата (свидетельства), а так же записью в эксплуатационной документации.

Калибровка, т.е. поверка средств измерений непосредственно потребителем, является делом добровольным и эти средства измерений не находятся под наблюдением и контролем государственной метрологической службы.

Таким образом, отличие калибровки от поверки заключается только в том, что калибровку проводят специалисты того предприятия, где используются эти средства измерений.

Метрологический контроль и надзор

Метрологический контроль и надзор – деятельность, осуществляемая органом государственной метрологической службы (государственный метрологический контроль и надзор) или метрологической службой юридического лица, в целях проверки соблюдения установленных метрологических правил и норм (Закон «Об обеспечении единства измерений»).

Государственный метрологический контроль и надзор

В России эту работу проводит Государственная метрологическая служба Госстандарта России. Разделить понятия «контроль» и «надзор» весьма трудно, но в законе «Об обеспечении единства измерений» под этими понятиями имеется в виду проведение определенных работ.

Государственный метрологический контроль включает:

1. Утверждение типа средств измерений.
2. Поверку средств измерений, в том числе эталонов.
3. Лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений.

Государственный метрологический надзор осуществляется:

1. За выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм.
2. За количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций. Эта работа проводится с целью определения массы, объема, расхода или других величин, характеризующих количество этих товаров.
3. За количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

Метрологический контроль и надзор на предприятиях и в организациях (у юридических лиц)

В связи с влиянием метрологического обеспечения на качество и сохранность выпускаемой продукции установлен метрологический контроль и надзор или со стороны государственных органов, или со стороны метрологической службы предприятий и организаций.

Государственный метрологический контроль и надзор осуществляется, в основном, Государственной метрологической службой Госстандарта России.

Метрологический контроль и надзор на предприятиях и организациях осуществляется метрологической службой, которая обязательно создается на предприятиях и организациях, сфера деятельности которых контролируется Государственной метрологической службой.

На остальных предприятиях и в организациях метрологические службы создаются в необходимых случаях по усмотрению этих предприятий и организаций.

Законом «Об обеспечении единства измерений» установлены виды работ, которые должна проводить Государственная метрологическая служба по контролю и надзору за выполнением метрологических правил. Эта работа осуществляется путем:

- Калибровки средств измерений.
- Надзора за состоянием и применением средств измерений, аттестованными методами выполнения измерений, эталонами, нормативной документацией по обеспечению единства измерений.
- Выдачи обязательных предписаний, направленных на предотвращения, прекращения или устранения нарушений метрологических правил и норм.
- Проверки своевременного представления средств измерений на испытания для утверждения типа средств измерений, а также на поверку и калибровку.

Основные виды работ по МО, которые должны проводиться непосредственно на предприятиях и в организациях.

1. Проведение анализа состояния с измерениями.

Цель – обеспечить необходимую точность и производительность измерений.

В процессе анализа необходимо убедиться, что все нормируемые показатели точности могут быть измерены имеющимися на этом предприятии средствами измерений.

2. Проведение метрологической проработки и метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации.

Целью проведения этой работы является обеспечение разработки документации, в которой все нормируемые показатели точности были бы контролепригодны на конкретном производстве, для которого эта документация разрабатывается.

3. Проведение работ по выбору средств измерений и методик проведения измерений.

Этот вид работ является одним из важнейших в метрологическом обеспечении. При этом выясняется, какими средствами и как необходимо измерять на всех этапах и операциях технологического процесса от получения заготовки до готового изделия.

4. Обеспечение производства необходимыми средствами измерений.

Это касается как средств измерений, выпускаемых специализированными производителями, так и специальных средств измерений, разрабатываемых на предприятии.

5. Участие в работах по анализу точности технологического процесса.

Проводимый технологической службой анализ касается, в частности, выявления причин появления брака. В эти работы включается надзор за точностным состоянием финишного оборудования.

6. Участие в работах по сертификации продукции.

При проведении работ по сертификации оценивается не только технический уровень и качество выпускаемой продукции, но и обеспеченность производства средствами измерений и условиями, позволяющими проводить измерения с требуемой точностью.

7. Организация работ по поверке и калибровке средств измерений.

Для большинства средств измерений характерны так называемые параметрические отказы, т.е. поломки, при которых прибор функционирует, выдает информацию, но эта информация имеет погрешность, выходящую за допустимые пределы. Поэтому возникает необходимость регулярно поверять все средства измерений. Наиболее правильным является поверка прибора непосредственно оператором, который пользуется этим средством измерений. В отношении сложных средств измерений такую поверку должны производить специалисты метрологической службы, которые подготовлены специально для такой работы.

В последние годы значительно расширились рамки деятельности метрологических служб. Наряду с основной деятельностью – обеспечением единства измерений, они занимаются метрологической подготовкой производства, созданием и метрологической аттестацией специальных средств измерений, метрологической экспертизой конструкторской, технологической и другой документации и рядом других работ. Именно в связи с этим и возникло понятие «метрологическое обеспечение», которое включает не только обеспечение единства измерения, но обеспечение необходимыми средствами измерений.

ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

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

Основное уравнение измерений

С помощью измерения сопоставляют измеряемую величину с единицей измерения, т.е. если имеется некоторая физическая величина X , а принятая для нее единица $[X]$, то значение физической величины определяется как

$$X = q[X],$$

где q - числовое значение физической величины в принятых единицах измерения.

Измерения (по видам) классифицируют:

- по характеристике точности – **равноточные, неравноточные;**
Равноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях.
Неравноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различными по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.
- по числу измерений в серии – **однократные, многократные;**
Однократное измерение – измерение, выполненное один раз (двукратное, трехкратное).
Многократное измерение – измерение, состоящее из ряда последовательных однократных измерений. При $n > 4$ измерения можно считать многократными, и могут быть обработаны в соответствии с требованиями математической статистики.
- по отношению к изменению измеряемой величины – **статические, динамические;**
Статическое измерение – измерение физической величины, принимаемой за неизменную на протяжении времени измерения.
Динамическое измерение – измерение физической величины, размер которой изменяется с течением времени. *Например, измерение вращающихся детали в процессе ее обработки на станке.*
- по метрологическому назначению – **технические, метрологические;**
Технические измерения – измерения при помощи рабочих средств измерений с целью контроля параметров изделий, технологических процессов и т. д.
Метрологические измерения – измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью воспроизведения единиц физических величин или передачи их размера рабочим средствам измерений. *При поверке.*
- по выражению результата – **абсолютные, относительные;**
Абсолютное измерение – измерение, приводящее к значению измеряемой величины, выраженному в ее единицах. *При измерении длины детали микрометром результат измерения выражается в единицах измеряемых величин (в миллиметрах).*
Относительное измерение – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы.
- по общим приемам получения результатов измерения – **прямые, косвенные, совместные, совокупные.**
Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно по показаниям прибора (измерение микрометром, измерительной линейкой).
 Формула прямого измерения: $X = n[X]$, где X – искомая физическая величина; $[X]$ – единица физической величины; n – значение физической величины.
Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Формула косвенных измерений: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$,

где y – искомая физическая величина; x_1, x_2, \dots, x_n – величины, подверженные прямым измерениям.

*Например, угол синусной линейки по катету и гипотенузе $\sin \alpha = H / L$;
средний диаметр методом трех проволочек, устанавливаемых во впадины резьбы*

$$d_2 = M - 1,5d_0, \quad \text{где } d_0 = 0,577P.$$

Совокупные измерения – измерения нескольких однородных величин в различных их сочетаниях, значения которых определяют путем решения системы уравнений.

Например, измерение отклонений от прямолинейности образующих тел вращения (рис.2.2). Для определения отклонений от прямолинейности необходимо измерить три валика X , Y и Z и составить три уравнения.

Совместные измерения – одновременные измерения двух или нескольких неоднородных величин для установления зависимости между ними.

Например, на основании ряда одновременных измерений отклонений диаметра шейки вала Dd и параметра шероховатости Ra после тонкого точения определяют статистическую связь Dd с Rz , где k – угловой коэффициент.

- в зависимости от наличия контакта измерительной поверхности измерительного средства с поверхностью измеряемого изделия - **контактный;** **бесконтактный.**
- в зависимости от специально поставленной цели - **комплексный;** **дифференциальный.**
Комплексный метод измерения направлен к ограничению предельных контуров изделий, которые (контур) определяются величинами и расположением полей допусков.
Дифференциальный (элементный) метод измерения характеризуется тем, что параметры каждого элемента изделия измеряют независимо от других элементов.
- по методу измерений - **непосредственной оценки;** **сравнения с мерой.**

Таблица 1

Характеристики и области применения различных видов измерения

Наименование вида	Характеристика видов измерения	Область применения
Абсолютный (непосредственной оценки)	Прибор показывает абсолютное значение измеряемой величины	Измерение микрометром, штангенциркулем, длинномером
Относительный (метод сравнения с мерой)	Прибор показывает отклонение значения измеряемой величины от размера установочной меры или иного образца	Измерение оптиметром, индикаторным нутромером
Прямой	Значение искомой величины или отклонение её отсчитывают непосредственно по прибору	Измерение диаметров микрометром или индикатором на стойке
Косвенный	Значение искомой величины или отклонение от неё находят по результатам измерения другой величины, связанной с искомой определённой зависимостью	Измерение угла синусной линейкой; диаметра по длине дуги и углу, опирающемуся на неё
Комплексный	Определяется или ограничивается сумма погрешностей отдельных геометрических элементов изделия	Контроль резьбы на проекторе и комплексными калибрами, двухпрофильная проверка зубчатых колёс

Наименование вида	Характеристика видов измерения	Область применения
Элементный (дифференциальный)	Определяется погрешность каждого геометрического элемента изделия в отдельности	Контроль среднего диаметра, шага, и угла профиля резьбы; основного шага, профиля, накопленной погрешности, шага зубчатых колёс
Контактный	Измерительная поверхность прибора соприкасается с контролируемой поверхностью детали	Измерение механическими приборами
Бесконтактный	Чувствительный элемент прибора не соприкасается с контролируемой поверхностью	Измерение на проекторах пневматическими и ёмкостными приборами

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Под **методом измерения** понимается совокупность используемых измерительных средств и условий их применения.

Различают два основных метода измерений:

- *методом непосредственной оценки;*
- *методом сравнения с мерой.*

- **метода непосредственной оценки**, при котором значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора;

Прибор осуществляет преобразование входного сигнала измерительной информации, соответствующего всей измеряемой величине, после чего и происходит оценка ее значения:

$$x = n [x],$$

где x – искомая физическая величина; n – значение физической величины; $[x]$ – единица физической величины.

- **метод сравнения с мерой**, где измеряемая величина сравнивается с величиной, воспроизводимой мерой (эталоном):

$$x = (m \pm n) [x],$$

где m – размер меры; n – разница между размером меры (например, блоком концевых мер) и размера, воспроизводимого измеренной деталью.

Например, измерение диаметров калибра-пробки с помощью микрометра, который настраивается на размер по КМД.

Метод сравнения с мерой имеет ряд разновидностей:

- Ø **метод дополнения**, где значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения действовала их сумма, равная заранее заданному значению;

- Ø **дифференциальный метод** характеризуется измерением разности между измеряемой величиной и известной величиной, воспроизводимой мерой;

- Ø **нулевой метод** аналогичен дифференциальному, но разность между измеряемой величиной и мерой сводится к нулю; Это контролируется специальным измерительным прибором высокой точности – нуль-индикатором.

- Ø **метод замещения** – метод сравнения с мерой, в которой измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой (взвешивание).

- Ø **метод совпадений** - разность между измеряемой величиной, воспроизводимой мерой, определяют, используя совпадение отметок шкал. Примером может служить измерение размера при помощи штангенциркуля с нониусом: наблюдают совпадение отметок на шкалах штангенциркуля и нониуса

Очевидно, что **выбор метода измерений зависит** от его теоретической обоснованности, наличия необходимых средств измерений, их вида (мера, измерительный прибор и др.) и конструктивных особенностей.

Контроль – это совокупность экспериментальных операций, имеющих целью установление факта нахождения значения физической величины в пределах заданных границ.

Технический контроль – проверка соответствия объекта, от которого зависит качество продукции, установленным техническим требованием.

Испытания – экспериментальное определение количественных и качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и воздействий.

Организация контроля зависит от технических требований и производственных условий.

Основные виды контроля:

- комплексный (контроль внутр. резьбы гайки с пом. резьбового калибра-пробки) и дифференциальный (контроль каждого параметра в отдельности);
- активный и пассивный;
- автоматический и неавтоматический.

Активным контролем называют такой контроль, по результатам которого осуществляется воздействие на технологический процесс с целью обеспечения заданного качества.

Активный контроль классифицируется:

- до обработки;
- в процессе обработки;
- после обработки.

Пассивный контроль – контроль, при котором результаты измерения параметров детали не используются для непосредственного воздействия на технологический процесс.

Различают следующие формы контроля:

- 100 % готовых изделий – калибры, Унив. СИ, специализированные СИ;
- выборочный контроль готовых изделий - используют универсальные и спец. СИ;
- статистический контроль (инженерные обоснования и расчётная система выборочного контроля) - используют универсальные и специальные СИ;
- контроль средств производства - используют универсальные и специальные СИ.

Поверкой называется процесс определения погрешностей и соответствия мер и измерительных приборов техническим требованиям.

При поверке измерительных приборов оценивается величина **систематической погрешности** и наиболее вероятная величина **случайной погрешности** на основе многократного снятия показаний с образцового прибора.

Образцовый прибор - прибор, цена деления, а соответственно и погрешность которого выбирается обычно в 5 – 10 раз меньше, чем у поверяемого.

КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

Средство измерений – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики/

Классификация СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ (СИ).

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

- **метрологические**, предназначенные для метрологических целей – воспроизведения единицы и (или) ее хранения или передачи размера единицы рабочим СИ; - образцовые.
- **рабочие СИ предназначены для измерения размеров величин** (применяемые для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений).
- **вспомогательные средства измерений.**

2. В зависимости от конструктивного исполнения СИ (классификация по РМГ 29-99):

- меры; МЕРЫ
- измерительные преобразователи;
- измерительный инструмент; КАЛИБРЫ
- измерительные приборы; Универсальные инструменты и приборы
- измерительные установки и измерительные системы;

1. **Мера** – СИ, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

- меры длины (КМД, штриховые меры, мм – ые линейки);
- угловые меры (плоские угл. меры, угловые шкалы, призмы).
- Однозначные меры, воспроизводящие одно значение ФВ(гиря, образцы твердости, шероховатости и т.п.).
- Многозначные меры, воспроизводящие несколько размеров физической величины (миллиметровая линейка, КМД).

2. **Измерительный преобразователь ИП** – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки, **но не доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.** Основной метрологической характеристикой ИП считается соотношение между входной и выходной величинами, которое называется **функцией преобразования** (статич. хар-ка).

Различают первичные преобразователи (П П),
промежуточные преобразователи (ПР П),
передающие преобразователи (П ПР).

3. **Измерительный инструмент** – **бесшкальное средство измерения**, не имеющее преобразовательных элементов, предназначенное для контроля размеров, формы и расп. пов.

- **калибры** (гладкие калибры, конусные, резьбовые, шлицевые, шпоночные и др.);
- **прочие** (щупы, шаблоны, поверочные и синусные линейки, угольники, контрольные призмы, контрольные плиты и т. д.).

4. **Измерительный прибор** – **средство измерений**, предназначенное для получения измерительной информации о величине, в форме, доступной для восприятия наблюдателем.

- **механические:.....** (оптические, электрические, пневматические, гидравлические)

- штриховые инструменты, снабженные нониусом (штангенинструменты);
- микрометрические инструменты, основанные на применении микропар;
- рычажно-механические приборы, которые подразделяются на:
 - *собственно рычажные приборы (миниметры);*
 - *зубчатые приборы (ИЧ типа);*
 - *рычажно-зубчатые приборы (микрометры);*
 - *приборы с пружинной передачей (микрокаторы)*

ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Цена деления шкалы – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

Цена деления не должна быть меньше погрешности показаний прибора!

2. Интервал деления шкалы – расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы. В измерительных приборах величина длины деления шкалы обычно составляет, $a = 1 \dots 2,5$ мм.

3. Чувствительность измерительного прибора – отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызвавшему его изменению сигнала на входе (**свойство прибора реагировать на изменения измеряемой величины**):

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta x} \text{ д.б.} > 1$$

Если изменение измеряемой величины составило $\Delta x = 0,01$ мм, что вызвало перемещение стрелки показывающего прибора на $\Delta l = 10$ мм, то абсолютная чувствительность прибора составляет $S = 10/0,01 = 1000$.

Для шкальных измерительных приборов Чувствительность прибора оценивается *передаточным отношением прибора* - отношение линейного или углового перемещения стрелки к изменению размера, вызвавшему это перемещение. Оно численно равно отношению интервала деления к цене деления - $k = a/c$.

4 Вариацией показаний (нестабильность) показаний прибора - алгебраическая разность в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к ней со стороны меньших и больших значений измеряемой величины.

5 Функция преобразования (градуировочная характеристика средства измерений) – зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерений, составленная в виде таблицы, графика или формулы.

Функция преобразования описывает статические свойства преобразователя и в общем случае записывается в виде:

$$y = f(x).$$

Функцию преобразования рассматривают обычно в трех аспектах:

- **номинальная (желаемая) функция преобразования.** Эта функция обусловлена законом построения шкалы и при равномерной шкале прибора номинальная функция преобразования будет иметь линейный характер – прямая, которая проходит через начало координат и описывается уравнением:

$$y_0 = kx,$$

где k – требуемое передаточное отношение прибора - $k = a/c$.

- **функция преобразования, обусловленная схемой измерительного прибора** без учета погрешностей изготовления и сборки деталей передаточного механизма;

$$y_{cx} = f(x, r_i).$$

Параметры механизма r_i - геометрические величины, определяющие размеры и взаимное положение отдельных элементов.

- **действительная функция преобразования**, учитывающая погрешности изготовления и сборки измерительного прибора. **Реальная** передаточная функция в статическом режиме имеет вид:

$$y = f(x, r_i + Dr_i), \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad a \leq x \leq b.$$

где x – измеряемая величина, r - теоретическое значение параметра; Δr – погрешность параметра (первичная погрешность – обусловлена изготовлением деталей); i – номер параметра; n – число учитываемых параметров; a и b нижний и верхний пределы измерений.

ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

это характеристики свойств СИ, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений – *точностные характеристики средств измерений*

По ГОСТ 8.009 – 84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» предусмотрена следующая **номенклатура метрологических характеристик МХ**:

1. **Характеристики, предназначенные для определения результатов измерений** (без введения поправки):

- функция преобразования измерительного преобразователя -
- значение однозначной или многозначной меры –
- цена деления шкалы
- вид входного кода – для выдачи результатов в цифровом коде.

2. **Характеристики погрешностей СИ включают:** значение погрешности, ее систематические и случайные составляющие, погрешности случайной составляющей от Гистерезиса (вариация H выходного сигнала).

3. **Характеристики чувствительности средств измерений к влияющим величинам выбираются из числа следующих:**

- функция влияния;
 - изменение значений метрологических характеристик СИ, вызванные изменением влияющих величин в установленных пределах.
4. **Динамические характеристики СИ** – отражают инерционные свойства СИ при воздействии на него меняющихся во времени величин – параметров входного сигнала, внешних влияющих величин, нагрузки.

Нормы на отдельные МХ приводятся в эксплуатационной документации в виде номинальных значений.

Метрологические характеристики СИ задаются **для нормальных и рабочих условий, регламентируемых ГОСТ 8.051 – 81.**

ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Основная нормируемая МХ - ПОГРЕШНОСТЬ СИ – разность между показанием СИ и действительным значением измеряемой величины.

Классификация погрешностей.

1. **Систематическая составляющая погрешность СИ** – составляющая погрешность СИ, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся.

Причиной систематической составляющей погрешности может быть неточность изготовления деталей измерительной цепи в пределах допусков, установленных чертежами, теоретическая погрешность схемы прибора (\sin - tg механизм), неуравновешенность некоторых частей упругие деформации деталей прибора.

Как правило, систематическая составляющая либо мала, либо ее учитывают, вводя в показания прибора соответствующую поправку.

2. **Случайная погрешность СИ** – составляющая погрешности СИ, изменяющаяся случайным образом.

Причиной случайной составляющей погрешности может быть трение между механическими звеньями передаточного механизма, нестабильность работы упругих элементов, колебания параметров электропитания, измерительного усилия и др.

3. **Абсолютная погрешность СИ** – погрешность СИ, выраженная в единицах измеряемой величины.

4. **Относительная погрешность СИ** – погрешность СИ, выраженная отношением абсолютной погрешности СИ к результату измерений или к действительному значению измеренной физической величины.

Приведенная погрешность – отношение абсолютной погрешности к нормированному значению X_N :

$$g_x = \frac{\Delta_x}{x_N} \cdot 100\% .$$

За значение X_N обычно принимают верхний предел средства измерения.

Приведенная погрешность используется для установления класса средства измерений.

Класс точности средства измерения – характеристика СИ, определяемая пределами допускаемых погрешностей. Классы точности средств измерений указываются в документации и обычно обозначаются на самых измерительных приборах (циферблатах, щитках, корпусах) прописными буквами латинского алфавита либо римскими цифрами.

5. Статическая погрешность СИ – погрешности, которые возникают при измерении постоянных величин

6. Динамическая погрешность СИ – разность между погрешностями СИ в динамическом режиме и его статической погрешностью.

Все погрешности в зависимости от внешних условий делятся на основные и дополнительные.

Условия измерения – совокупность **влияющих величин**, описывающих состояние окружающей среды и СИ.

Влияющая величина – это физическая величина ФВ, не измеряемая данным СИ, но оказывающая влияние на его результаты.

В соответствии с установленными для конкретных ситуаций диапазонами значений влияющих величин различают **нормальные, рабочие и предельные** условия измерений.

Нормальные условия измерений – это условия, при которых влияющие величины имеют нормальные значения (т.е. область значений, в пределах которой изменением результата измерений можно пренебречь). **Нормальные условия измерений** задаются в Н-Т документации на СИ.

7. Основная погрешность СИ – погрешность СИ, определяемая в нормальных условиях см ГОСТ 8.050-73 ГСИ Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений.

Рабочими называются **условия измерений**, при которых влияющие величины находятся в пределах своих рабочих областей.

В пределах **рабочей области** нормируется **дополнительная погрешность СИ**.

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

Предельные условия измерений – условия, характеризуемые экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые СИ может выдержать без разрушений и ухудшения его МХ.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Классификация погрешностей измерения

Практически каждое измерение имеет погрешность вследствие погрешностей, присущих средству измерений, выбранному методу и методике измерений, отличия внешних условий, в которых выполняется измерение.

Эта погрешность вычисляется или оценивается и приписывается полученному результату.

Погрешность результата измерений (кратко – погрешность измерений) – это разница между результатом измерения $X_{\text{изм}}$ и истинным (действительным) значением $X_{\text{д}}$ измеряемой величины.

$$\Delta X = X_{\text{изм}} - X_{\text{д}},$$

Она указывает границы **неопределенности** значений измеряемой величины.

Погрешность СИ – разность между показанием СИ и действительным значением измеряемой ФВ. Она характеризует точность результатов измерений, проводимых данным средством.

Эти два понятия близки, и классифицируются по одинаковым признакам.

Пределы допускаемых погрешностей измерений регламентируют ГОСТ 8.051 – 81 ГСИ «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм» и ГОСТ 8.549 – 86

Погрешности измерений могут быть классифицированы по различным признакам.

1. По размерности (способу выражения):

Абсолютная п.и. - погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины

$$D_x = x_{\text{изм}} - x_{\text{ист.}} \approx x_{\text{изм}} - x_{\text{действ.}}$$

Относительная п.и. - – отношение абсолютной погрешности измерения к действительному (измеренному) значению измеряемой величины и выраженное в %:

$$\delta = \frac{\Delta_x}{x_{\text{изм}}} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta_x}{x_{\text{действ.}}} \cdot 100\%.$$

Абсолютная и относительная погрешности используются для выбора измерительных приборов.

2. По закономерности (характеру) проявления:

Систематическая погрешность - составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной для данного ряда измерений или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Изменяющиеся систематические погрешности могут быть скорректированы введением поправки лишь в данный момент времени.

Случайная погрешность - составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Выявить величину случайной погрешности можно только на основе проведения многократных измерений и обработки результатов на основе правил теории вероятности.

Их нельзя исключить из результатов измерений путем введения поправки, однако их можно существенно уменьшить путем увеличения числа наблюдений.

К случайным погрешностям относят *грубые погрешности и промахи.*

Грубые погрешности – имеют место в том случае, если среди результатов измерений есть выделяющиеся результаты.

Для исключения из результатов измерений грубых погрешностей необходимо проделать соответствующие статистические обоснования.

Промахи – резко выделяющиеся результаты измерений. **Промахи исключаются из результатов измерений.**

3. По условиям изменения измеряемой величины:

статическая (погрешность результата измерения, обусловленная условиями статического измерения)

динамическая (возникает, если на результат измерения оказывает влияние скорость изменения измеряемой величины).

4. По источнику (месту) возникновения:

- погрешности метода;
- инструментальные погрешности;
- погрешности условий;
- субъективные погрешности.

5. По влиянию внешних условий: основная; дополнительная.

Международная концепция представления результатов измерений

Разделение погрешности измерения на случайную и систематическую и построенные на таком разделении методы ее описания стали подвергаться определенной критике.

Обработка результатов измерений во всех странах проводится с использованием аппарата теории вероятностей и математической статистики. Практически везде погрешности разделяются на случайные и систематические. Однако модели погрешностей, значения доверительных вероятностей и формирование доверительных интервалов в разных странах мира отличаются друг от друга. Это приводит к определенным трудностям при сличении результатов измерений, полученных в лабораториях разных стран.

Для устранения этих сложностей Международным бюро мер и весов (МБМВ), и другими международными организациями (МОЗМ), (ИСО) и (МЭК) – был разработан документ, содержащий новую концепцию описания результатов измерений.

Основными положениями документа являются:

- отказ от использования понятий истинное и действительное значения измеряемой величины, погрешность, относительная погрешность, точность измерения, случайная и систематическая погрешности;
- введение нового термина «неопределенность» - параметра, связанного с результатом измерения и характеризующего дисперсию значений, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине;
- разделение составляющих неопределенности на два типа: А и В.

Неопределенности типа А могут быть оценены статистическими методами на основе многократных измерений и описываются традиционными характеристиками центрированных случайных величин – дисперсией или средним квадратическим отклонением (СКО). Взаимодействие неопределенностей типа А описывается взаимным корреляционным моментом или коэффициентом взаимной корреляции.

Неопределенности типа В могут быть оценены любыми другими методами, кроме статистических. Они должны описываться величинами, аналогичными дисперсии или СКО, так как именно эти характеристики можно использовать для объединения неопределенностей типа В как между собой, так и с неопределенностями типа А.

Эти нововведения должны быть, по мнению МБМВ, распространены на практическую деятельность метрологов. Единое мнение метрологов России на этот документ к настоящему времени еще не сформировано. Рассмотренные рекомендации не вошли в нормативные документы метрологических органов России. Тем не менее многие из метрологов склоняются к мнению, что понятие «неопределенность измерения» надо вводить в практику, но не вместо понятия «погрешность», а наряду с ним.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

Погрешность измерения можно представить в виде следующих составляющих

$$\Delta_{изм} \supset \Delta_M + \Delta_{ИП} + \Delta_Y + \Delta_C = \Delta_M + (\Delta_{осн} + \Delta_{доп})_{ИП} + \Delta_Y + \Delta_C = \Delta_M + \Delta_{ИП} + \Delta_C$$

где: Δ_M – метода; $\Delta_{ИП}$ – измерительного прибора; Δ_Y – воздействия внешней среды; Δ_C – субъективная.

1. Погрешность метода измерений

Погрешность метода измерений может возникнуть из-за несовершенства метода измерений или допущенных его **упрощений**, установленных методикой измерений.

Следовательно, *Методическая погрешность* измерения обусловлена:

- отличием принятой модели объекта измерения от модели, адекватно описывающей его свойства;
- влиянием способов применения СИ;
- влиянием алгоритмов (формул), по которым производятся вычисления результатов измерений и др.

Отличительной особенностью методических погрешностей является то, что они не могут быть указаны в нормативно-технической документации на используемое СИ, а должны определяться оператором в каждом конкретном случае.

Выбор и обоснование метода измерения

Для линейных измерений наибольшее распространение получили **прямые методы измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.**

1. Чаще используется **метод непосредственной оценки**, при котором измеряемую величину определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного приспособления.

Если измерение прямое и используется метод непосредственной оценки, то **погрешность метода принимается равной нулю.**

2. При **точных измерениях** применяют **метод сравнения с мерой**, для которого характерно наличие высокоточной меры или эталона.

Погрешность этого метода определяется погрешностью используемой меры (эталона),

При **прямом измерении методом сравнения с мерой** $x = (m \pm n)$ погрешность метода можно оценить по формуле погрешности косвенного измерения:

$$\Delta_x^M = \sqrt{(1 \cdot \Delta m)^2 + (1 \cdot \Delta n)^2}.$$

где **m** – размер меры; **n** – разность между мерой и размером; **x** – единица физической величины.

3. Если рассмотренные методы не позволяют решить измерительную задачу, прибегают к **косвенным методам**, при которых искомое значение величины **y** находят на основании известной зависимости между **y** и величинами x_1, x_2, \dots, x_i , подвергаемыми прямым измерениям. $y = f(x_1, x_2, \dots, x_i)$

Погрешность метода при косвенном измерении $\Delta_M \neq 0$ и рассчитывается по формуле:

$$\Delta_M = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2},$$

где Δx_i - погрешность прямого измерения i -го параметра.

$$\Delta_M = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \Delta x_1^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \Delta x_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \Delta x_n^2}.$$

4. Наиболее сложно определить погрешность метода при измерении отклонений формы и расположения поверхностей. Это связано с тем, что нормирование допусков формы и расположения поверхностей детали осуществляется относительно прилегающих поверхностей. Следовательно, измерение соответствующих отклонений формы и расположений также должно осуществляться от прилегающих поверхностей.

Поэтому возникает необходимость в материализации прилегающих поверхностей. Материализацию прилегающих поверхностей обычно осуществляют за счет контрольных оправок, поверочных линеек, мерных прокладок, лекальных линеек и т.п.

Однако на практике часто прилегающую поверхность материализуют за счет реальной поверхности. В этом случае обязательно необходимо учитывать погрешность метода, связанную с погрешностью формы этой реальной поверхности.

Погрешность метода рассчитывается по формуле:

$$\Delta_M = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i\right)^2},$$

где Δx_i - погрешность прямого измерения i -го параметра.

ПРИМЕР

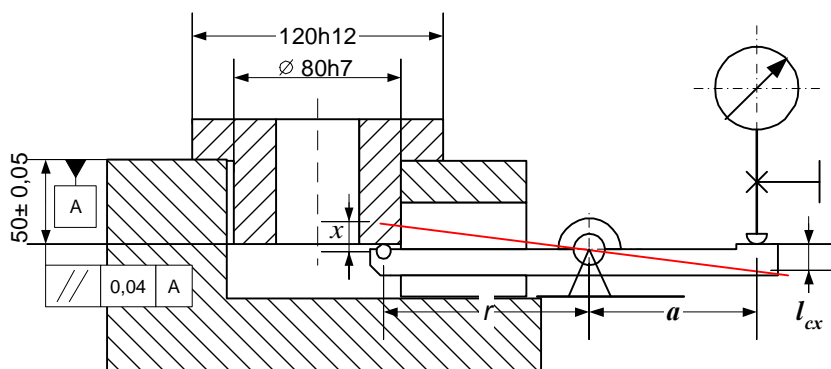
Погрешность метода: $\Delta_M = \sqrt{\left(\delta_2 \frac{L}{l_{осн}}\right)^2 + 0,3\delta_3^2} = \sqrt{\left(2,5 \frac{80}{120}\right)^2 + 0,3 \cdot 2^2} = 2 \text{ мкм},$

где $L = 80 \text{ мм}$ – протяженность отсчетной плоскости,

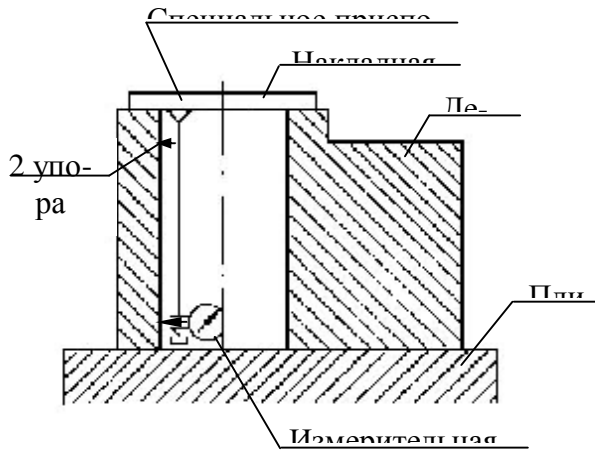
$l_{осн} = 120 \text{ мм}$ – протяженность базовой плоскости,

$\delta_2 = 2,5 \text{ мкм}$ – допуск на неплоскостность базовой плоскости,

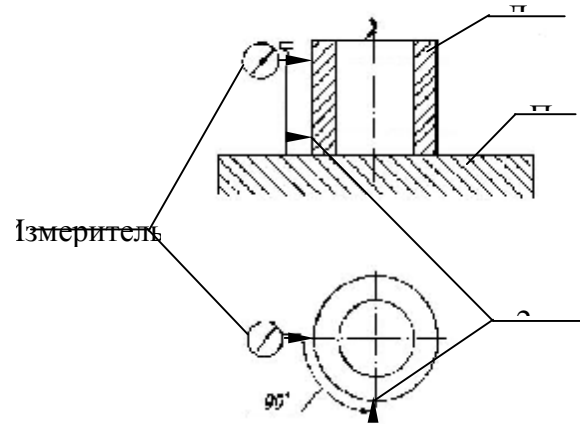
$\delta_3 = 2 \text{ мкм}$ – допуск на неплоскостность отсчетной плоскости.



$$4. \quad \Delta_m = \sqrt{2\Delta_1^2 + 2\delta_{некрі,k}^2 + m \left(\delta_2 \frac{L}{d_T} \right)^2}$$



$$5. \quad \Delta_m = \sqrt{\Delta_1^2 + \delta_{некрі,k}^2}$$



2. Погрешность измерительного приспособления

Погрешность измерительного приспособления возникает из-за:

- несовершенства схемы измерительного приспособления,
- неточности изготовления и сборки,
- неточности элементов базирования и крепления детали,
- непропорциональности перемещения звеньев из-за наличия зазоров в опорах,
- температурных и силовых деформаций элементов прибора и измеряемой детали,
- неточности отсчета, связанной, в частности, с параллаксом,
- неточности используемого измерительного преобразователя и др.

В общем виде результирующую погрешность измерительного приспособления можно представить следующим образом

$$\Delta_{ипп} \supset \Delta_{сх} + \Delta_T + \Delta_{э} + \Delta_o + \Delta_{п},$$

где $\Delta_{сх}$ - погрешность схемы измерительного приспособления (теоретическая погрешность); Δ_T - технологическая погрешность; $\Delta_{э}$ - эксплуатационная погрешность; Δ_o - погрешность отсчета; $\Delta_{п}$ - погрешность СИ (измерительной головки).

2.1. Погрешность схемы измерительного приспособления

Погрешность схемы (или теоретическая погрешность) возникает на стадии проектирования приспособления при упрощения его идеальной схемы, точно осуществляющей заданное движение. Это приводит к применению схемы приспособления, лишь приближенно осуществляющей требуемый закон передачи движения, вследствие чего возникает «теоретическая» ошибка механизма, называемая погрешностью схемы.

Погрешность схемы измерительного приспособления

Погрешность схемы рассчитывается как разность между характеристикой приспособления (функцией преобразования), обусловленной его схемой $l_{сх}(x_i, r_i)$ и требуемой (желаемой) характеристикой (функцией преобразования), выражающая закон построения шкалы $l_o(x)$:

$$D_{сх} = l_{сх}(x_i, r_i) - l_o(x),$$

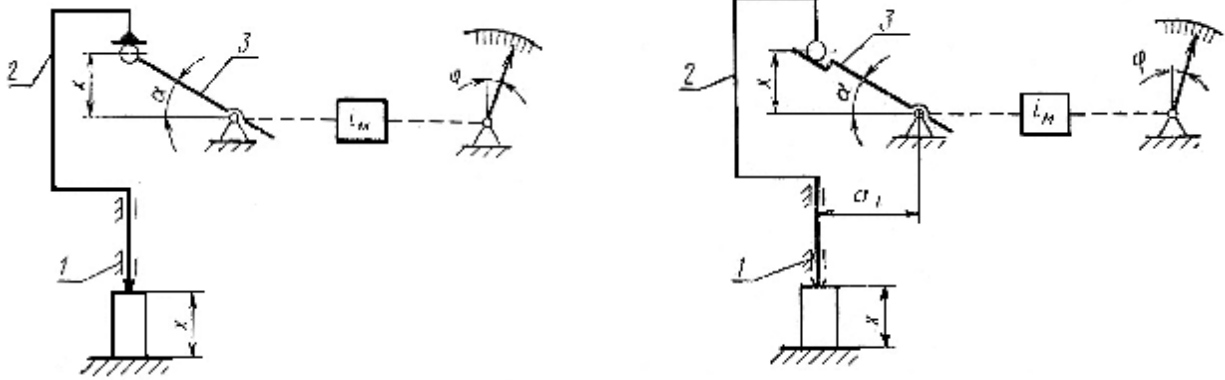
где: r_i – параметры механизма, это геометрические величины, определяющие размеры и взаимное положение отдельных элементов;

$$l_o = kx = \frac{a}{r} x, \quad (k - \text{передаточное отношение прибора}).$$

Связь измерительных приборов с контролируемой поверхностью осуществляется, как правило, с помощью прямой или рычажной передачи.

Синусный механизм получается при плоской поверхности контакта поступательно движущего элемента (если сфера расположена на поворотном рычаге)

Основная зависимость - $x = r \sin \alpha$.



Тангенсный - при сферической его поверхности контакта поступательно движущего элемента (если поворотное звено имеет плоскости).

Основная зависимость - $x = a_1 \operatorname{tg} \alpha$,

Пример. - для sin-tg рычага,

Исходя из схемы величина входного сигнала:

$$x = r \sin \alpha, \quad \sin \alpha = x/r; \quad lcx = a \cdot \operatorname{tg} \alpha = a \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = a \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}.$$

$$lcx = a \frac{x}{r \sqrt{1 - \frac{x^2}{r^2}}} = a \frac{x}{\sqrt{r^2 - x^2}}, \quad l_o = \frac{a}{r} x,$$

$$\Delta_{cx} = lcx - l_o = \frac{a \cdot x}{\sqrt{r^2 - x^2}} - \frac{a \cdot x}{r} = \frac{50 \cdot 2}{\sqrt{50^2 - 2^2}} - \frac{50 \cdot 2}{50} = 0,0016 \text{ мм} = 1,6 \text{ мкм}$$

Погрешность схемы, рассчитанная по полученной формуле, например, при исходных данных: $r = a = 50 \text{ мм}$; $0 \leq x \leq 2 \text{ мм}$ составляет около $1,6 \text{ мм}$.

2.2. Погрешность технологическая

Технологическая погрешность возникает на стадии изготовления прибора. Источники этой погрешности – **неточность изготовления и сборки самого средства измерения.**

В первом приближении технологическую погрешность ($\Delta_{\text{тех}}$) можно рассчитать по формуле:

$$\Delta_{\text{mex}} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial l_{cx}}{\partial r_i} \Delta r_i, \quad \Delta_T = \frac{\partial l_{cx}}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial l_{cx}}{\partial r} \Delta r$$

где l_{cx} – функция преобразования, обусловленная схемой; r_i – номинальные размеры деталей измерительного приспособления; Δr_i – погрешность изготовления или сборки деталей, входящих в измерительную цепь.

На длину плеч r рычагов устанавливают допуск $\pm (0,05-0,1) \text{ мм}$ или по качеству IT 10...14: $r = \pm 0,05 \text{ мм}$, $a = \pm 0,1 \text{ мм}$,

Пример. Оценим технологическую погрешность средства измерения.

$$l_{cx} = \frac{ax}{\sqrt{r^2 - x^2}}, \text{ при расчетах примем } \Delta a = 0,1 \text{ мм}, \text{ а } \Delta r = 0,05 \text{ мм}.$$

$$\frac{\partial l_{cx}}{\partial r} = \left[ax(r^2 - x^2)^{-\frac{1}{2}} \right]' = -\frac{1}{2} ax(r^2 - x^2)^{-\frac{3}{2}} \cdot 2r.$$

$$\begin{aligned} \Delta_T &= \frac{\partial l_{cx}}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial l_{cx}}{\partial r} \Delta r = \frac{x}{\sqrt{r^2 - x^2}} \Delta a + \left[-\frac{1}{2} ax \cdot 2r(r^2 - x^2)^{-\frac{3}{2}} \right] \Delta r = \\ &= \frac{2}{\sqrt{50^2 - 2^2}} 0,1 + \left[50 \cdot 2 \cdot 50(50^2 - 2^2)^{-\frac{3}{2}} \right] \cdot 0,5 = 0,004 - 0,002 = 0,002 \text{ мм} = 2 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

2.3. Эксплуатационная погрешность

Эксплуатационная погрешность возникает в результате эксплуатации измерительного прибора. Источниками появления поэлементных эксплуатационных погрешностей могут быть:

- **отличие условий эксплуатации от нормальных** – непостоянство температурного режима (температуры помещений, приспособления, деталей), влажности, атмосферного давления, наличие загрязнений и др.;

- **силовые деформации:**

1. вызывающие упругие перемещения,
2. контактные деформации, зависящие от измерительного усилия, шероховатости контролируемой поверхности, формы чувствительного элемента прибора и формы детали
3. и перемещения в пределах зазоров, непостоянство измерительного усилия во времени, упругого последствия, непостоянства сил трения и т. д.

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_t + \Delta_s + \Delta_{упр} + \Delta_k$$

2.3.1. Погрешность от температурных деформаций при известном температурном режиме θ_t

$$\Delta l_t = 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot l \cdot \theta_t.$$

где l – измеряемый размер (длина нормируемого участка или соответствующий номинальный размер); **температурный режим измерения**, т.е. допустимой разности температур (θ_t °С) объекта измерения и измерительного средства:

$$\theta_t = \sqrt{\left[\Delta t_1 \frac{(\alpha_{cu} - \alpha_d)_{\max}}{11,6 \cdot 10^{-6}} \right]^2 + \left(\Delta t_2 \frac{\alpha_{\max}}{11,6 \cdot 10^{-6}} \right)^2},$$

Δt_1 – отклонение температуры воздуха от 20 °С; Δt_2 – кратковременные колебания температуры воздуха в процессе измерения, α_d, α_{cu} – коэффициенты линейного расширения соответственно измеряемой детали и средства измерений; где $(\alpha_{cu} - \alpha_d)_{\max}$ – максимально возможная разность значений коэффициентов линейного расширения материалов элементов прибора (средства измерения) и детали; α_{\max} – максимальное значение коэффициента линейного расширения материала средства измерений или измеряемой детали;

При использовании данной формулы могут быть приняты ориентировочные рекомендации по величинам периода колебаний температур: при использовании СИ небольших размеров можно рассматривать колебания в течение 15-30 мин; приборами средних габаритных размеров – в течение 1 ч; приборами больших габаритных размеров – в течение 6 ч.

2.3.2. Погрешность от силовых деформаций

Для надежного замыкания размерной измерительной цепи необходимо вводить устройство, создающее усилие в цепи. Это усилие называется **измерительным усилием**.

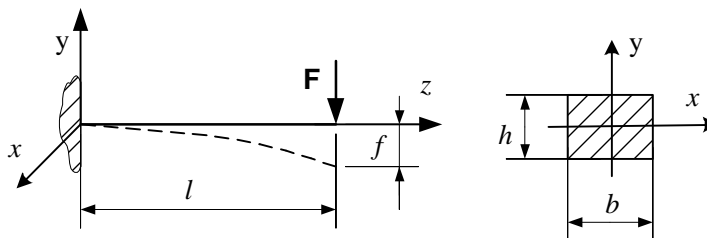
Непостоянство измерительного усилия приводит к возникновению следующих погрешностей:

1. погрешность от упругих перемещений элементов измерительного прибора и от упругих деформаций элементов поверхностей измеряемых деталей;
2. погрешность от контактных деформаций;
3. погрешность от перемещений в пределах зазоров.

1. Погрешность от упругих перемещений.

Измерительное усилие, приложенное к измеряемой детали, расположенной консольно или на двух опорах, а также к детали из мягкого материала или тонкостенной, **может вызвать прогиб детали**.

Величина погрешности измерений при этом равна значению деформации элемента прибора или детали под действием нагрузки и определяется по формулам сопротивления материала.



$$\Delta_{\text{упр}} = f = \frac{Fl^3}{3EJ_x},$$

где $E_{\text{стали}} = 2 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости, $J_x = bh^3/12$ – момент инерции прямоугольника. $J_x = 0,05d^4$ – момент инерции круга, [$b = 15$ мм, 20 мм; $h = 30, 16$ мм, $F = 2 \dots 4$ Н, $l = 50$ мм].

При многих измерениях используют вспомогательные элементы (штативы, стойки и др.), входящие в измерительную размерную цепь. При их недостаточной жесткости, особенно при измерении отклонений формы, может возникнуть погрешность измерения. В ГОСТ 10197 – 70 на стойки и штативы нормируются допускаемые значения их прогибов.

2. Погрешность от контактных деформаций.

При расчете учитывают **максимальное измерительное усилие**, материал, форму и состояние поверхности измерительного наконечника и объекта измерения. Значение возникающей деформации может быть рассчитано по известным в сопротивлении материала формулам Герца.

Контактные деформации для случая измерений плоских стальных деталей сферическим наконечником могут быть определены по формуле

$$\Delta_k = 0,43 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{r}},$$

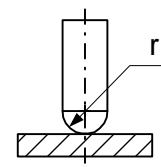
где D_k – величина контактной деформации, мкм;

P – измерительное усилие, Н;

r – радиус наконечника, мм;

k – коэффициент, зависящий от материала измерительного наконечника:

для наконечника из стали $k = 1$; из корунда $k = 0,86$ (МИГ).; из твердого сплава $k = 0,81$ (ИЧТ).



3. Погрешностей от перемещений в пределах зазоров

При использовании в передаточном механизме рычажной передачи необходимо учесть влияние зазоров в опоре рычага.

Для уменьшения погрешностей от перемещений в пределах зазоров при разработке измерительного приспособления следует располагать центры сфер и центр опоры на одной прямой, т.е. соблюдать правило теоретического рычага. Отверстия в рычагах выполняют с допуском по IT 7.

$$\Delta_s = \frac{\partial l_{cx}}{\partial a} \cdot \Delta a = \frac{x}{\sqrt{r^2 - x_2}} \cdot \Delta a, \quad \Delta a = S \max / 2, \quad S_{\max} = ES - ei.$$

Установку двулучевого рычага в измерительном приспособлении можно осуществить по 2-м вариантам:

1. Ось соединить неподвижно с рычагом, а поворот рычага обеспечить за счет зазора между осью и отверстиями корпуса (рис.1);
2. Ось неподвижна в корпусе, а поворот осуществить за счет зазора между осью и отверстием рычага (рис.2).

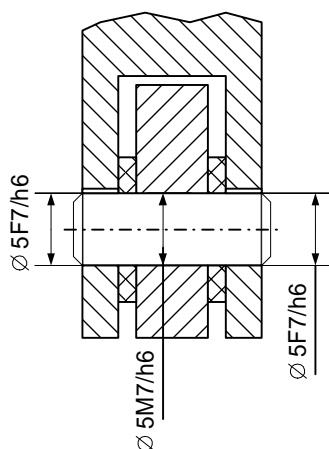


Рис.1. можно назначить посадки: G7/h6, N7/h6.

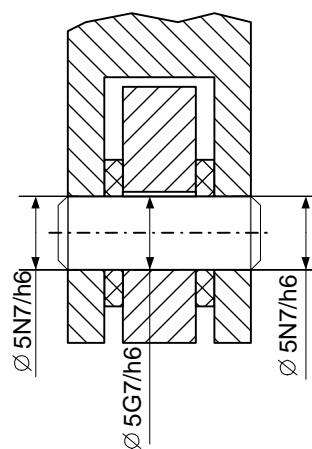
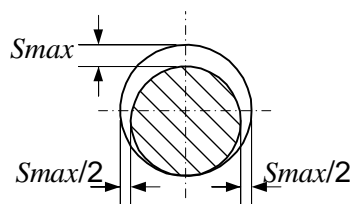


Рис.2.

Перемещение рычага в пределах зазора вызовет изменение расстояния в пределах:

$$a - S_{\max}/2 \leq a \leq a + S_{\max}/2, \text{ или}$$

$$a - 0,015 \leq a \leq a + 0,015$$



ПРИМЕР.

При использовании **sin-tg** рычага ($a = r = 50 \text{ мм}$) поворот рычага обеспечивается за счет за-

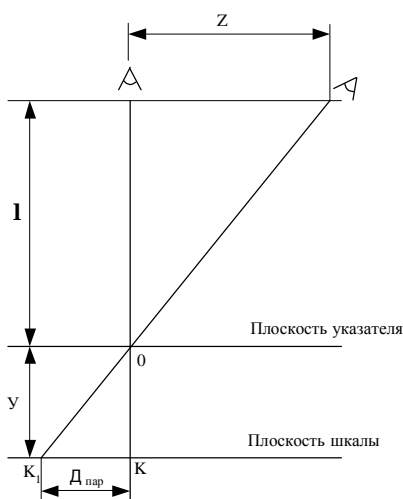
зора между осью и отверстием корпуса в соответствии с посадкой $\text{Ø}5 \frac{F7}{h6} = \text{Ø}5 \begin{pmatrix} 0,022 \\ 0,010 \\ 0 \\ -0,008 \end{pmatrix}$ Наи-

больший зазор $S_{\max} = ES - ei = 0,022 - (-0,008) = 0,03 \text{ мм}$.

$$\Delta_s = \frac{\partial l_{cx}}{\partial a} \cdot \Delta a = \frac{x}{\sqrt{r^2 - x_2}} \cdot \Delta a = \frac{2}{\sqrt{50^2 - 2^2}} \cdot 0,015 = 0,0006 \text{ мм} = 0,6 \text{ мкм}, \text{ где } \Delta a = S \max / 2.$$

2.4. Погрешностью отсчета является погрешность от влияния параллакса.

Погрешность от параллакса – это составляющая погрешности отсчета, возникающая вследствие визирования стрелки, расположенной на некотором расстоянии от поверхности шкалы, в направлении, перпендикулярном поверхности шкалы.



Вследствие смещения глаза наблюдателя на расстояние z наблюдатель совмещает указатель 0 не со штрихом К, а со штрихом K_1 (рис. 3).

Возникающая при этом погрешность $D_{пар}$ (мм) от параллакса может быть определена из соотношения:

$$\frac{\Delta_{пар}}{z} = \frac{y}{l}, \text{ отсюда } \Delta_{пар} = \frac{y \cdot z}{l},$$

где $y = 2$ мм - расстояние между плоскостями шкалы и указателя (стрелки);

$z = 30$ мм – смещение глаза наблюдателя в плоскости, параллельной шкале;

$l = 250$ мм – расстояние от глаза наблюдателя до указателя.

Полученное значение $\Delta_{пар}$ пересчитаем в мкм в зависимости от интервала деления и цены деления шкалы.

Учитывая, что для 2МИГ: цена деления $c = 0,002$ мм; число делений шкалы $n = 200$; диаметр шкалы $D = 70$ мм, найдем длину деления шкалы:

$$a = \frac{\pi \cdot D}{n} = \frac{3,14 \cdot 70}{200} = 1,1 \text{ мм} \quad \Delta_o = \Delta_{пар} = \frac{\Delta_{пар} \cdot c}{a} = \frac{0,2 \cdot 2}{1,1} = 0,36 \text{ мкм}$$

3. ПОГРЕШНОСТЬ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

В конструкциях измерительных приспособлений для измерения линейных и угловых величин чаще всего используют стандартные измерительные преобразователи – головки и индикаторы (ИЧ, МИГ, ИГ, ИГМ и т.д.). Погрешности этих преобразователей приводятся в паспортных данных, справочниках и т.д.

4. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ, ЗАВИСЯЩИЕ ОТ СУБЪЕКТИВНЫХ ФАКТОРОВ

Данные погрешности возникают от участия в процессе измерений или при его подготовке оператора, т.е. субъекта. Они вызываются состоянием оператора, его положением во время работы, несовершенством органов чувств, эргономическими свойствами СИ.

СУММАРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Расчетная суммарная погрешность измерения определяется путем суммирования ее составляющих.

Выбор способа суммирования погрешностей (складывать алгебраически или геометрически, т.е. квадратическое суммирование) зависит от степени коррелированности составляющих.

Если коррелированы – то погрешности складывают алгебраически.

Если не коррелированы – то погрешности складывают квадратически.

Способ суммирования определяется логически: если среди причин, вызывающих погрешности измерения, есть общие причины, то с большей вероятностью можно предположить об их взаимной корреляции (например, технологические погрешности, обусловленные неточностью изготовления размеров передаточных звеньев), когда тесные корреляционные связи просматриваются логически.

Погрешности же, между которыми такие взаимосвязи не обнаруживаются, относятся к независимым.

ПОГРЕШНОСТЬ	ПРИЧИНА
Δ_M	несовершенство метода
$\Delta_{сх}$	вид передаточного механизма
$\Delta_{техн}$	неточность изготовления рычагов и сборки
Δ_t	
Δ_s	
$\Delta_{упр}$	измерительное усилие, вид контакта, материал
Δ_k	
$\Delta_{си}$	погрешность измерительной головки
$\Delta_{суб}$	

Результирующую погрешность измерения $\Delta_{изм}$ следует сравнить с допустимой $\delta_{изм}$.

При выполнении неравенства $\Delta_{изм} \leq \delta_{изм}$ спроектированное измерительное приспособление обеспечивает получение результата измерения с погрешностью не более допустимой.

Если $\Delta_{изм} > \delta_{изм}$, то необходимо уточнить составляющие погрешности. Если уточнение не приводит к желаемому результату, следует усилить ограничения на колебание значений влияющих величин, разработать новый метод или спроектировать новое измерительное приспособление.

Сравнение результирующей погрешности измерения с допускаемой нужно проводить до тех пор, пока не будет $\Delta_{изм} \leq \delta_{изм}$

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

1. Структура измерительных приборов

Прибор – это средство, служащее для выполнения функций измерения, контроля, регулирования, управления и т.п. Различают универсальные СИ и специальные СИ.

Универсальными называются средства, предназначенные для измерений длин и углов вне зависимости от конфигурации измеряемой детали.

Специальными называются средства, предназначенные для измерений элементов деталей определённой формы (элементы резьбы, зубчатых колёс и т.д.) или специальных параметров деталей вне зависимости от ее геометрической формы (шероховатости, отклонения формы, расположения поверхности и т. д.).

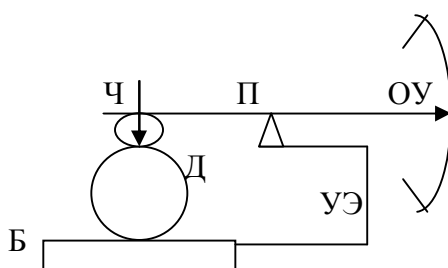
Основные требования, предъявляемые к измерительным приспособлениям, определяются необходимостью получения высокой точности и пропускной способности приспособлений, а также простотой конструкций, дешевизной и удобством их изготовления и эксплуатации.

Конструкции проектируемых ИП зависят от конструктивных особенностей проверяемой детали, вида конструктивной базы и способов базирования.

Наиболее сложные приборы состоят из следующих основных частей:

- 1. базирующее устройство,
- 2. измерительная цепь, в которую могут входить:
 - чувствительный элемент,
 - передающее устройство или ПП,
 - отсчетное устройство - измерительное средство.
- 3. вспомогательные элементы – устройства для крепления (зажимное устройство) и перемещения измеряемой детали и узлов приборов.

Во многих приборах часть структурных элементов отсутствует.



- | | | |
|---------------------------------------|---|----------------------------|
| 1. Б – базирующий элемент | } | УЭ - Установочные элементы |
| 2. Д – деталь | | |
| 3. Ч – чувствительный элемент | | |
| 4. П – преобразователь | | |
| 5. ОУ – отсчетное устройство | | |
| 6. <u>Вспомогательные элементы ИП</u> | | |

2. Проектирование ИП

Мы рассмотрели структуру измерительных приборов. Перейдем к вопросу проектирования контрольных приспособлений.

Проектирование любого приспособления **начинается с определения теоретической схемы базирования** детали, т.е. придания детали требуемого положения относительно принятой системы координат, которое осуществляется с помощью выбранных на объекте баз в виде принадлежащих ему поверхностей, осей, точек или их сочетаний.

Совокупность 3-х баз, образующих систему координат объекта, составляет комплект баз.

В этом случае на объект налагается 6 двусторонних геометрических связей, которые символизируются 6-ю опорными точками. Использование комплекта баз необходимо для обеспечения неподвижности объекта в выбранной системе координат.

Соответствующее число связей может сниматься, если при измерении детали достаточно определенное число степеней свободы, тогда при базировании используют 2 или 1 базу.

Последовательность разработки приспособления

1. Определение теоретической схемы базирования детали:

- выбор базы,
- схемы базирования,
- материализация координатных плоскостей исходными точками контакта или поверхностями объекта, используемыми в качестве баз.

Базы:

- **установочная** - лишает 3 степени свободы
- **направляющая** – лишает 2 степени свободы; *двойная направляющая* – 4 ст. св.
- **опорная** – лишает одну степень свободы; *двойная опорная* – 4 ст. св.

2. Разработка структурной схемы ИП

3. Выбор и обоснование параметра для расчета на точность
4. Определение допускаемой погрешности измерения
5. Расчет погрешности измерительного приспособления
6. Выводы

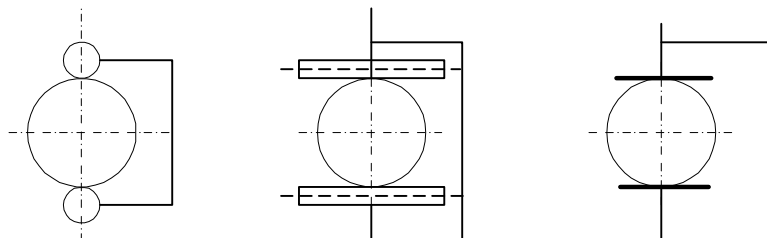
3. Схемы измерения

Поверхности базующих и чувствительных элементов (измерительные наконечники) могут быть: сферическими, цилиндрическими, плоскими. Следовательно, при измерении могут быть обеспечены три вида контакта чувствительных и базующих элементов: точечное, линейное и по плоскости. Точечный контакт обеспечивает наименьшую погрешность при измерении.

Итак для измерения размера нужно составить схему, чтобы:

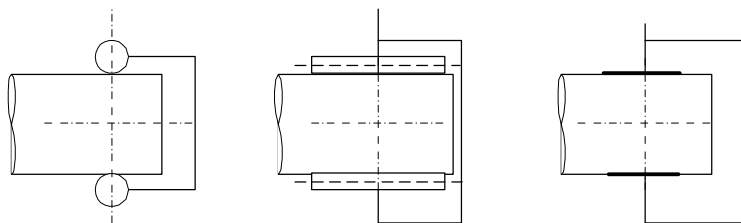
- контакт элементов прибора с деталью был точечным;
- линия действия должна располагаться вдоль размера.

1. Схемы измерения сфер



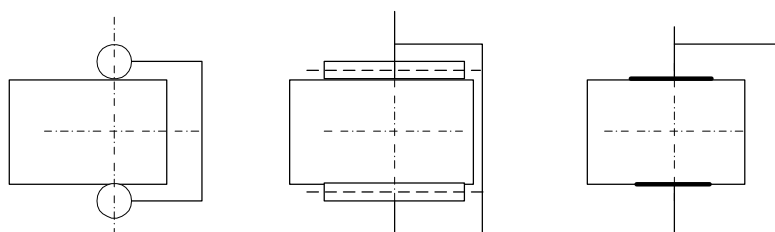
	S _x	S _y	S _z	φ _x	φ _y	φ _z
Сф-Сф	!	!	!!	+	+	+
Сф-Цил.	-	!	!!	+	+	+
Сф-Плоск.	-	-	!!	+	+	+

2. Схемы измерения цилиндрических деталей



	S_x	S_y	S_z	φ_x	φ_y	φ_z
Ц-Сф	+	!	!!	+	!	+
Ц-Ц	+	!	!!	+	!!	+
Ц-Пл	-	-	!!	+	!!	+

3. Схемы измерения плоских деталей



	S_x	S_y	S_z	φ_x	φ_y	φ_z
Пл-Сф	+	+	!!	!	!	-
Пл-Ц	-	-	!!	!	!	-
Пл-Пл	-	-	!!	!	!	-

ВЫВОДЫ

1. Выбор схемы измерения и контроля осуществляется по той схеме, где меньше всего восклицательных знаков «!».
2. «!» - говорит о том, что эта степень свободы дает погрешность (необх. лишить эту ст. свободы).
3. «!!» - смещение вдоль измеряемого размера **опасно**, т.е. надо обязательно лишать деталь степени свободы по z (поворота вокруг y – см. рис.).
4. «+» - необходимо обеспечить свободу перемещения (поворот вокруг измеряемого размера всегда безразличен).
5. «-» - лишение данной степени свободы не влияет на результат измерения.

1. Базирующие элементы измерительных приборов - ИП

Правильность конструкции контрольного приспособления и точность его работы в значительной степени **предопределяются правильным выбором базы измерения**.

Базой измерения называются поверхности проверяемой детали, которыми она устанавливается на контрольном приспособлении относительно измерительного устройства.

Различают 2 основных вида базирующих поверхностей: базы конструктивные и технологические.

Конструктивной базой называется поверхность детали, которой она устанавливается в узле или механизме относительно других деталей.

Технологической базой называется поверхность детали, которой она устанавливается в станочном приспособлении относительно режущего инструмента.

Измерительные (контрольные) приспособления, предназначенные для промежуточного межоперационного контроля, должны использовать по возможности технологическую базу, которая была принята в соответствующем станочном приспособлении.

Измерительные (контрольные) приспособления, предназначенные для проверки окончательно обработанных деталей, должны использовать конструктивную базу, которая обеспечит правильность детали применительно к условиям ее работы в механизме.

Наиболее характерными формами поверхностей деталей, которые принимаются за базы измерения, являются плоские и цилиндрические (наружные и внутренние) поверхности.

Базирующие элементы ИП служат для установки измеряемой детали.

Ими могут быть:

1. Плоскости;
2. Внутренние и наружные призмы;
3. Контрольные оправки;
4. Центры;
5. Упоры, как правило, полусферические и т.д.

УСТАНОВКА ДЕТАЛЕЙ ПО ПЛОСКОСТИ – КОРПУСНЫЕ ДЕТАЛИ.

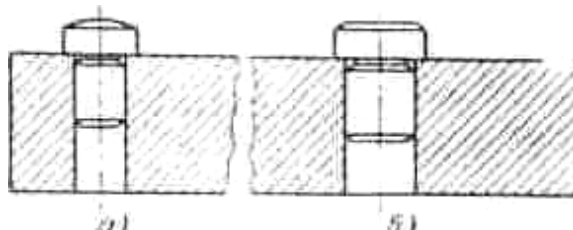
1. В установочных узлах ИП для установки корпусных деталей по измерительным базирующим поверхностям применяются **плоские опорные поверхности различных размеров.**

Погрешности установочной поверхности детали (неплоскостность и чистота обработки) могут быть значительными при использовании для установки **всей базовой поверхности детали.**

Следовательно, в конструкции ИП целесообразно сохранить для **базирования лишь три точки**, образующие опорный треугольник, в который должны быть вписаны и центр тяжести детали и проекции точек приложения усилия зажима.

2. Наиболее широкое распространение имеют опоры сферические и плоские.

Опоры со сферическими головками рекомендуются для установки деталей необработанными поверхностями, опоры с плоскими головками — для установки деталей обработанными поверхностями.



Материал – Сталь 20Х, У7А, Ст. 45. Калить - HRC 55...60, т.к. быстро изнашивается поверхность.

Цементировать 1,2...1,5. $Ra = 0,63...0,32\text{мкм}$. **Посадки: H7/n6; H7/r6**

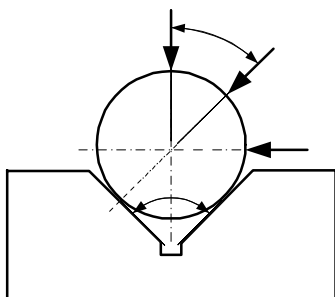
УСТАНОВКА ПО НАРУЖНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ - детали типа ВАЛОВ

1. В ИП для установки деталей этой группы наиболее часто применяют установочные узлы с призмами.

При использовании призмы в качестве установочного элемента следует учитывать, что изменение диаметра D цилиндрической базирующей поверхности детали в пределах допуска Δ дает определенную погрешность измерения.

Размер этой погрешности измерения зависит не только от допуска на диаметр базирующей поверхности детали, но от угла призмы α и от направления измерения β , т.е. от угла β между осью симметрии призмы и направлением измерения.

С точки зрения достижения наименьшей погрешности измерения целесообразно использование установочных призм с углом $\alpha=90^\circ$. Направление измерения, перпендикулярное к оси симметрии призмы ($\beta=90^\circ$), оказывается наилучшим при любом угле призмы.



Угол призмы α (град)	Погрешность при направлении измерения		
	$\beta = 0^\circ$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 90^\circ$
60°	$\delta = 1,5 \Delta$	$\delta = 1,2 \Delta$	$\delta = 0,5 \Delta$
90°	$\delta = 1,2 \Delta$	$\delta = \Delta$	
120°	$\delta = 1,1 \Delta$	$\delta = 0,9 \Delta$	

При значительной длине проверяемой детали следует применять или цельную прерывистую призму, или две самостоятельные узкие призмы.

2. В ИП кроме призм применяются комбинированные **установочно-зажимные устройства**, которые называются **самоцентрирующими**.

К **самоцентрирующим** относятся:

- **призматические и кулачковые центрирующие механизмы,**
- **кулачковые центрирующие устройства со скошенными эксцентрическими пазами и др.**

3. **Цанговые центрирующие устройства** находят весьма **ограниченное** применение в конструкциях контрольных приспособлений ввиду недостаточной точности их работы.

УСТАНОВКА ПО ЦИЛИНДРИЧЕСКОМУ ОТВЕРСТИЮ - детали типа ВТУЛОК

В качестве установочных узлов для деталей этой группы **используют гладкие (цилиндрические и конические), и разжимные оправки различных конструкций, оправки с разжимными кулачками и т.д.**

(У7, У8, HRC 56...61 или 15XH, 20, 20X, цемент. $h=0,8...1,2$ мкм; $Ra = 2,5...0,32$ мкм)

1. Наиболее просто установку по отверстию выполняют надеванием проверяемой детали на **гладкую цилиндрическую оправку**. В этом случае возникают наибольшие погрешности измерения за счет зазоров между отверстием детали и оправкой.

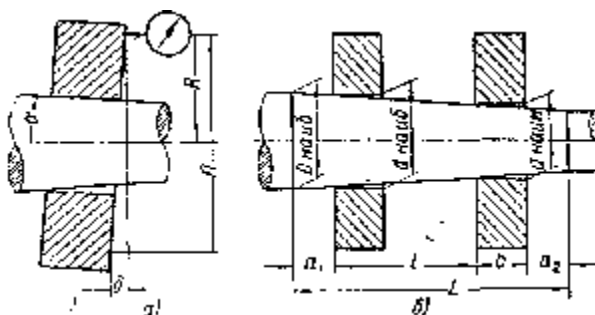
Диаметр оправки d выполняют равным диаметру проходного калибра $d(ИП) = (D_{\min} + Z) \pm H/2$

Величина зазора определяется предусмотренным гарантированным зазором, а также допусками на диаметры базирующего отверстия и установочной оправки.

$$S = D_{\min} (\text{отверстия}) - d_{\max} (\text{оправки})$$

Погрешность измерения при установке детали отверстием на цилиндрической оправке может быть существенно снижена за счет применения **набора гладких цилиндрических оправок**, различающихся между собой по диаметру на незначительные величины (порядка от 0,005 до 0,03 мм).

2. Широко применяют для базирования по цилиндрическим отверстиям **гладкие конические оправки**.



При установке детали отверстием на конической оправке возможна погрешность за счет перекоса детали — соприкосновения образующей ее отверстия по всей его длине с образующей оправки (фиг. 5, а). При этом следует различать две погрешности измерения: угловую и линейную.

Угловая погрешность измерения определяется лишь конусностью оправки. Длина базового отверстия не влияет на величину угловой погрешности.

Линейная погрешность d зависит и от конусности оправки, и от плеча измерения. Таким образом, погрешность измерения d будет определяться радиусом R , на котором производится измерение, и углом уклона α образующей оправки:

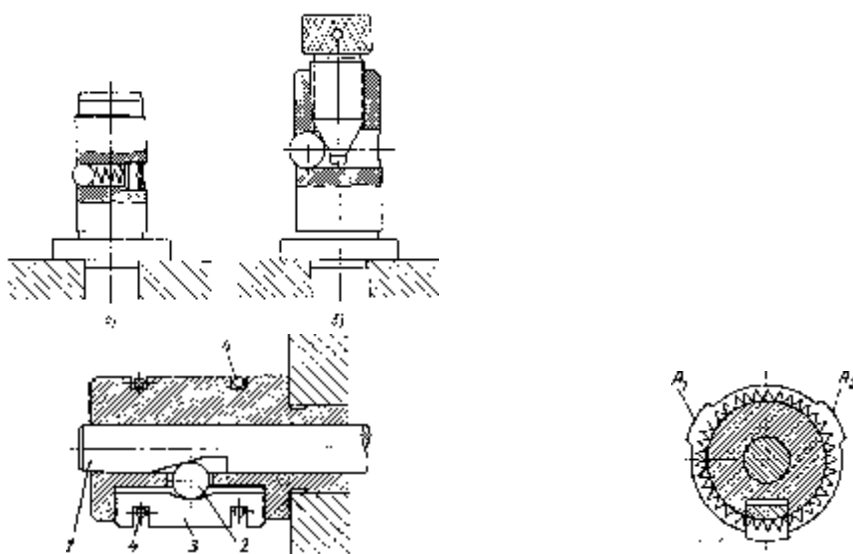
3. Установка по базовому отверстию часто выполняется с помощью **самоцентрирующих устройств**.

Простейшим видом самоустанавливающего устройства является **цилиндрический палец** (или оправка), зазор между которым и отверстием устраняется тем или иным способом.

Зазор между базовым отверстием детали и установочным пальцем, который должен быть не меньше $0,005—0,010$ мм, устраняется шариком, прижимаемым пружиной (рис. 3, а), или винтом, эксцентриком, пневматикой и т. п. (рис. 3, б).

Достоинством подобных установочных устройств является предельная конструктивная и эксплуатационная их простота.

Недостатком — нестабильность установки вследствие отклонений от геометрической формы базового отверстия (некруглость, конусность и т. п.), возможность повреждения поверхности базового отверстия при значительном давлении шарика или ненадежность центрирования при малом давлении.



2. ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

В качестве чувствительного элемента наибольшее распространение получили **измерительные наконечники**, выпускаемые по ГОСТ 11007-66 со **сферической, плоской и цилиндрической (ленточной) измерительной поверхностью**.

Большое значение имеет правильный **выбор поверхностей контакта между деталями и передаточными деталями**, а также между отдельными звеньями передаточных механизмов.

Можно рекомендовать следующие сочетания форм контактных поверхностей:

а) **при измерении плоских поверхностей** деталей измерительный наконечник должен иметь сферическую поверхность;

б) **при измерении сферических поверхностей** измерительный наконечник должен иметь плоскую поверхность;

в) **при измерении наружных цилиндрических поверхностей** измерительный наконечник должен иметь форму лезвия ножа (ленточного).

г) **при измерении внутренних цилиндрических поверхностей** – измерение сферическими наконечниками.

3. ЗАЖИМНЫЕ УСТРОЙСТВА

Назначением зажимного устройства в контрольном приспособлении является обеспечение надежности установки проверяемой детали относительно измерительного устройства.

Зажимы контрольных приспособлений должны быть гораздо более легкими, чтобы не вызывать деформаций проверяемых деталей.

В ряде случаев — при устойчивом базировании проверяемой детали на контрольном приспособлении и когда усилия, создаваемые измерительным устройством, не нарушают этой устойчивости положения детали, — вообще **отпадает надобность в зажимном устройстве**.

При проектировании контрольного приспособления рекомендуется пользоваться преимущественно быстродействующими **рычажными, эксцентриковыми, байонетными и пневматическими зажимами**.

Зажимные устройства, применяемые в контрольных приспособлениях, подразделяются на две группы **по характеру силового источника: ручные и пневматические**, а при контроле крупных и тяжелых деталей, когда требуются большие зажимные усилия, целесообразно применение **гидравлических** зажимов.

А. Ручные зажимы

1. Винтовые зажимы из-за низкой их производительности **не рекомендуют к применению** в контрольных приспособлениях, кроме случаев, когда не требуется высокой пропускной способности контрольной операции.

2. Весьма удачна конструкция перекидного рычажно-пружинного зажима (рис.4,а).

Достоинством подобных зажимов является легкость регулирования величины зажимного усилия и полная устойчивость этого усилия при работе приспособления.

3. Удобным и надежным является шарнирный рычажный зажим (рис.4,б),

4. Байонетный зажим показан на рис.4,а.

Имея значительный продольный ход, байонетный зажим не препятствует установке и снятию детали с приспособления. Применять байонетный зажим рекомендуется в случаях, когда не требуется значительных зажимных усилий.

5. Эксцентрик с рукояткой рис.4,г.

Зажимы этого вида применяют в случаях, **когда не требуется значительного хода для установки детали и зажима ее на приспособлении**.

Так как эксцентриковый зажим является ручным, он обязательно должен быть самотормозящим. Эксцентриковые зажимы бывают двух типов: с круговыми и с криволинейными эксцентриками. В конструкциях контрольных приспособлений применяют, как правило, круговые эксцентрики благодаря простоте их изготовления.

6. В конструкциях контрольных приспособлений находит применение и ряд других видов ручных зажимов: **клиновые, двусторонние винтовые (например, тиски), комбинированные, самоцентрирующие и др.** в зависимости от требований и условий работы приспособления в каждом конкретном случае.

Б. Пневматические зажимы

Пневматические зажимные устройства имеют серьезные преимущества перед ручными: обеспечение **постоянства усилия зажима**; возможность применения комбинированных устройств для одновременного зажима детали по ряду точек в одном или разных направлениях; снижение вспомогательного времени и облегчение труда контролера.

Поршневые пневматические цилиндры двустороннего действия применяются в тех случаях, когда необходимо обеспечить значительное перемещение штока или же когда движения штока должны быть рабочими в обе стороны.

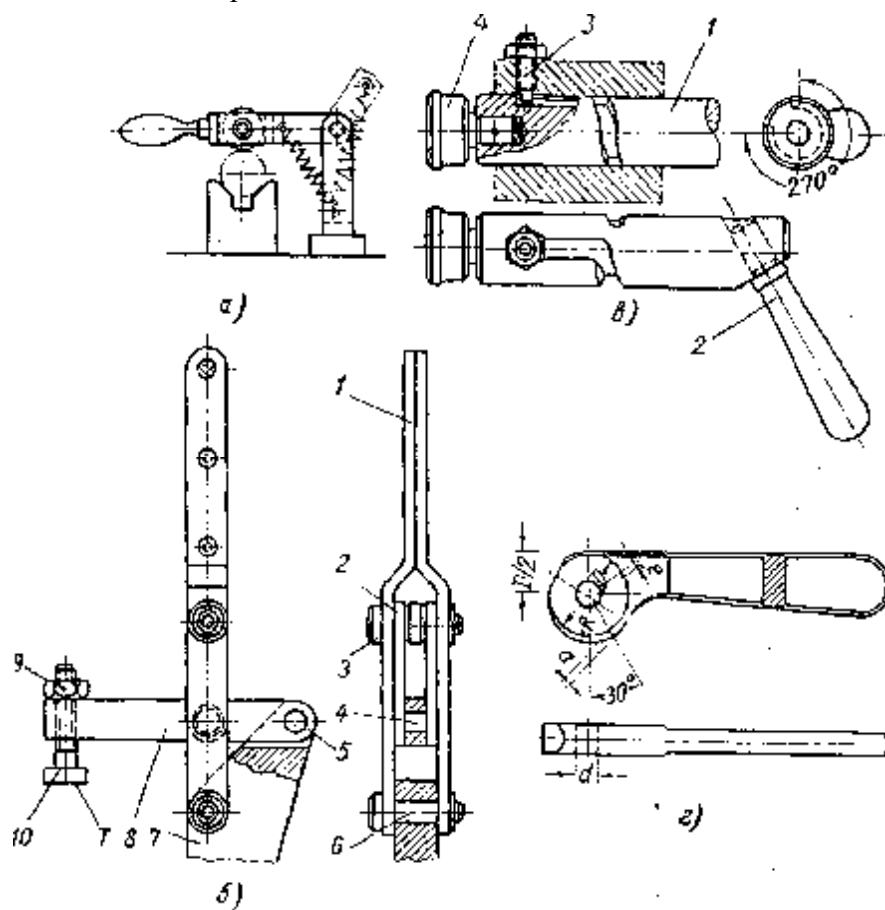


Рис. 4.

4. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Точность передачи отклонения проверяемого размера от детали к измерительному устройству имеет решающее значение для работы контрольных приспособлений.

Как правило, стержень измерительного устройства предохраняется от непосредственного соприкосновения с проверяемыми поверхностями деталей путем введения промежуточных подвижных элементов.

Кроме того, часто появляется необходимость по тем или иным конструктивным соображениям расположить измерительный наконечник на некотором расстоянии или в стороне от проверяемой детали.

В ряде случаев возникает потребность использования промежуточных передач с передаточными отношениями больше или меньше единицы, чтобы обеспечить качественное и полное использование шкалы выбранного измерителя.

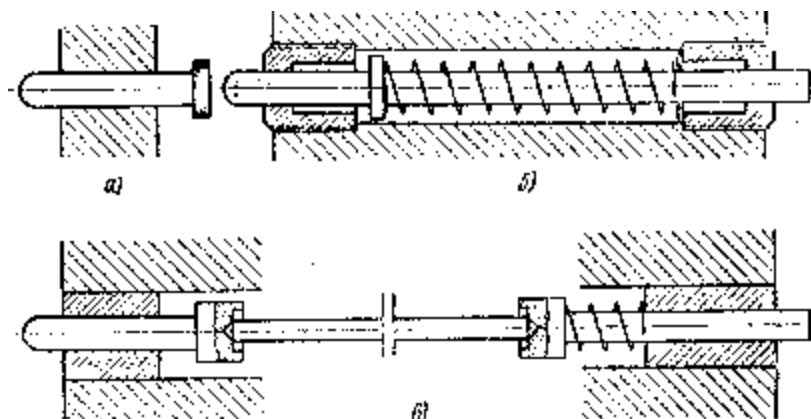
Таким образом, возникает необходимость включения в конструкции контрольных приспособлений передаточных устройств, состоящих из одного, а часто и из нескольких звеньев. Вполне очевидно, что погрешности подобных устройств ограничивают точность работы приспособлений в целом.

Различаются передачи для прямолинейных и угловых перемещений.

Передачи с прямолинейным перемещением осуществляются на цилиндрических, призматических и прямоугольных направляющих, с трением скольжения или трением качения—на шариках и направляющими на плоских пружинах.

1. Наиболее простым видом передачи являются **цилиндрические короткие стержни**, перемещающиеся во втулке (фиг. 22, а), или **длинные стержни**, перемещающиеся в двух соосно расположенных втулках (фиг. 22,б). В последнем случае оба направляющих участка втулок должны быть разнесены возможно дальше друг от друга, что снижает погрешность за счет зазоров между ними, а направляющие участки втулок должны быть возможно более короткими — это уменьшает влияние имеющейся несоосности втулок.

При расположении направляющих втулок на значительном расстоянии одна от другой, когда становится трудным обеспечить их соосность, целесообразно один длинный стержень заменять тремя более короткими, из которых два крайних перемещаются во втулках, а средний свободно связывает их между собой сопряжением конических центров и отверстий (фиг. 22,в).



Фиг. 22.

2. **Передачи на прямоугольных и призматических направляющих** (с трением скольжения) **мало приемлемы** в конструкциях контрольных приспособлений ввиду большой их подверженности износу и трудности устранения зазоров, получающихся при износе.

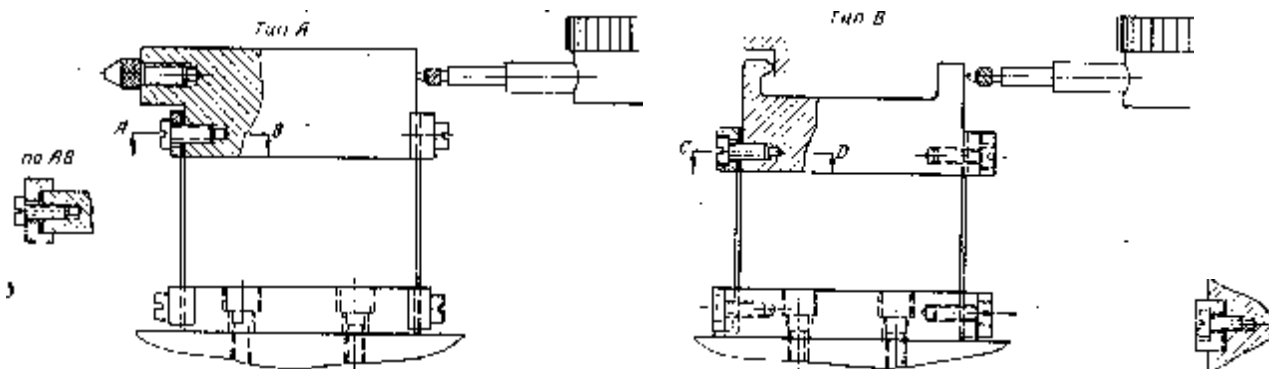
3. Значительно более рациональными являются **направляющие с трением качения** в виде кареток, подвешенных боковыми призматическими пазами на шариках или установленных на трех шариках.

Направляющие с трением качения широко применяются в конструкциях контрольных приспособлений **для проверки зубчатых колес** и в других случаях, когда требуется перемещение деталей более или менее значительного веса при высокой чувствительности к малым отклонениям проверяемых размеров.

На точность работы всех описанных передаточных устройств влияет их износ.

4. Этому недостатка совершенно лишены **передачи на плоских пружинах** (фиг. 23).

Подвижная планка закрепляется на двух или четырех параллельных плоских пружинах. На фигуре приведены два типа конструктивного оформления передачи.



Преимуществом передач на плоских пружинах является высокая чувствительность их при полном отсутствии износа и трения.

Необходимое измерительное усилие обеспечивается изменением толщины, ширины или длины пружин.

Следует иметь в виду, что передачи на плоских пружинах ограничивают прямолинейные перемещения (примерно до 1 мм).

Плоские пружины изготавливаются из пружинной стальной ленты толщиной 0,3 мм. Ширина их определяется конструктивными соображениями и, как правило, принимается в пределах от 8 до 12 мм, а длина—от 40 до 80 мм.

Благодаря исключительным их достоинствам, передачи на плоских пружинах получают все более широкое распространение в конструкциях различных контрольных приспособлений.

Передачи для угловых перемещений осуществляются всевозможными рычагами, качающимися на цилиндрических, сферических и конических цапфах, на шарикоподшипниках и плоских пружинах.

Рычажные передачи служат для преобразования линейных перемещений в угловые, для перемены направления линейного перемещения (фиг. 24, а и б), а также для увеличения передаточного отношения.

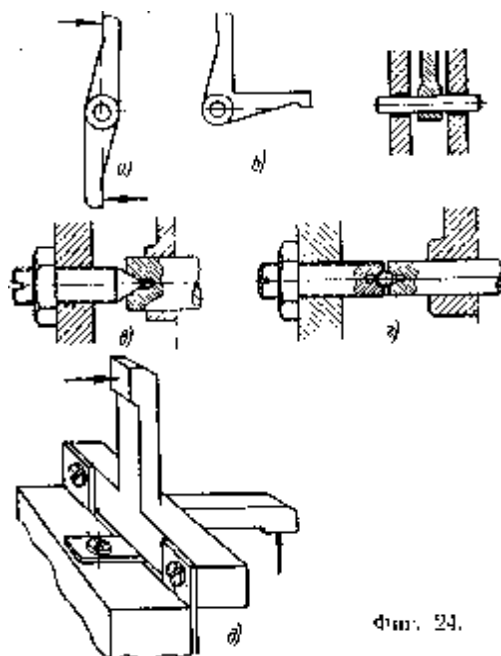
Рычажные передачи применяются с передаточным отношением 1:1 (когда требуется лишь изменить направление перемещения), с повышающими передаточными отношениями до 5 : 1 и с понижающими передаточными отношениями до 1 : 3.

Повышающие передаточные отношения применяются при необходимости увеличить отклонения проверяемой детали, с тем, чтобы полностью уловить их измерителем, установленным на контрольном приспособлении.

Так, при проверке на приспособлении индикатором с ценой деления 0,01 мм детали, имеющей линейный допуск 0,02 мм, целесообразно применить повышающую рычажную передачу с передаточным отношением 3:1, с тем, чтобы проверяемый допуск детали соответствовал не двум, а шести делениям по шкале.

Понижающие передаточные отношения применяются при необходимости уменьшить отклонения, передаваемые от детали к измерителю, с тем, чтобы правильнее и в более полной мере использовать его возможности.

Так, при проверке на приспособлении индикатором с ценой деления 0,01 мм детали, имеющей линейный допуск $\pm 0,6$ мм, целесообразно применить понижающую рычажную передачу, с тем чтобы отклонения стрелки индикатора не выходили за полный оборот по шкале, т. е. были меньше 1 мм.



Контактные поверхности рычагов должны быть твердыми и шлифованными.

Для снижения погрешностей измерения за счет нарушения передаточного отношения **необходимо обеспечить точечный контакт концов рычага с поверхностями** предыдущего и последующего передаточных звеньев; точечный контакт обеспечивается сопряжением сферы и плоскости.

Сохранение передаточного отношения достигается равенством плеч рычага в пределах нескольких десятых миллиметра, а также расположением точек контакта на оси его качания.

При конструктивной невозможности размещения точек контакта на линии, проходящей через ось качания рычага, они должны быть снесены с нее на одинаковую для обеих точек контакта угловую величину.

Рычажные передачи должны обеспечивать высокую чувствительность к малым отклонениям проверяемых размеров. Это требует, помимо правильной формы и размеров, беззазорной подвески рычага относительно оси его качания.

Наибольшие возможности образования погрешностей за счет износа и возникновения зазоров имеет подвеска рычагов на цилиндрических цапфах (фиг. 24, б). Цилиндрические цапфы наиболее просты в изготовлении, но в них полностью отсутствует возможность компенсации и регулирования зазоров, получающихся при износе.

Несколько сложнее в изготовлении подвеска рычагов на конических (фиг. 24, в) и шариковых (фиг. 24, г) цапфах.

Однако значительным преимуществом этих цапф является легкость компенсации и регулирования, как первоначальных зазоров, так и зазоров, возникающих при износе передачи.

Той же цели устранения погрешностей за счет возникновения зазоров служат подвески рычагов на шариковых подшипниках, которые не получили еще достаточного распространения в конструкциях контрольных приспособлений, несмотря на высокую их чувствительность к малым угловым перемещениям, что подтверждается успешным их применением в подшипниковой промышленности.

Наилучшие результаты с точки зрения исключения зазоров, вызывающих погрешности в подвеске и качании рычагов, дают плоские пружины, которые по своей форме, размерам (кроме длины) и способам крепления сходны с пружинами направляющих систем для прямолинейных передач.

Подвеска рычага на двух парах крестообразно расположенных плоских пружин (фиг. 24, д) требует некоторого увеличения габаритов передачи, но в то же время является наиболее надежной и точной в работе.

5. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Измерительное устройство ограничивает точность работы всего контрольного приспособления.

Все многообразие измерительных устройств можно разделить на три основные группы: **предельные, отсчетные и специальные**.

1. Предельные (не отсчетные) измерители (калибры, глубиномеры, электроконтактные датчики и др.) служат для проверки предельных значений проверяемых величин.

Предельные измерители весьма широко применяются в приспособлениях для контроля отливок и поковок.

2. Отсчетные измерители обладают шкалой (индикаторы часового типа, миниметры, пневматические измерительные приборы и др.) и дают возможность определять действительные числовые значения проверяемых величин.

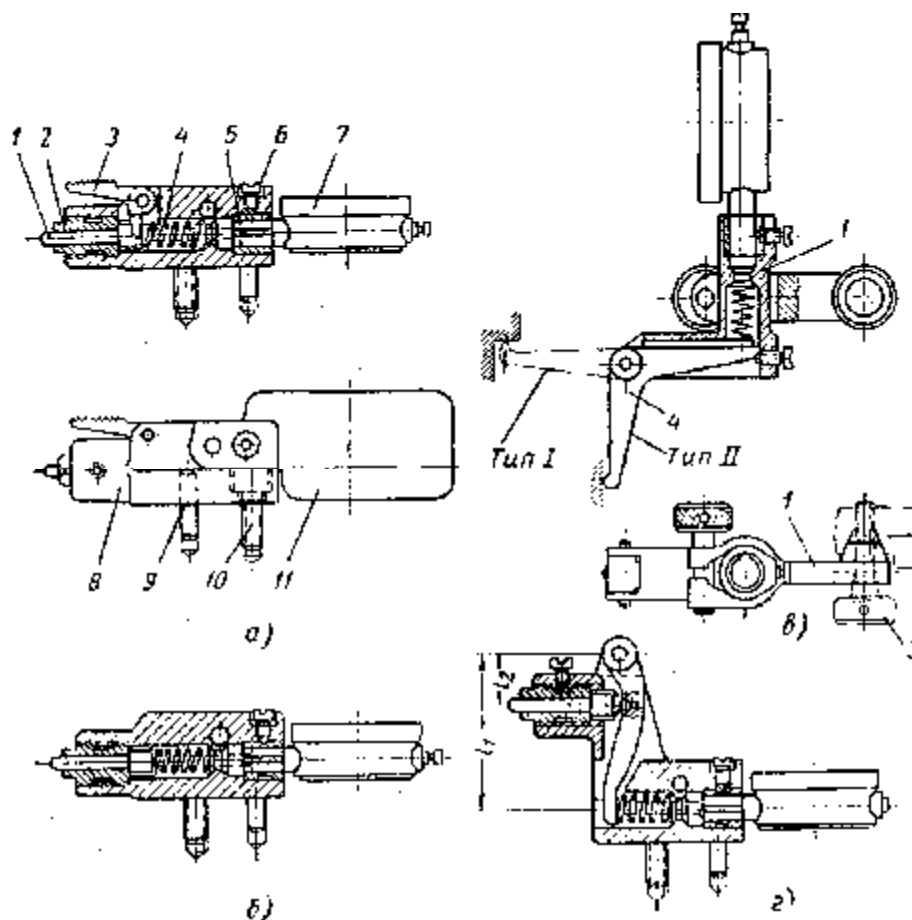
Отсчетные измерители являются обязательными в приспособлениях, с помощью которых проверяется технологическая правильность наладки производственных операций, проводится статистический контроль, сортировка деталей на размерные группы и в ряде других случаев. Кроме того, такие измерители применяются в приспособлениях для контроля деталей в процессе обработки, работающих без автоматического воздействия на органы управления станком.

3. Специальными являются, прежде всего, комбинированные предельно-отсчетные измерители (электрические контактно-индуктивные, контактно-рычажные, пневмоэлектроконтактные и др.), которые находят применение в конструкциях «светофорных» приспособлений, контрольно-сортировочных автоматов, в приспособлениях для автоматического контроля в процессе обработки деталей и т. п.

При сравнительном анализе измерительных устройств должны сопоставляться их основные метрологические показатели;

УЗЛЫ КРЕПЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

1. На фиг. 26, *а* представлен нормальный узел — гнездо с прямой передачей на индикатор.



2. На фиг. 26, *б* приведен узел, подобный описанному, все отличие которого от предыдущего состоит в отсутствии отводного рычажка и защитного кожуха для индикатора.

3. На фиг. 26, *в* показан нормальный узел с угловой передачей на индикатор.

Корпус 1 передачи через ушко 2 и при помощи винта 3 закрепляется в контрольном приспособлении.

По форме рычажка 4 различают два типа данной передачи :

тип I — плечи рычажка лежат в одной плоскости

тип II — плечи рычажка лежат в перпендикулярных плоскостях).

Данная конструкция работает с передаточным отношением 1:1.

4. Нормальный узел с увеличивающей угловой передачей приведен на фиг. 26, *г*. Особенность этой передачи заключается в том, что перемещения промежуточного цилиндрического штифта передаются на наконечник индикатора не непосредственно, а через увеличивающий угловой рычаг, соотношение плеч t_1 и t_2 которого и определяет передаточное отношение передачи, принимаемое, как правило, 2 : 1 или 3:1.

**ПЕРЕЧЕНЬ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА»**

Раздел 1. основополагающие понятия метрологического обеспечения производства

1. Метрологическое обеспечение производства: цель, основные документы, научные, организационные и технические основы.
2. Метрологические службы, основные работы, проводимые метрологическими службами.

Раздел 2. Основы технических измерений

3. Основные метрологические понятия: измерение, контроль, испытание, точность и погрешность измерений, средства измерений.
4. Классификация средств измерения и контроля.
5. Основные метрологические характеристики средств измерения
6. Градуировочная характеристика СИ (функция преобразования), классификация, примеры.
7. Погрешности средств измерений.
8. Методы измерения; классификация.

Раздел 3. Погрешности измерений и их оценка

9. Погрешность измерений, классификация по различным признакам.
10. Основные составляющие погрешности измерения.
11. Погрешность метода при измерении.
12. Погрешность измерительного прибора, источники, составляющие.
13. Понятие синусного и тангенсного рычагов, их технологические погрешности, примеры.
14. Погрешность схемы измерительного прибора.
15. Технологическая погрешность измерения, примеры.
16. Эксплуатационная погрешность при измерениях.
17. Погрешность измерения из-за воздействия внешней среды.
18. Погрешность измерения из-за субъективных факторов.
19. Погрешность отсчета при измерениях.
20. Суммарная погрешность измерения. Международные рекомендации о представлении результатов измерений.
21. Допускаемые погрешности измерений линейных размеров в машиностроении (ГОСТ 8.051-81).

Раздел 4. Выбор методов и средств измерений

22. Универсальные средства измерений. Основные представители механических измерительных приборов. Выбор универсальных средств измерений (РД 50 – 98 – 86).
23. Специальные средства измерений. Основные положения измерений отклонений формы и расположения поверхностей.
24. Выбор методов и средств измерений отклонений формы поверхностей.
25. Схема измерения отклонения от плоскостности. Погрешность измерения.
26. Схема измерения отклонения от прямолинейности. Погрешность измерения.
27. Схемы измерения отклонений от цилиндричности. Погрешность измерения.
28. Схемы измерения отклонений от круглости (овальность, огранка). Погрешность измерения.
29. Схемы измерения отклонений профиля продольного сечения (конусообразность, бочкообразность, седлообразность). Погрешность измерения.
30. Выбор методов и средств измерений отклонений расположения поверхностей.
31. Схемы измерения отклонения от параллельности плоскостей, осей, оси и плоскости. Погрешность измерения.
32. Схемы измерения отклонения от перпендикулярности плоскостей, осей или оси и плоскости. Погрешность измерения.

33. Схемы измерения несоосности относительно базовой поверхности (оси). Погрешность измерения.
34. Схемы измерения несоосности относительно общей оси. Погрешность измерения.
35. Схемы измерения несимметричности. Погрешность измерения.
36. Схемы измерения непересечения осей. Погрешность измерения.
37. Схемы измерения радиального биения. Погрешность измерения.
38. Схемы измерения торцового биения. Погрешность измерения.

Раздел 5. Структура измерительных приборов и основы конструирования

39. Структурная схема измерительных приборов.
40. Схемы измерения сферических, цилиндрических и плоских деталей.
41. Базирующие элементы измерительных приборов для корпусных деталей, детали типа валов, втулок.
42. Выбор чувствительного элемента измерительной цепи.
43. Передаточные устройства для линейных и угловых перемещений.
44. Зажимные устройства измерительных приборов.

Раздел 6,7. Принципы метрологического обеспечения

45. Метрологическое обеспечение подготовки производства.
46. Метрологическое обеспечение действующего производства.
47. Метрологическая экспертиза и проработка конструкторской документации, понятие контролепригодности.
48. Поверка и калибровка средств измерений.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

• Основная

1. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. для вузов – СПб.: Питер, 2004. – 432 с.
2. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. для вузов – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.
3. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие. – М.: Логос, 2003. – 536 с.

• Дополнительная

1. Марков Н.Н. Метрологическое обеспечение в машиностроении. Учебник для высших учебных заведений - М.: Изд-во «СТАНКИН», 1995, – 468 с.
2. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учебное пособие для вузов. – М.: Логос, 2000. – 510 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т.2. Под ред. Дальского А.М., Косиловой А. Г. 5-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001г. – 496 с.
4. Схиртладзе А. Г. Технологическая оснастка машиностроительных производств. Альбом. Уч.пособие в 2-х частях. М.: Изд-во МГТУ, «Станки», 1999.

ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК

1. Метрологическое обеспечение технологических процессов изготовления изделий в машиностроении: Учебное пособие/ Н.П. Солнышкин, Л.В. Дашков, С.И. Дмитриев. Под общ. ред. Н.П. Солнышкина – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – 198с.
2. Метрологическое обеспечение производства: Методические указания к лабораторным работам /И. Г. Ершова, В. И. Магда. Псков: Изд. ППИ, 2007. – 75с.
3. Расчет и конструирование измерительных приспособлений. Методические указания по выполнению курсовой работы /С.И. Дмитриев, И.Г. Ершова; – Псков: Изд. СПбГПУ, 2004, – 43с.
4. Средства линейных измерений. Методические указания по выбору средств измерений линейных размеров./ С.И. Дмитриев, И.Г. Ершова. СПб.: Изд. СПбГТУ, 2001. – 86с.