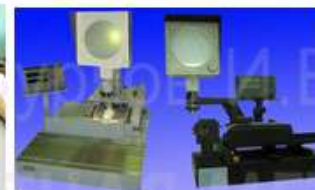




Доклад:

"Повышение производительности и качества металлообработки за счет цифровизации процессов метрологического обеспечения машиностроительного производства"

Докладчик – Сурков Игорь Васильевич, директор ЗАО «ЧелябНИИконтроль», доцент кафедры технологии автоматизированного машиностроения Южно-Уральского государственного университета, к.т.н., член-корреспондент Метрологической Академии РФ



Промышленный холдинг «Челябинский инструмент» является крупнейшим отечественным разработчиком и производителем качественного измерительного инструмента, приборов, средств автоматизированного контроля размеров, резьбовых калибров, железнодорожных шаблонов и слесарного инструмента. Холдинг объединяет несколько предприятий, каждое из которых специализируется на выпуске определенной группы средств измерений. Основным предприятием холдинга «Челябинский инструмент» является **Челябинский Инструментальный Завод (ЧИЗ)**, основанный в 1942 году на базе эвакуированного в годы Великой Отечественной войны московского завода «Калибр». Вот уже более **80 лет ЧИЗ** специализируется на разработке и производстве высокоточных средств измерений линейных и угловых размеров, продолжая лучшие традиции российских инструментальщиков.

В **2003 г.** в составе холдинга «Челябинский инструмент» был создан **Челябинский научно-исследовательский и конструкторский институт средств контроля и измерения в машиностроении (ЗАО «ЧелябНИИконтроль»)**, в задачи которого входит не только выпуск стандартной номенклатуры измерительных приборов ЧИЗ (в основном под своей торговой маркой **НИИК**), но и проведение НИОКР, обеспечивающих проектирование и производство новых средств измерения, в т. ч. координатно-измерительных машин (КИМ), приборов (КИП) и систем (КИС). Новые приборы оснащаются электронными модулями и программным обеспечением собственной разработки.



© Сурков И.В.





**Челябинский научно-исследовательский и конструкторский институт
средств контроля и измерения в машиностроении**

(ЗАО «ЧелябНИИконтроль»)

Направления деятельности

- Производство традиционной номенклатуры части измерительных приборов ЧИЗ под торговой маркой «НИИК»
- Конструирование и изготовление новых приборов и измерительных систем для контроля размерных параметров в машиностроении
- Приборы автоматического управления ходом технологического процесса, программное обеспечение
- Модернизация (ретрофиттинг) выпущенных ранее приборов и средств измерения
- Стандартизация и метрологическая экспертиза чертежей, приборов и средств контроля
- Калибровка (поверка) средств измерения
- Разработка технологий контроля размерных параметров
- Проведение анализа обеспечения качества в технологическом процессе
- Автоматизация конструирования и выбора средств измерения и контроля
- Образовательные программы: обучение, разработка учебных лабораторных комплексов, учебных версий программного обеспечения и электронных учебников в области метрологического обеспечения машиностроительного производства



**ЗАО «ЧелябНИИконтроль»: демонстрация технологических возможностей.
Производство измерительного прибора НИИК-1010 (аналог биениемера Б-10М)**



Разработка технологического обеспечения и производство опытной партии штангенциркулей (2016 г)



Разработка технологического обеспечения и производство опытной партии штангенциркулей (2016 г)



Разработка технологического обеспечения и производство опытной партии штангенциркулей (2016 г)

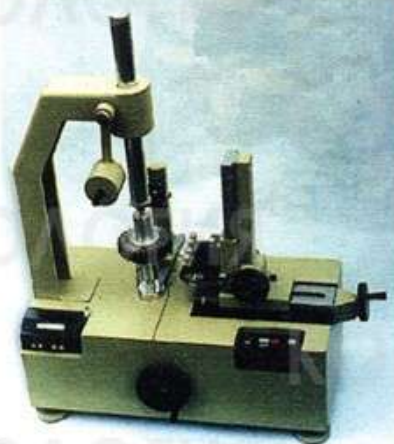


Организация опытного производства штангенрейсмусов



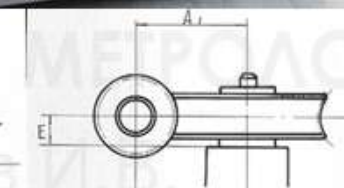
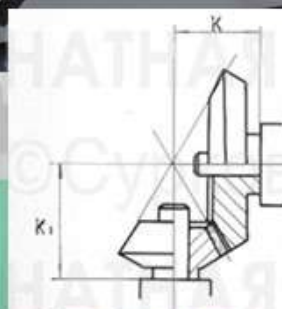


ЗАО «ЧелябНИИконтроль» продолжает выпускать большинство приборов традиционной номенклатуры ЧИЗ, но в основном под своей торговой маркой НИИК. Сдерживающим фактором является **малая степень автоматизации** и **узкая специализация** этих приборов, т.е. для каждого контролируемого параметра необходимо применять свое средство измерения. Это неудобно и потребителю (необходимо иметь полный комплект разнообразных приборов) и производителю (широкая номенклатура конструкций приборов, выпускаемых неритмично и единичными экземплярами).





Выпускаются **зубоизмерительные приборы**: биениемер НИИК-1010 (аналог прибора Б-10М), межосемеры (межцентромеры) серии НИИК-1020 типоразмера 160 (аналог МЦ-160), 320 (МЦ-320), 400 (МЦ-400), 800 (МЦ-800).





Приборы для контроля изделий на биеение – ПБ-250, 500, 1000, 1600





Приборы для контроля параметров элементов подшипников качения





Приборы автоматического управления ходом технологического процесса (приборы активного контроля)



© Сурков И.В.

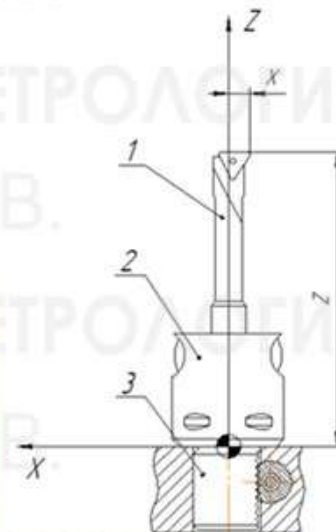
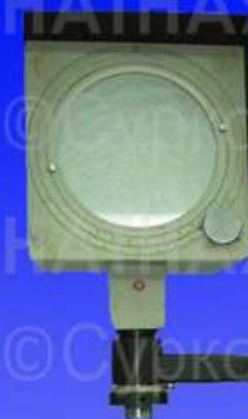
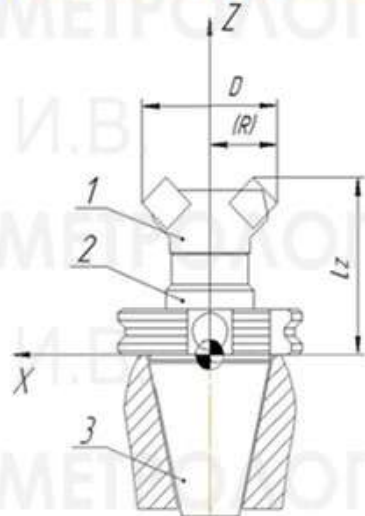
Краткая номенклатура выпускаемых приборов активного контроля

БВ-4270	
БВ-3268	Скоба
БВ-3268-03	Скоба 125 мм, 200 мм
БВ-6240	Преобразователь индуктивный
БВ-6425	Блок управления
БВ-4270.01	Кронштейн
БВ-3326-06	Гидроцилиндр 40 мм
БВ-3326-03	Гидроцилиндр 60 мм
БВ-3326-04	Гидроцилиндр 100 мм
БВ-3326-05	Гидроцилиндр 160 мм
БВ-3268.01	Ножка измерительная
БВ-3221	Кронштейн
БВ-3154	Скоба навесная индуктивная
БВ-4116	
БВ-4116.01	Устройство позиционирования
БВ-3339-02	Устройство одноконтантное
БВ-3339-01	Устройство одноконтантное с электромагнитом
БВ-4116.05	Устройство подводящее
БВ-4116.06	Механизм перемещения
БВ-4116.3К	Переключатель
БВ-6425	Блок управления
БВ-3156	Скоба навесная механическая
БВ-3156-03	Скоба навесная механическая
БВ-4180	
БВ-3268	Скоба
БВ-3268-03	Скоба 125 мм, 200 мм
БВ-6240	Преобразователь индуктивный
БВ-6425	Блок управления
БВ-3151	Устройство подводящее
БВ-3326-06	Гидроцилиндр 40 мм
БВ-3326-03	Гидроцилиндр 60 мм
БВ-3326-04	Гидроцилиндр 100 мм
БВ-3326-05	Гидроцилиндр 160 мм
БВ-4071.02	Кран-переключатель
БВ-3111-02	Устройство для настройки отверстий

Внимание: перечень неполный, для уточнения информации присылайте запрос.



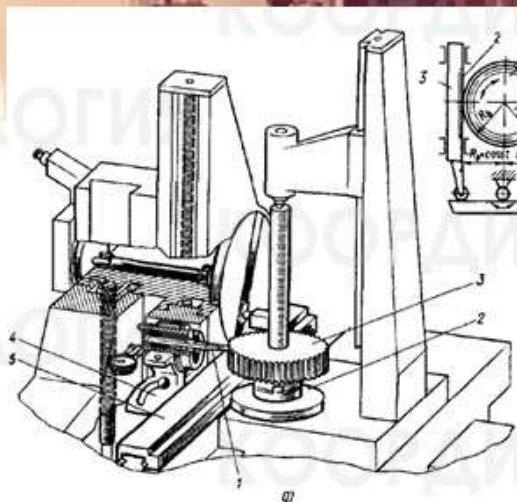
Приборы для настройки инструментальных комплектов вне станка





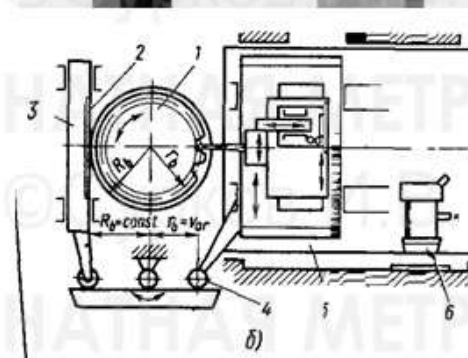
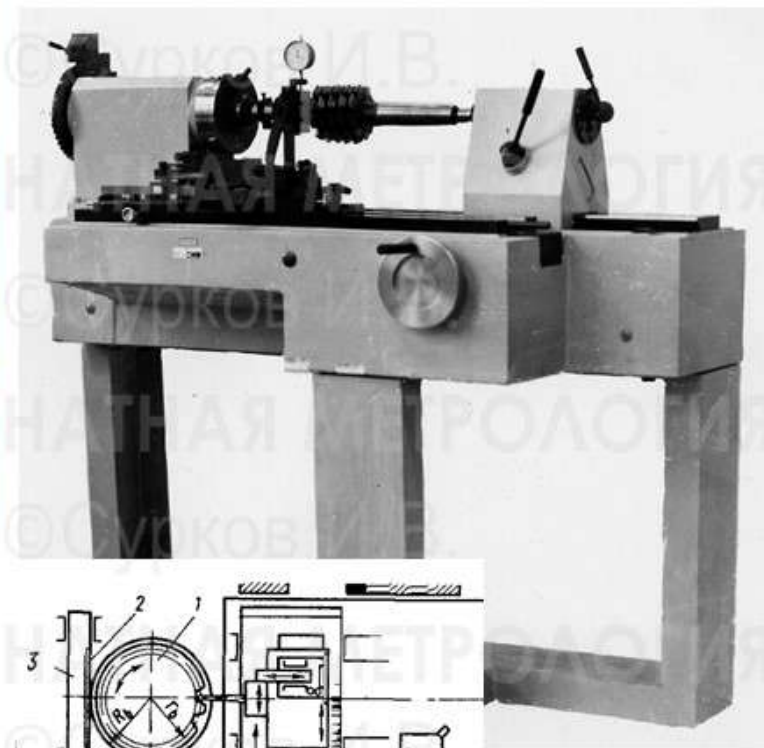
Приборы номенклатуры ЧИЗ снятые с производства

Приборы контроля эвольвентного профиля
зубчатых колес КЭУ-М, БВ-5062.



© Сурков И.В.

Прибор для контроля
червячных фрез БВ-5117





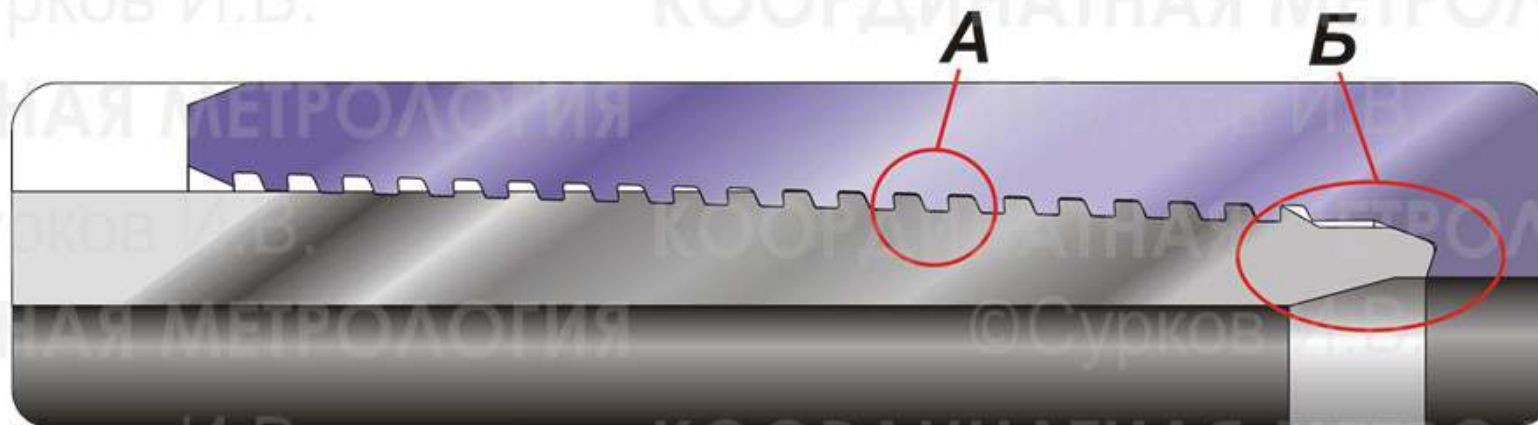
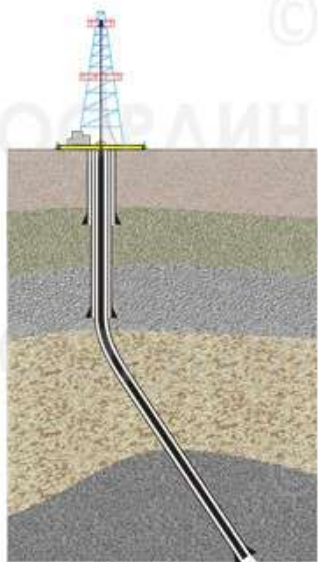
Разработка ЗАО «ЧелябНИИконтроль». Комплект универсальных средств контроля НИИК-100.

Приборы для контроля геометрических параметров резьбовых поверхностей

Комплект универсальных средств НИИК-100 предназначен для поэлементного контроля геометрических параметров *резьбовых и уплотнительных поверхностей труб и муфт нефтегазового сортамента* в цеховых и лабораторных условиях. Универсальность конструкций приборов, комплектация наборами сменных модулей и наконечников позволяет проводить контроль различных типоразмеров (от 60 до 340 мм) и конструкций соединений (НКТ, НКМ, ОТТМ, ОТТГ, ТБО, ОГ, API Battress, VAM, NewVAM, TMK GF, TMK FMT, TMK FMC и др.) с конусностью от 1:4 до 1:32.

Входящие в состав комплекта измерительные приборы рекомендуется использовать совместно для непосредственной комплексной оценки всех контролируемых параметров резьбового соединения. Допускается и автономное использование приборов для контроля отдельных линейно-угловых параметров.

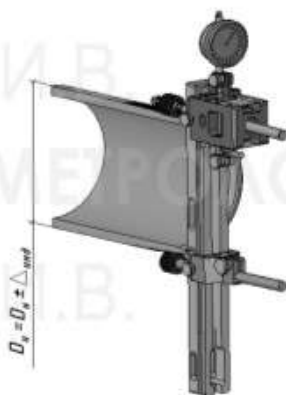
В 2016 г. комплект НИИК-100 внесен в Госреестр средств измерения, в 2021 году продлено еще на 5 лет



Разработка ЗАО «ЧелябНИИконтроль». Комплект универсальных средств контроля НИИК-100.

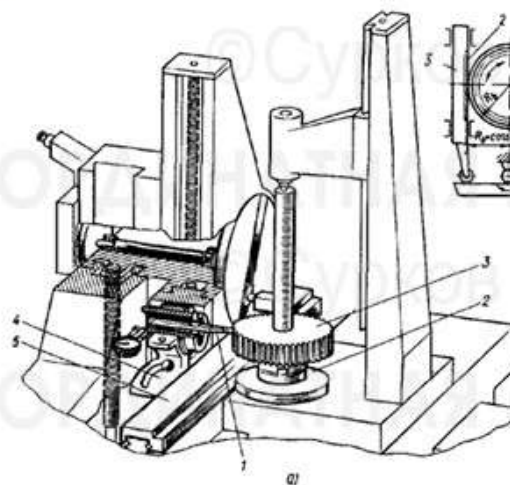
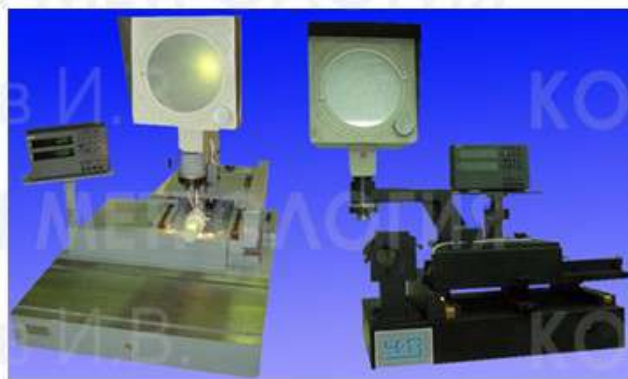
Приборы для контроля геометрических параметров резьбовых поверхностей

Комплект универсальных средств НИИК-100 предназначен для поэлементного контроля геометрических параметров *резьбовых и уплотнительных поверхностей труб и муфт нефтегазового сортамента* в цеховых и лабораторных условиях.

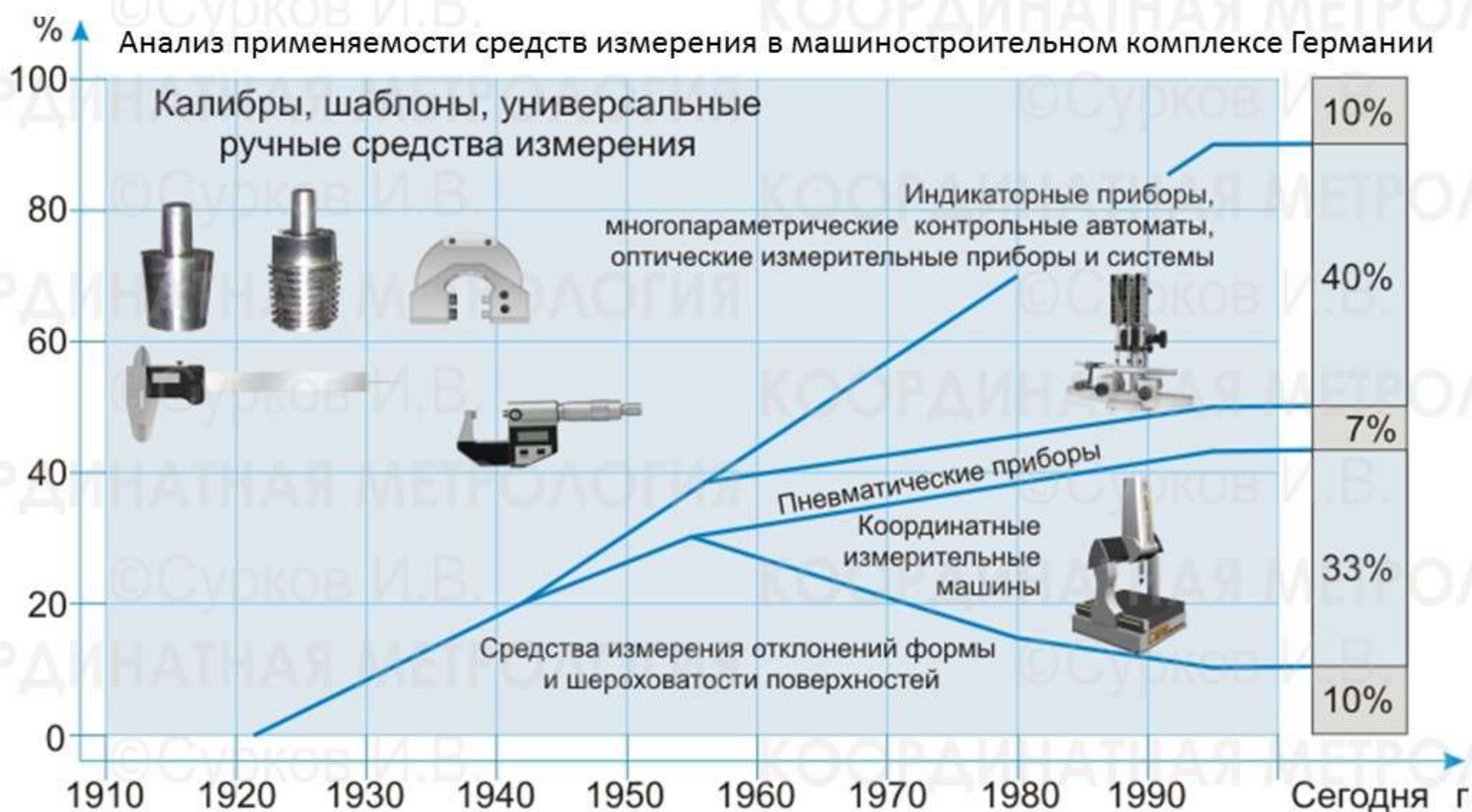




Сдерживающим фактором для выпуска приборов традиционной номенклатуры является их **малая степень автоматизации** и **узкая специализация**, т.е. для каждого контролируемого параметра необходимо применять свое средство измерения. Это неудобно и потребителю (необходимо иметь полный комплект разнообразных приборов) и производителю (широкая номенклатура конструкций приборов, выпускаемых неритмично и единичными экземплярами). Большинство приборов содержит высокоточные и сложные чисто механические узлы (зубчатые и рычажные передачи, кулачковые валы, делительные устройства и т.д.) с **высокой трудоемкостью изготовления**.



Мировые тенденции развития систем контроля и сокращение кадров квалифицированных метрологов и контролеров требуют создания **многофункциональных систем и приборов с высокой степенью автоматизации**, особенно в области обработки метрологической и технологической информации.





Единое информационное пространство машиностроительного производства



Две основные стратегии по внедрению автоматизированного оборудования и систем для выполнения процессов измерения и контроля геометрических параметров деталей и инструментов без непосредственного участия человека или с минимально возможным участием: **модернизация традиционных и разработка новых автоматизированных средств измерения.**

1. **Модернизация (ретрофиттинг) традиционного оборудования.** Проводится для повышения степени автоматизации, производительности, расширения функциональных возможностей. Модернизацию рекомендуется начинать с проектирования на основе существующей конструкции нового комплекта конструкторской документации, заменяя часть устаревших механических узлов современными **мехатронными** модулями, используя для управления процессом измерения и обработки измерительной информации средства вычислительной техники (ПК, контроллеры) и специализированное метрологическое ПО. В ЗАО «ЧелябНИИконтроль» выпускается «с нуля» большая номенклатура модернизированных измерительных приборов, в т.ч. для измерения и контроля параметров зубчатых колес, червячных фрез, долбяков, резьбовых калибров. Иногда проводится модернизация **существующего уникального оборудования**, которая сочетается с **ремонтными работами для восстановления или повышения показателей точности.**

Часть традиционных приборов за счет установки мехатронных модулей, применения систем компьютерного управления и специализированного метрологического программного обеспечения (ПО) преобразована в современные **многофункциональные информационно-измерительные комплексы и системы.**



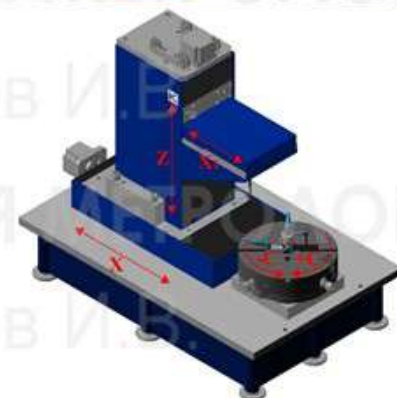
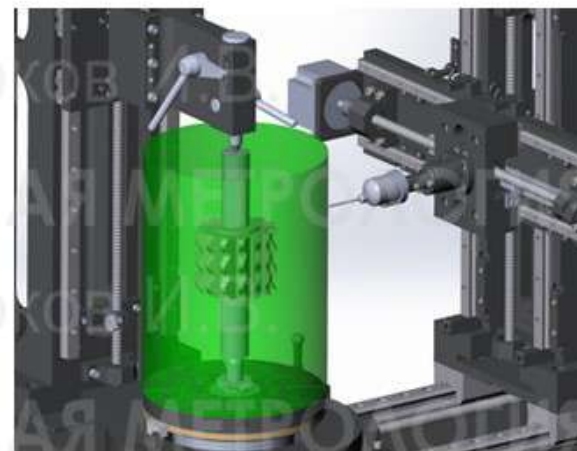
2. **Разработка новых автоматизированных средств измерения.** Может обеспечить оптимальное сочетание информационных, групповых и системных технологий с повышенной переналаживаемостью и гибкостью всех элементов оборудования.

Мировые тенденции развития систем контроля и сокращение кадров квалифицированных метрологов и контролеров требуют создания **многофункциональных систем и приборов с высокой степенью автоматизации**, особенно в области обработки метрологической и технологической информации.

Очевидно, что на машиностроительных предприятиях необходимо внедрять новые методы и средства контроля, в том числе наиболее эффективные на сегодняшний день **координатные измерительные приборы (КИП), машины (КИМ) и системы (КИС)** различных компоновок и типоразмеров. Положенный в основу работы КИМ координатный метод измерения является наиболее универсальным и может эффективно применяться для автоматизированного контроля широкой номенклатуры деталей (в том числе со сложнопрофильными поверхностями: зубчатые колеса, турбинные лопатки, резьбовые калибры).

Одним из первых и наиболее быстро осуществимых шагов по автоматизации машиностроительного производства может быть замена традиционных ручных средств измерения аналогичными **СИ с цифровыми отсчётными устройствами**.

Создаются ИИиУС на основе ручных СИ с цифровыми отсчётными устройствами, интерфейсами связи с ПК и метрологическим ПО собственной разработки.





В ЗАО «ЧелябНИИконтроль» выпускается «с нуля» **большая номенклатура модернизированных измерительных приборов**, в т.ч. для измерения и контроля параметров зубчатых колес, червячных фрез, долбяков, резьбовых калибров.

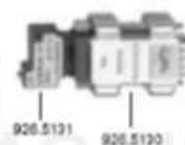
Одним из первых и наиболее быстро осуществимых шагов по автоматизации машиностроительного производства может быть замена традиционных ручных средств измерения аналогичными **СИ с цифровыми отсчётными устройствами**.

Создаются ИИиУС на основе ручных СИ с цифровыми отсчётными устройствами, интерфейсами связи с ПК и метрологическим ПО собственной разработки.





Повышение уровня автоматизации приборов за счет замены индикаторов часового типа индикаторами с цифровым отсчетным устройством, проводными и беспроводными интерфейсами связи с ПК.





Применяют так же высокоточные индуктивные датчики, линейные и угловые измерительные преобразователи (энкодеры) с проводными интерфейсами связи с ПК (обычно через дополнительные электронные блоки или контроллеры).



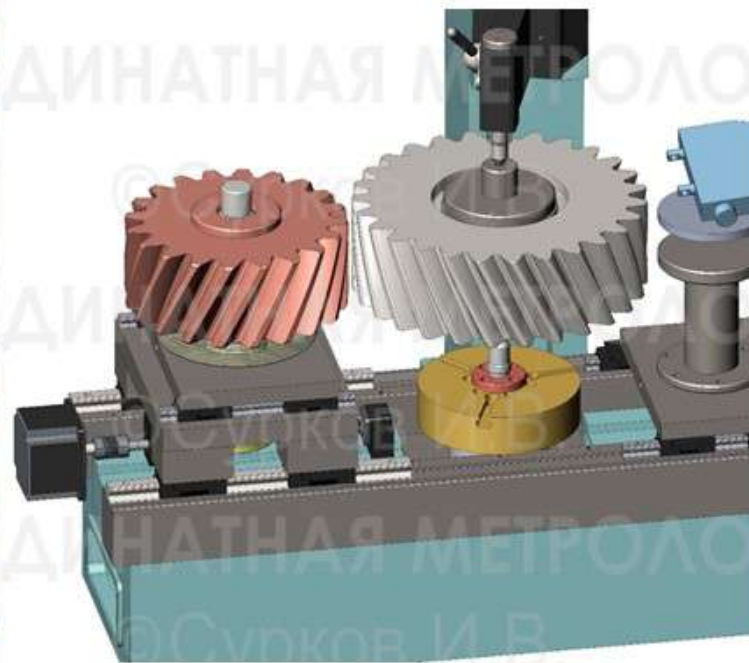


Часть приборов и систем остается с **ручным управлением**. Оператор выполняет заданную на мониторе ПК последовательность действий: устанавливает и снимает контролируемую деталь, перемещает узлы, осуществляет касание контактного элемента измерительного наконечника (ИН) с требуемыми точками на поверхностях детали, проводит замену ИН и т.д. Данные с датчиков и измерительных преобразователей обрабатываются с помощью специализированного метрологического ПО, т.е. автоматизируются только информационные процессы.





Повышение **степени автоматизации** достигается за счет полной или частичной **моторизации процессов**, выполнявшихся ранее в ручном режиме. Установка-снятие контролируемой детали может выполняться оператором, а сам цикл измерения происходит в автоматическом режиме под управлением микропроцессорного блока, системы ЧПУ или управляюще-вычислительного комплекса на основе ПК.



Измерительная система НИИК-1021-500 для двухпрофильного контроля косозубых зубчатых колес и шестерен (сборка)



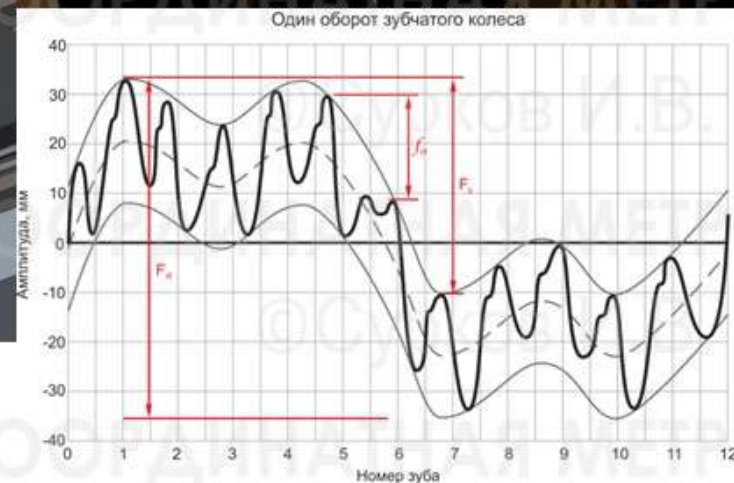
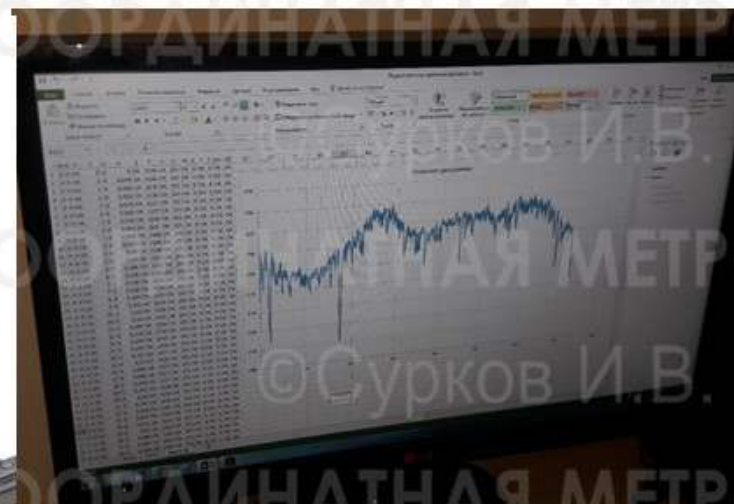


Измерительная система НИИК-1021-1000 для двухпрофильного контроля косозубых зубчатых колес и шестерен (сборка)





Измерительная система НИИК-1021-500 для двухпрофильного контроля (опытный образец с автоматическим циклом измерения)



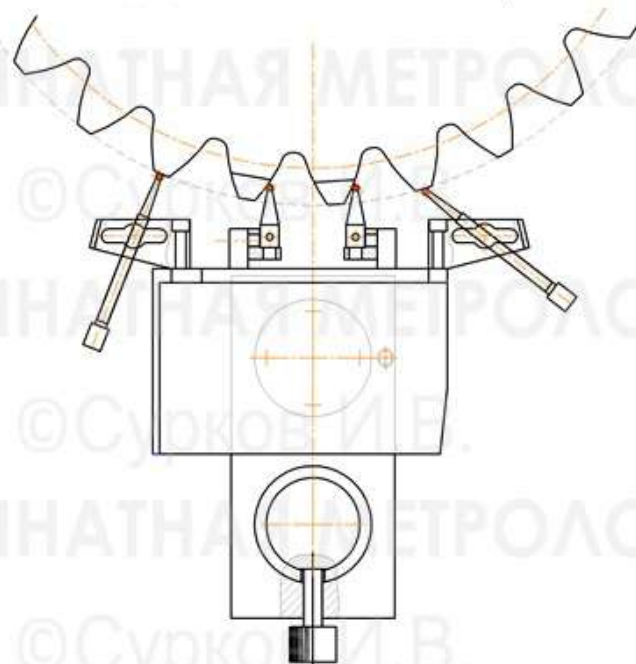
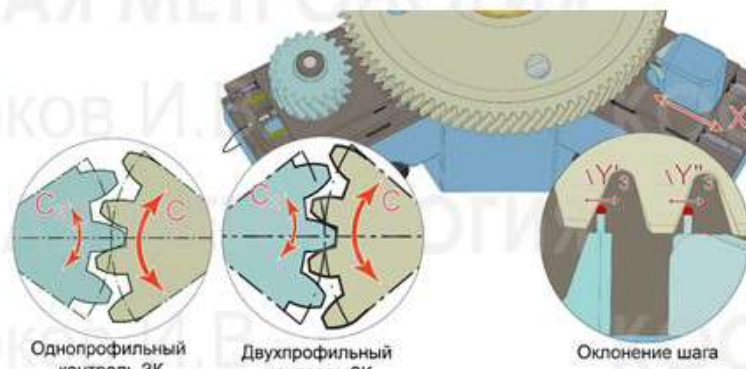


Измерительная система НИИК-1021-500 для двухпрофильного контроля (опытный образец с косозубыми ЗК)





Наладка для контроля отклонения шага зубчатого колеса





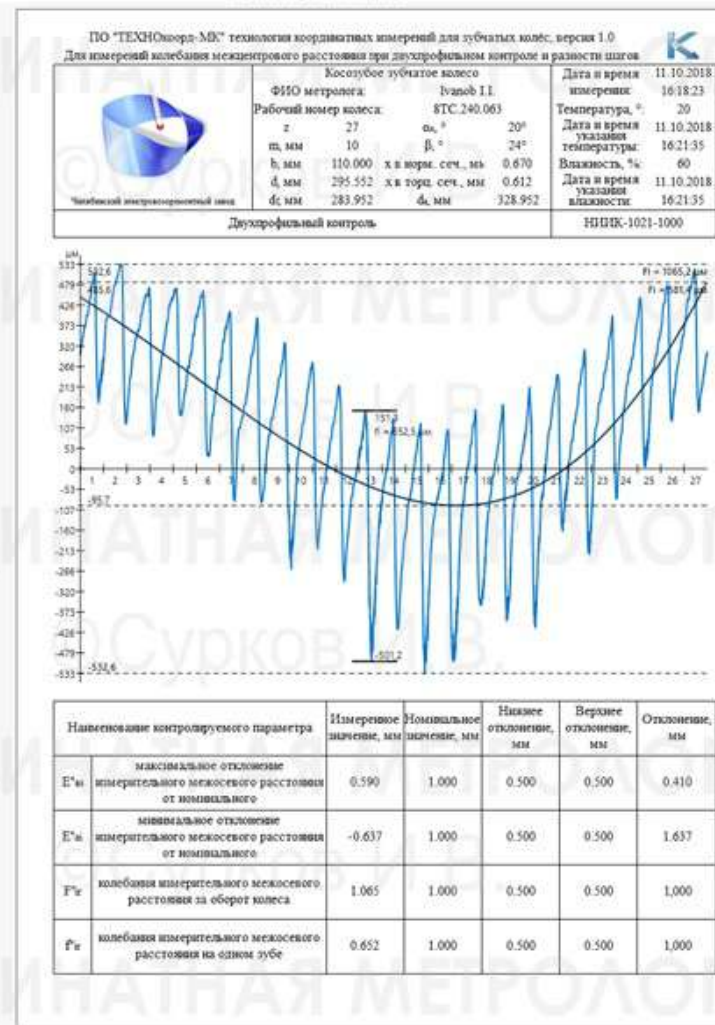
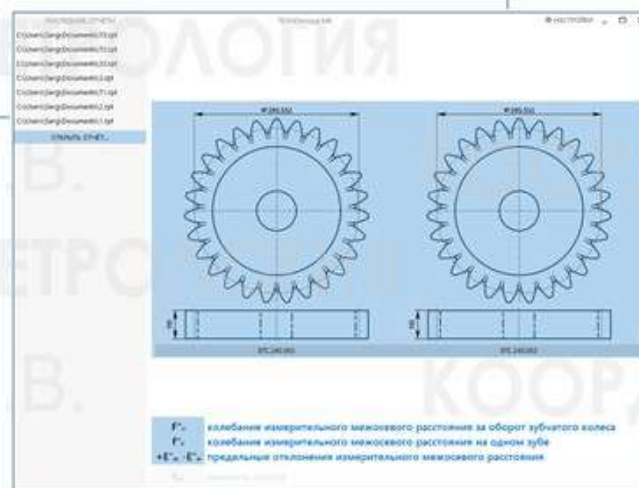
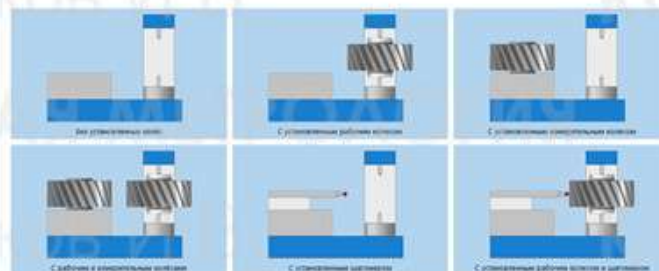
ПО «ТехноКоорд-МК» для двухпрофильного контроля косозубых зубчатых колес и шестерен

На приборе не установлено ни контролируемого (рабочего), ни измерительного колеса



Если на приборе не установлено ни одного колеса, то перед началом измерения необходимо идентифицировать нужное контролируемое (рабочее) и измерительное колеса, после чего установить их согласно инструкции [раздела 3.1.1](#). Обозначение контролируемого (рабочего) колеса определяется следующим образом: с помощью штангенциркуля измеряется диаметр вершин, направление наклона линии зуба определяется визуально. Далее с помощью чертёжа по диаметру и направлению наклона зубьев однозначно идентифицируется обозначение контролируемого (рабочего) колеса. После измерения в протокол вписывается серийный номер и дата выпуска контролируемого (рабочего) колеса, который выгравированы на торце. Обозначение измерительного колеса выгравировано на его торце, соответствующие коды, определяются по [таблице 8 инструкции](#). После установки обоих колёс можно начинать измерения.

Выберите состояние прибора измерительного комплекса

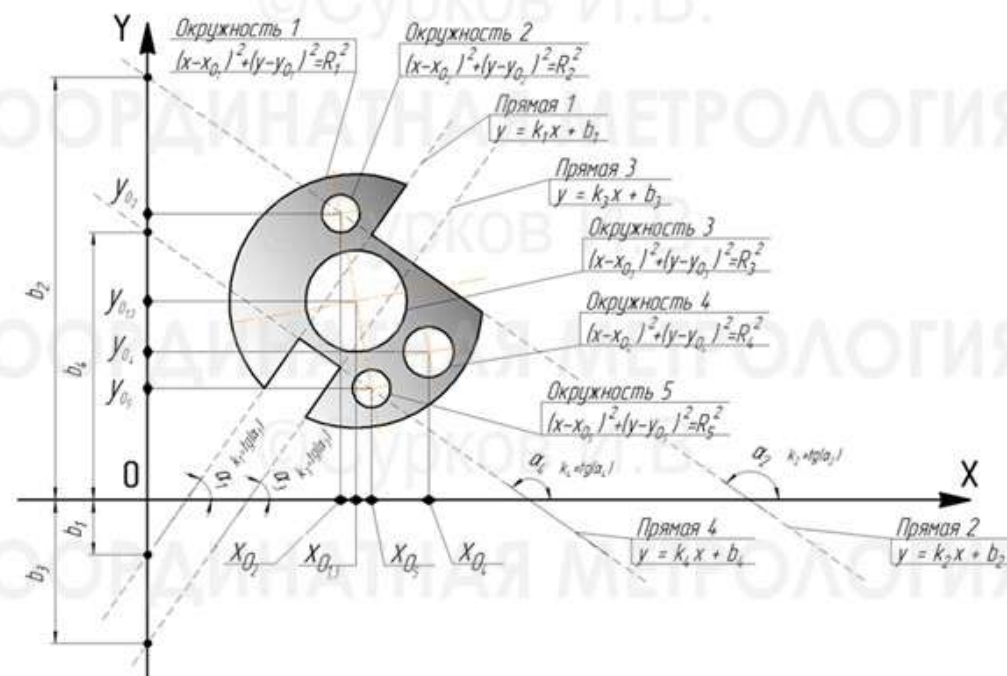


Основные положения координатной метрологии

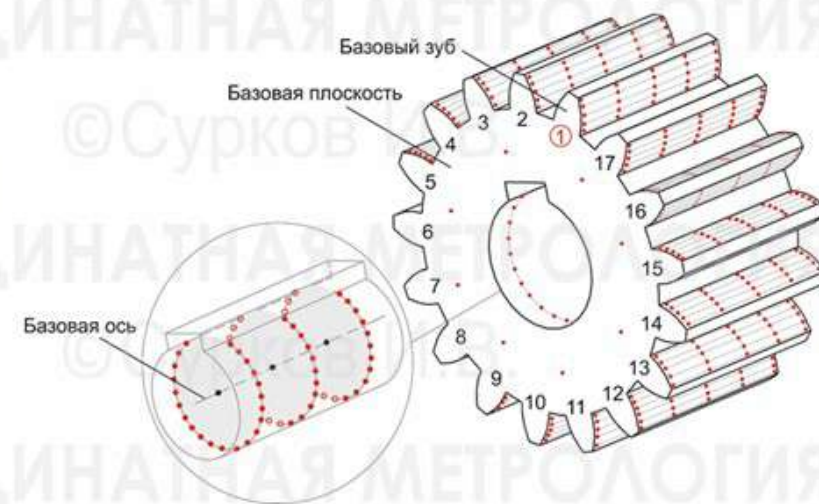
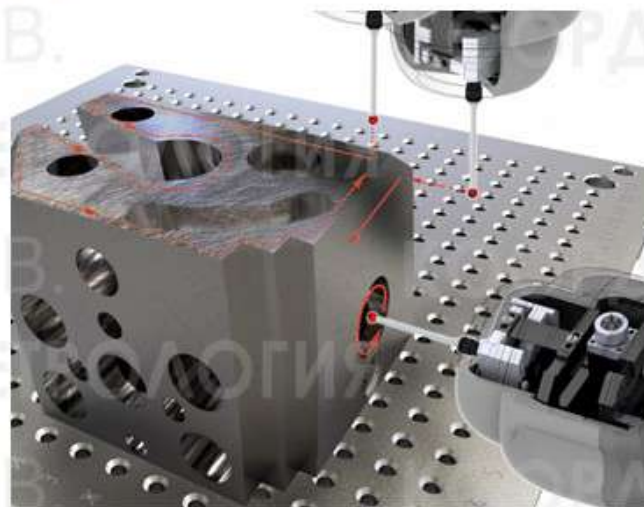
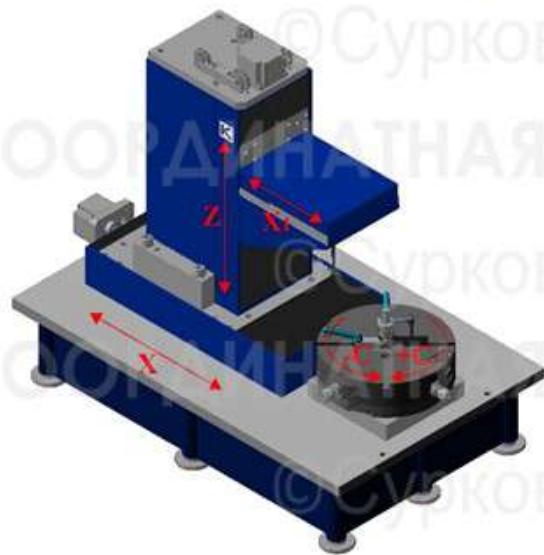
Координатная метрология: Раздел прикладной метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения координатно-измерительной техники (оборудования), разработки координатных методов и технологий измерения.

Принципы координатных измерений

Принципиальная основа координатного метода измерения геометрических параметров заключается в том, что любую поверхность или профиль можно представить состоящей из бесконечного числа отдельных точек и если известно положение в пространстве какого-то ограниченного числа этих точек (массив точек), т. е. определены их координаты, то по соответствующим формулам (алгоритмам) можно рассчитать размеры этих поверхностей (профилей) и отклонения формы, а также определить расположение поверхностей (профилей) в пространстве и между собой (координатные размеры и отклонения расположения).



Координатные измерения – это измерения геометрических параметров объекта, путем измерения координат отдельных точек поверхности объекта в принятой системе координат (может быть прямоугольная (декартова), цилиндрическая, сферическая) и последующей математической обработке измеренных координат, для определения линейных и угловых размеров, отклонений формы и расположения поверхностей. По сути – это *косвенные измерения*, т.к. используя типовые стратегии измерения мы в качестве первичной информации получаем значения координат отдельных точек, принадлежащих контролируемой поверхности. На втором этапе проводятся расчеты заданных размеров, отклонений формы и расположения поверхностей с помощью специальных методик и математических моделей. В современных КИМ используются стратегии многоточечных измерений и очень сложные расчетные методики, которые практически невозможно реализовать в ручном режиме. Поэтому даже при ручных измерениях для расчетов применяют *специализированное программное обеспечение*.



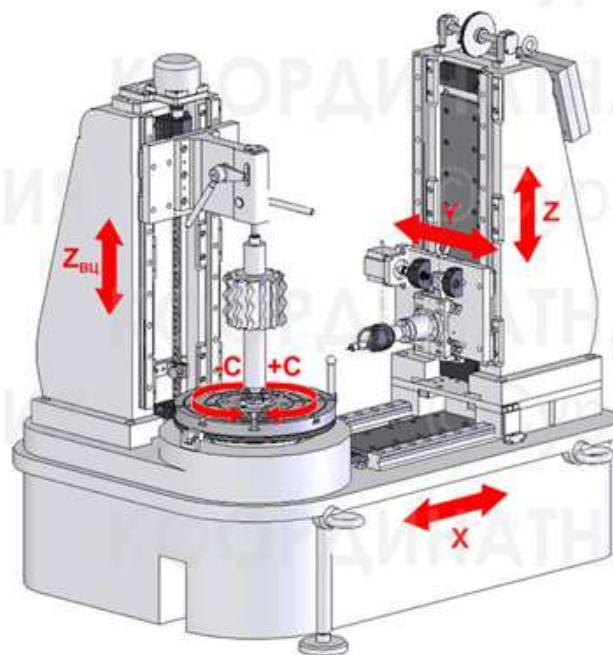
Можно выделить два взаимосвязанных технических комплекса, необходимых для выполнения координатных измерений и оказывающих влияние на их точность:

1. **Координатная измерительная техника** – это комплекс из аппаратной части измерительного оборудования, состоящий из системы взаимосвязанных интегрированных мехатронных модулей (механические узлы, электронные компоненты, программное обеспечение низшего уровня), измерительных устройств и датчиков, калибровочной и вспомогательной оснастки, а так же средств автоматизации (управляюще-вычислительный комплекс) и механизации, которые обеспечивают получение массивов значений координат отдельных точек, принадлежащих контролируемым поверхностям детали.

Координатный метод контроля высокоточных деталей и инструментов (зубчатые колеса, червячные фрезы, резьбовые калибры и т.д.) может быть реализован на **универсальных КИМ** различных компоновок (схемы с поворотным столом и без него) или на **специализированных КИМ** и **КИС** с поворотным столом.

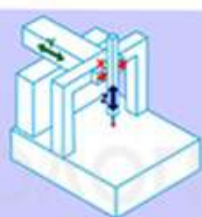
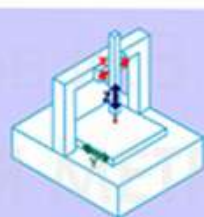
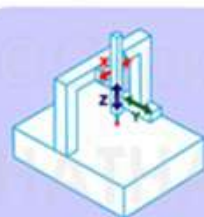


© Сурков И.В.

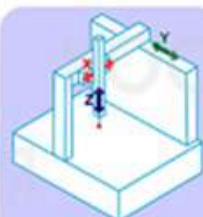


ТИПОВЫЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ КИМ

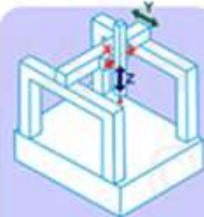
Прямоугольная (декартова) система координат



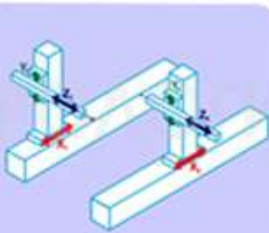
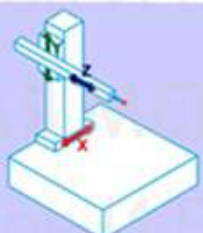
Портальные КИМ



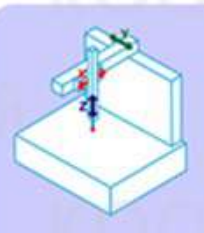
Полупортальная КИМ



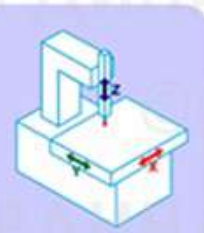
Мостовые КИМ



Столечные КИМ



Консольные КИМ

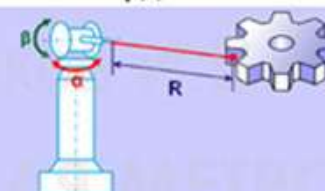


Цилиндрическая система координат



КИМ НИИК-484

Сферическая система координат

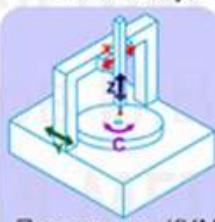


Лазертрекер

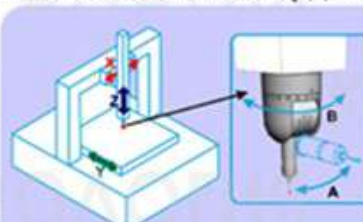
Комбинированные системы координат



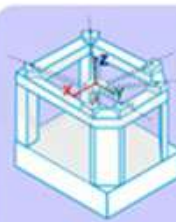
НИИК-483



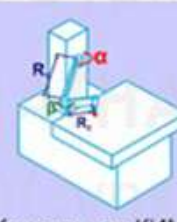
Портальная КИМ с поворотным столом



Портальная КИМ с поворотной измерительной головкой



Гексаподная КИМ



Консольная КИМ с цилиндрической системой координат



Измерительная рука



Типы координатных измерительных машин (КИМ)

Портальные КИМ

Наиболее распространенные компоновки КИМ. Характерная особенность - подвижный или неподвижный П-образный портал. Рекомендуется для особо точных измерений среднегабаритных изделий. В цеховых условиях можно использовать ручные КИМ с автоматической обработкой результатов измерения. КИМ с автоматическим циклом измерения применяют как в метрологических лабораториях, так и в цеховых условиях, в том числе в гибких производственных системах. Для повышения эффективности контроля КИМ оснащают дополнительными устройствами: поворотный стол, механизм смены палет, поворотная измерительная головка, магазин для смены измерительных головок и щупов т.д. Для повышения жесткости конструкции крупных КИМ используют компоновки с полупорталом (КИМ Zoo3) фирмы Brown&Shope) или выносят привод перемещения портала в специальную стойку, расположенную у заднего края основания КИМ (UPMC CARAT фирмы Carl Zeiss).



Мостовые КИМ

Коретка с пинолью перемещается по подвижной траверсе, базированной на горизонтальных неподвижных балках, установленных на колоннах. Используют для контроля крупногабаритных изделий различного класса точности.

Фирма Carl Zeiss выпускает мостовую КИМ "CenterMax" для контроля в цеховых условиях среднегобаритных деталей.



Координатная измерительная рука

Позволяет создать компьютерную модель по реальному образцу (реверсинг инжиниринг). Может использоваться для контроля деталей с невысокими требованиями к точности.



Столечные КИМ с горизонтальной пинолью

Используется в основном для контроля сварных, штампованных, литых и других деталей и узлов невысокой точности. Могут встраиваться в конвейер и работать как измерительные роботы, обеспечивая промежуточный контроль между операциями



механической обработки или сборки.



Консольные КИМ

Контроль среднегабаритных деталей в цеховых условиях. В основном - ручное управление (например, КИМ ScanMax фирмы Carl Zeiss). Иногда для технологического контроля применяют консольные автоматизированные КИМ с защитным ограждением кабинного типа (Sf activ фирмы Brown&Shope)



Многогостержневая (гексаподная) КИМ

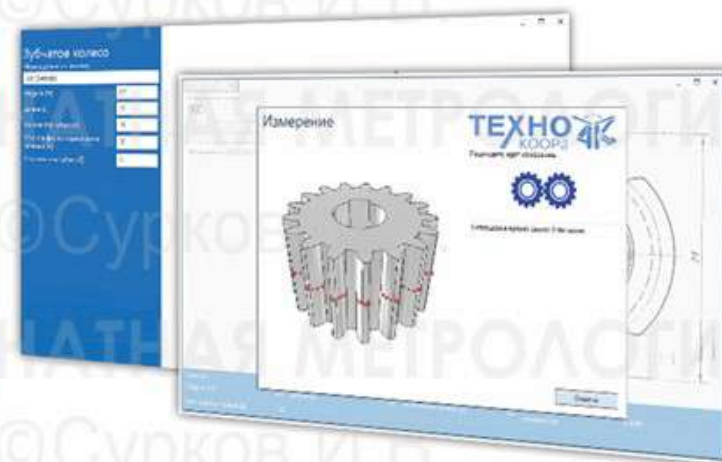
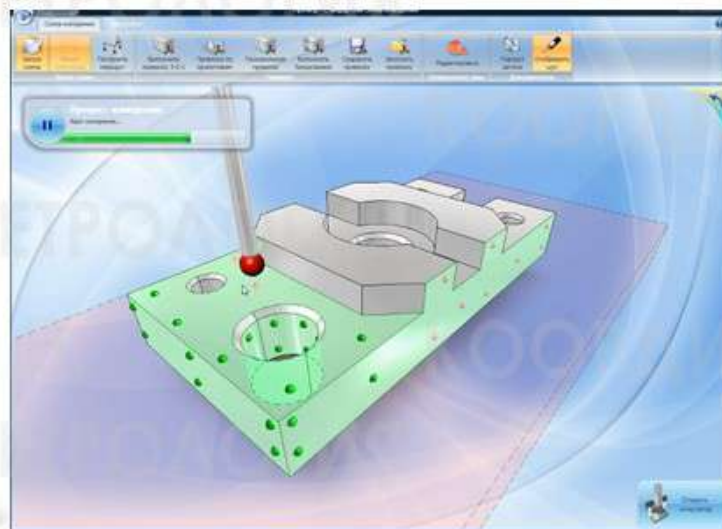
Принципиально новая разработка российской фирмы ЛАПИК (г. Саратов). Шестигостержневая оптико-механическая система одновременно и согласованно перемещает в рабочем пространстве платформу с измерительным датчиком по шести координатам, что обеспечивает хороший доступ к измеряемым поверхностям. КИМ может работать как в измерительной лаборатории, так и в цеховых условиях.



Специализированные КИМ и КИС



2. **Программно-методическая часть** – это, прежде всего, базовый комплекс информационно-методических материалов (стандарты, технические условия, эксплуатационная документация, методики выполнения измерений), интеллектуальных ресурсов (уровень подготовки, практический опыт и навыки инженеров-метрологов и операторов координатной измерительной техники), специализированного метрологического программного обеспечения (ПО) высшего уровня для координатных измерений. Современное ПО для координатных измерений является многофункциональным, объединяет возможности CAI (computer-aided inspecting (автоматизированный контроль размеров) – обеспечивает режим управления измерительным оборудованием в «реальном» времени, функции получения и анализа измеренных данных, расчета заданных линейно-угловых параметров) и CAIP (computer-aided inspection planning (автоматизированное планирование (проектирование процессов) контроля) – выполняется разработка и отладка технологий контроля) систем.

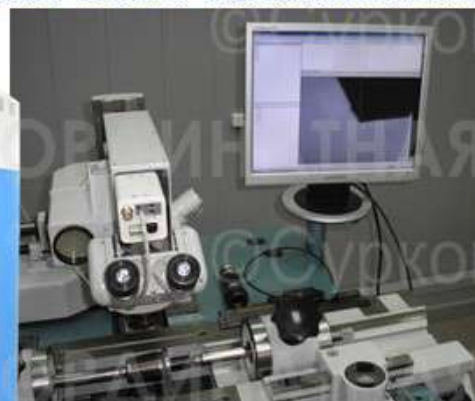




Внедрение методики координатных измерений в России сдерживается из-за ряда факторов:

- высокая стоимость новой КИМ (100...500 тыс. евро, уникальные КИМ – до 1 млн. евро) и программного обеспечения (примерно 15...25 тыс. евро за базовое ПО и по 5...10 тыс. евро дополнительно за каждый специализированный программный модуль, например, для контроля параметров зубчатых колес, резьбовых поверхностей, турбинных лопаток и т.д.);
- большая часть КИМ и ПО поставляются на наш рынок зарубежными производителями (раньше это были в основном фирмы из «недружественных» стран (DEA, Zeiss, Leitz и др.), сейчас акцент сместился на предприятия из Китая и Индии), что увеличивает время поставки оборудования и запчастей, ставит предприятия России (в том числе оборонные) в зависимость от политической конъюнктуры и законодательных ограничений других государств. Единственный российский производитель универсальных КИМ – фирма «ЛАПИК» (г. Саратов). Проектирование и мелкосерийное производство специализированных КИМ и КИС осуществляется в ЗАО «ЧелябНИИконтроль». **Как и в большинстве сложных технических изделий в измерительном оборудовании используются импортные комплектующие и компоненты, многие из которых не имеют российских аналогов;**
- отсутствие на большинстве машиностроительных предприятиях подготовленных кадров: инженеров-метрологов, контролёров, операторов-наладчиков КИМ. Нет целевых образовательных программ по подготовке и переподготовке специалистов в области автоматизации технического контроля и координатной метрологии;;
- нет крупных НИИ и организаций, выполняющих масштабные НИОКР в области координатной метрологии, отсутствуют соответствующие задачи в паспортах научных специальностей;
- **задачи разработки и расширения производства измерительных приборов и систем исключены из приоритетных программ развития станкостроения;**
- практически отсутствует нормативное и методическое обеспечение координатной метрологии: стандарты, руководящие материалы, методики выполнения координатных измерений типовых деталей.

Координатно-измерительная техника разработанная ЗАО «ЧелябНИИконтроль»



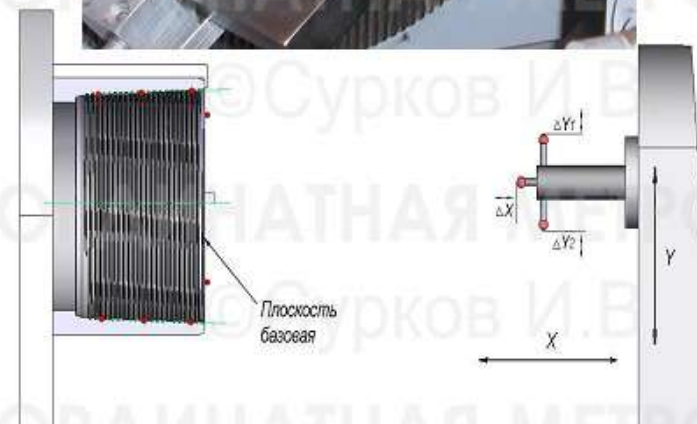


В 2006-2008 гг. изготовлены и внесены в Госреестр средств измерения двухкоординатный измерительный прибор НИИК-481KM2 (для контроля резьбовых калибров нефтегазового сортамента) и трехкоординатная многофункциональная измерительная система НИИК-484 (для контроля параметров зубчатых колес, червячных фрез, долбяков). Управление приборами, перемещение узлов осуществляет оператор, съем измерительной информации, расчеты, оформление протоколов автоматизированы за счет использования ПО «ТЕХНОкоорд».



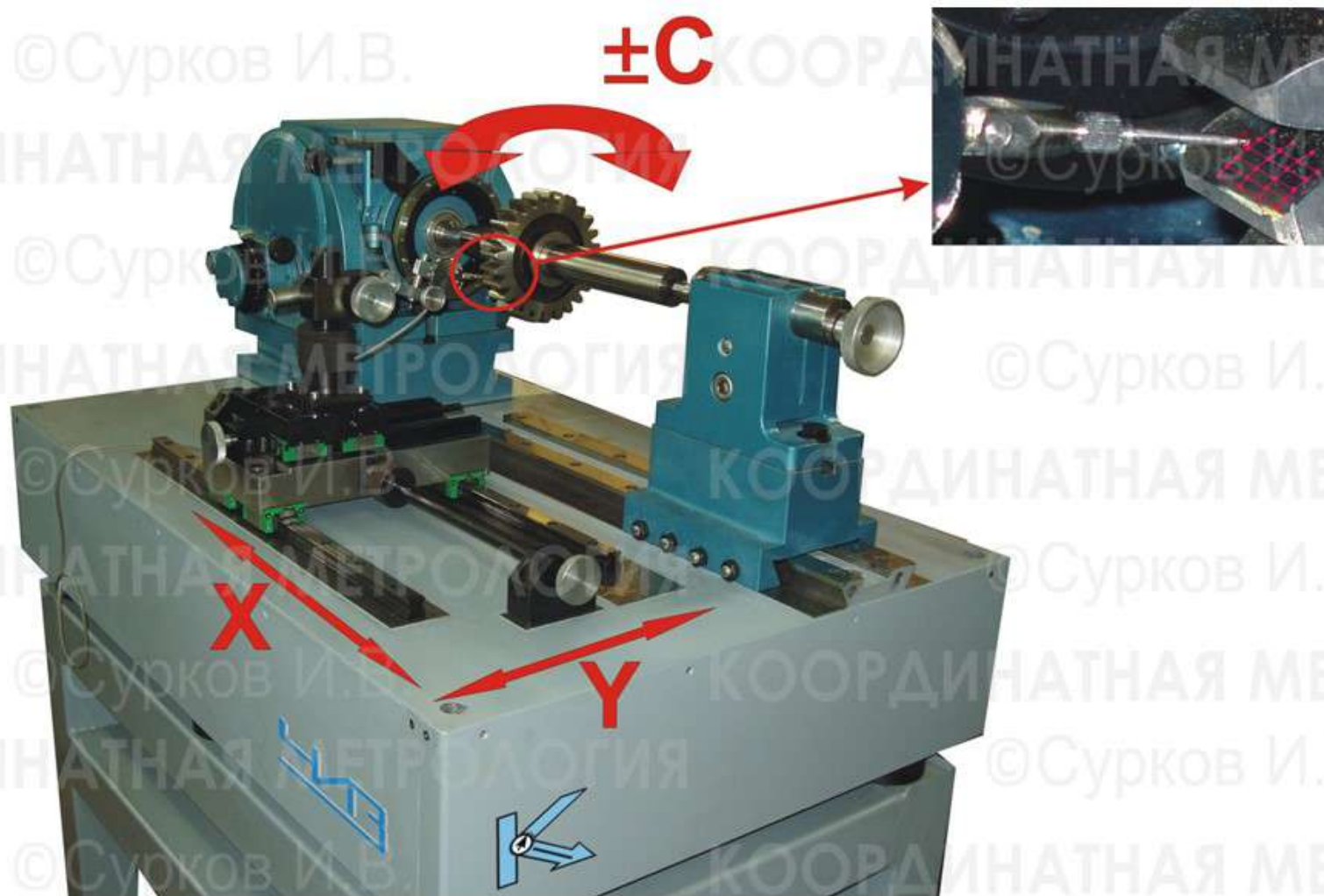


Двухкоординатный прибор для измерения резьбовых калибров НИИК-481KM2



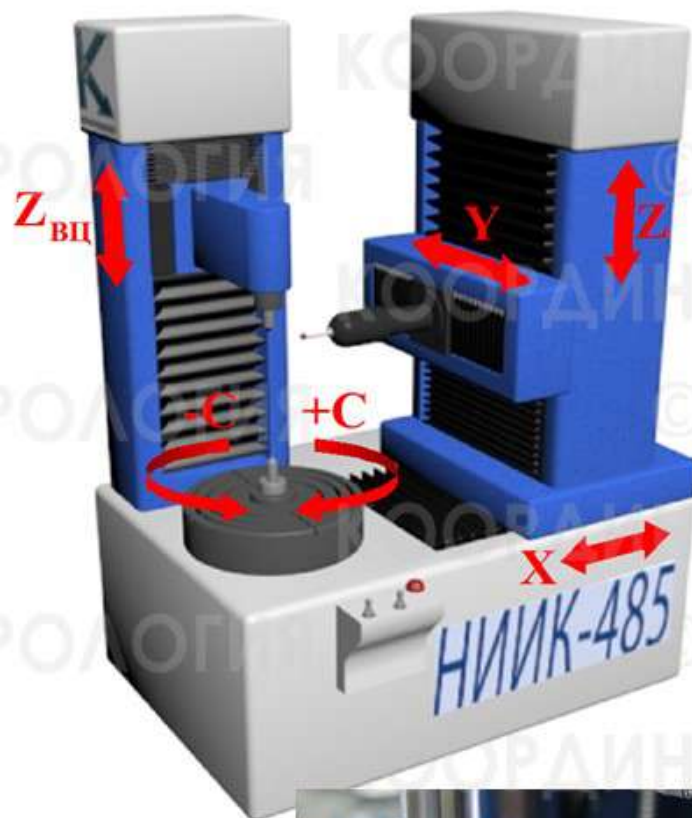


Прибор универсальный трёхкоординатный с ручным управлением НИИК-484

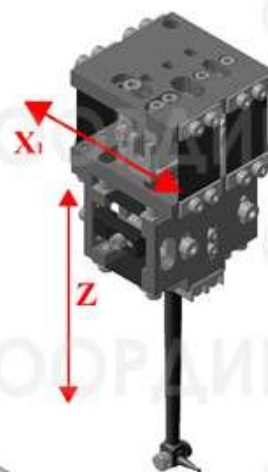
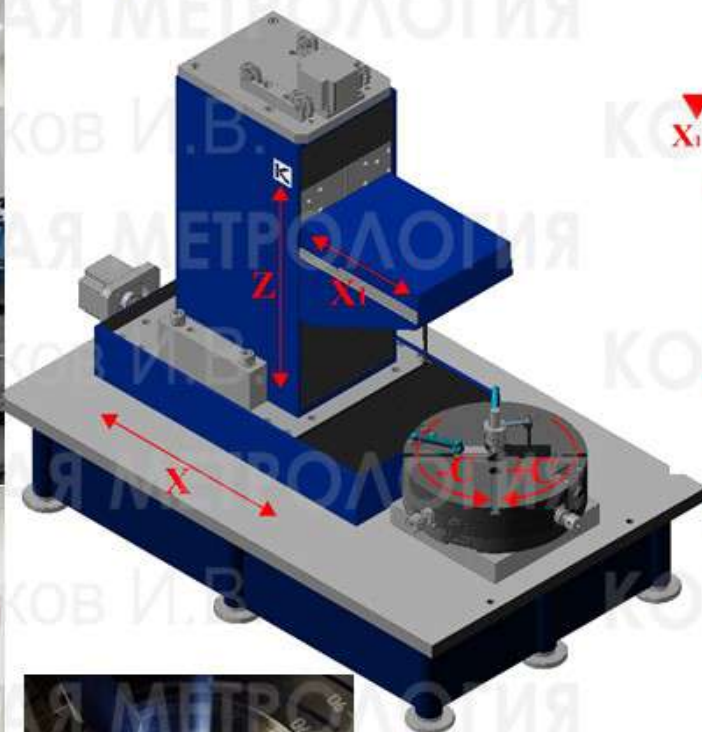




Четырехкоординатные измерительные системы НИИК-483 и НИИК-485



Координатно-измерительная система НИИК-481КМЗ (ЗАО «ЧелябНИИконтроль»)



ИГО НИИК-881





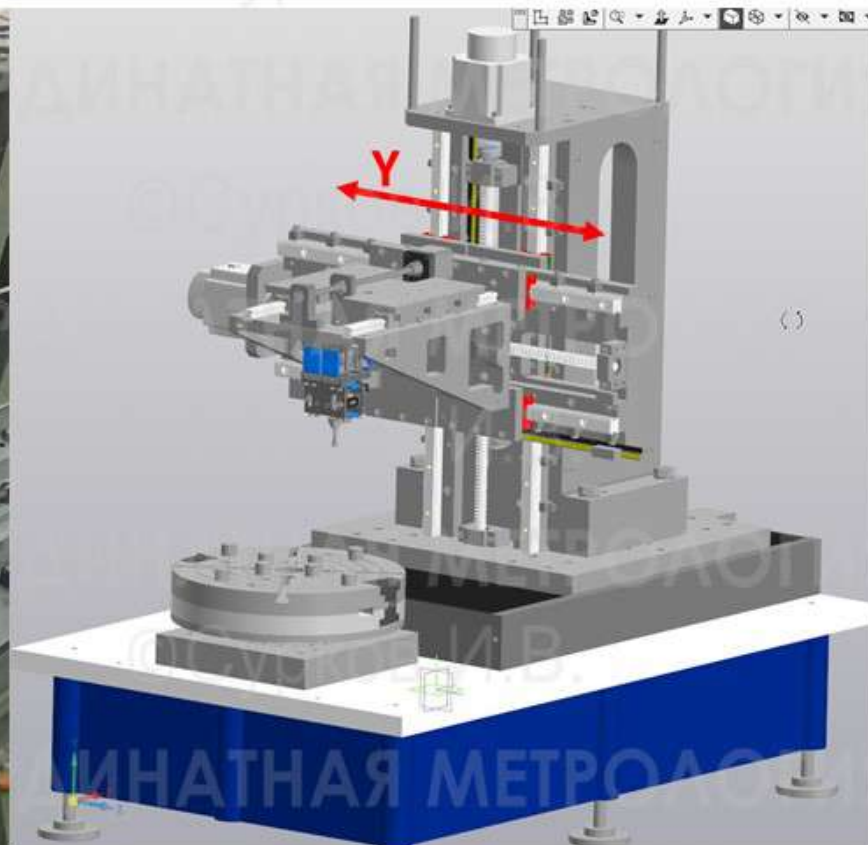
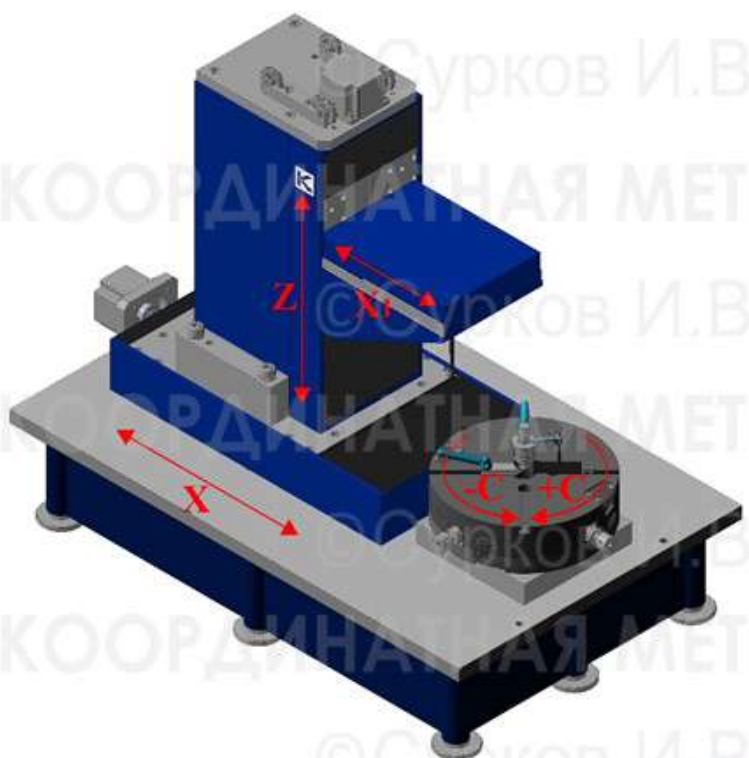
Пример 2D измерительной головки НИИК-881





Координатно-измерительная система НИИК-481КМ4 (или НИИК-485)

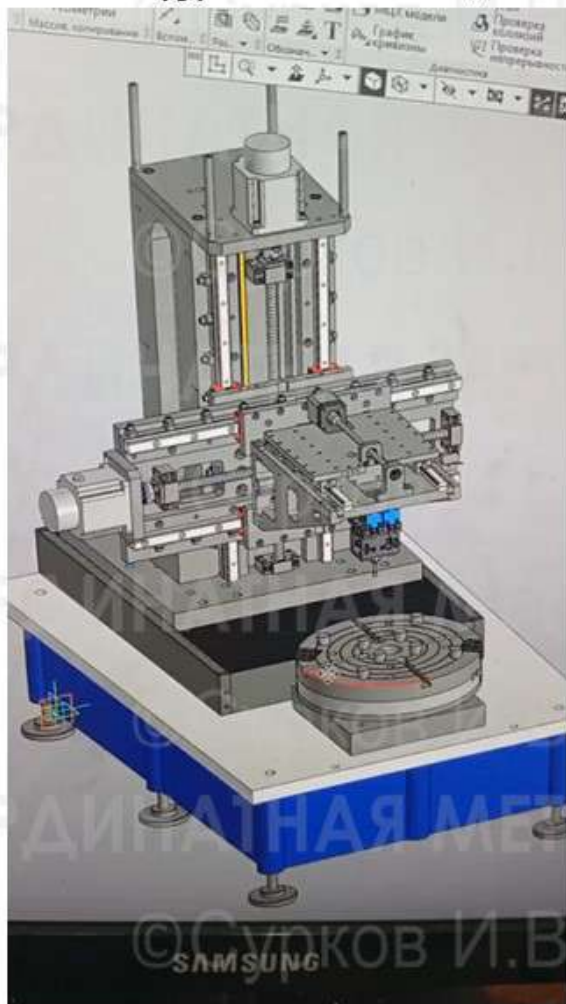
В настоящее время конструкция и ПО КИС НИИК- 481КМ3 дорабатывается. Дополнительный узел координатных перемещений по оси Y значительно расширит функциональные возможности системы, позволит измерять широкую номенклатуру высокоточных деталей и инструментов (в том числе, со сложнопрофильными поверхностями). Разрабатывается новая конструкция измерительной головки, комплект оснастки. Новая КИС по компоновке становится аналогичной опытной конструкции НИИК-485, но превосходит ее как по точности, так и по функциональным возможностям.





Координатно-измерительная система НИИК-481КМ4 (или НИИК-485)

В настоящее время конструкция и ПО КИС НИИК- 481КМ3 дорабатывается. Дополнительный узел координатных перемещений по оси Y значительно расширит функциональные возможности системы, позволит измерять широкую номенклатуру высокоточных деталей и инструментов (в том числе, со сложнопрофильными поверхностями).

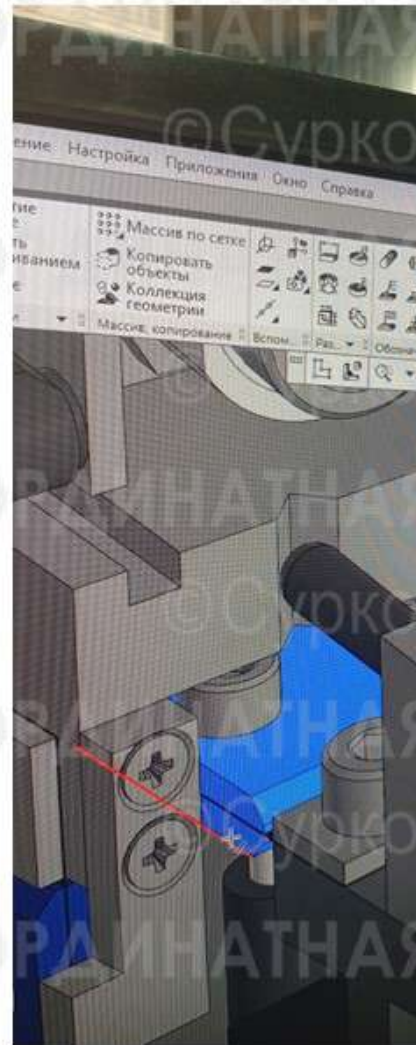
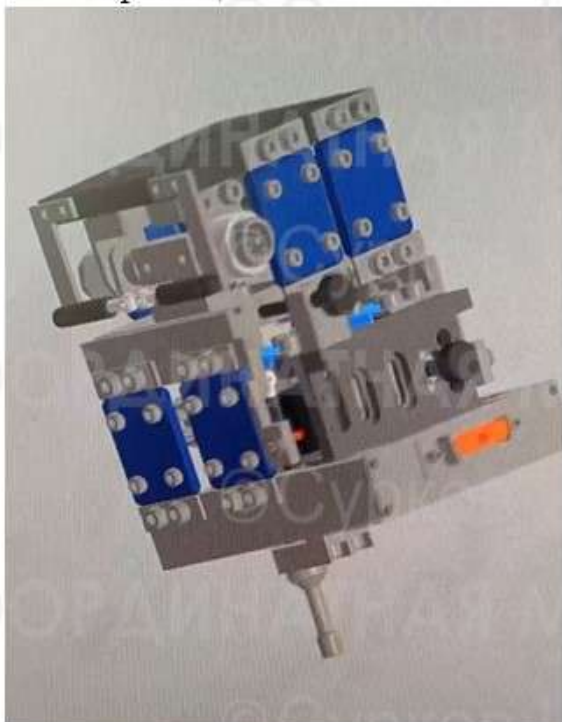


© Сурков И.В.



Разработка новой 3D измерительной головки НИИК-883

Разрабатывается несколько вариантов новой конструкции измерительной головки. Для испытаний подготовлен однокоординатный узел с двумя измерительными преобразователями, стопором (пока ручным) для блокировки перемещений.





Электронные компоненты приборов и систем

Типовые элементы управляюще-вычислительных комплексов. Разработка ЗАО «ЧелябНИИконтроль»

На основе компонентов для систем ЧПУ Bosch Rexroth

Разработана схемотехника, компоновка плат, ПО для прошивки, но 99% микросхем, разъемов импортные



Контроллер для учебных КИМ НИИК-701, 703 (разработка 2007 г, с улучшениями и доработками выпускается по настоящее время)

Новая версия контроллера (2025 г)



Контроллер для КИС НИИК-481КМЗ (2019 г)

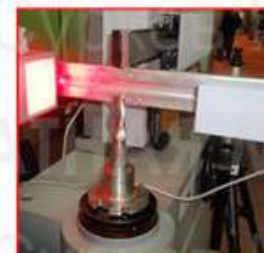
Покупные комплектующие



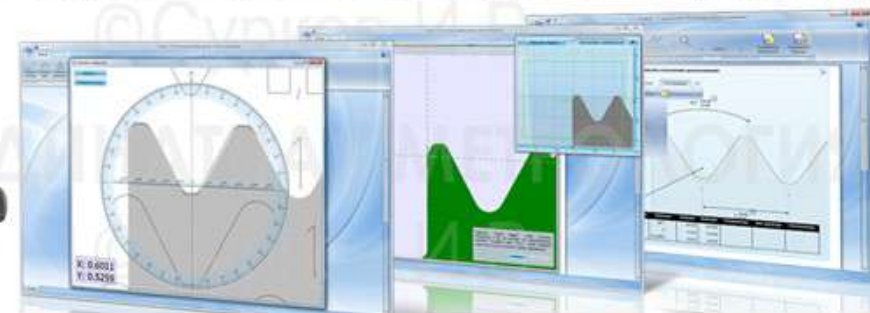


Оптико-электронная измерительная система НИИК-890 «ОптИС»

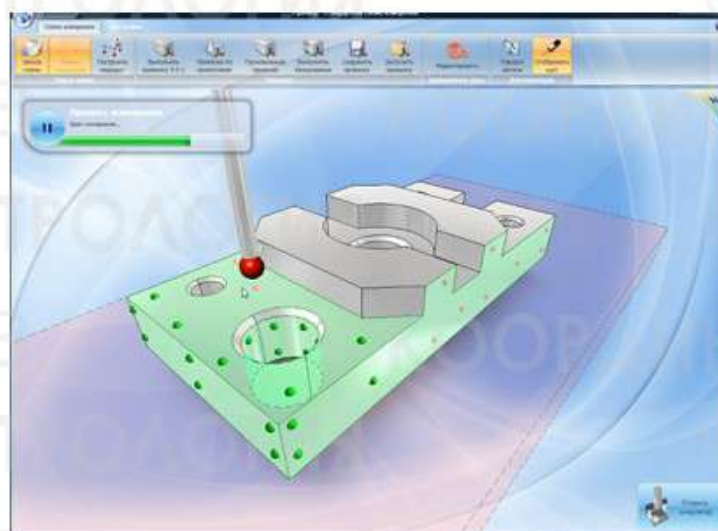
Система может быть использована как самостоятельное средство измерения, так и в качестве дополнительного модуля при модернизации различного измерительного оборудования (микроскопы, координатные измерительные машины (в том числе НИИК- 701)).



Модернизация инструментальных микроскопов (УИМ-21, БМИ, ДИП-3)

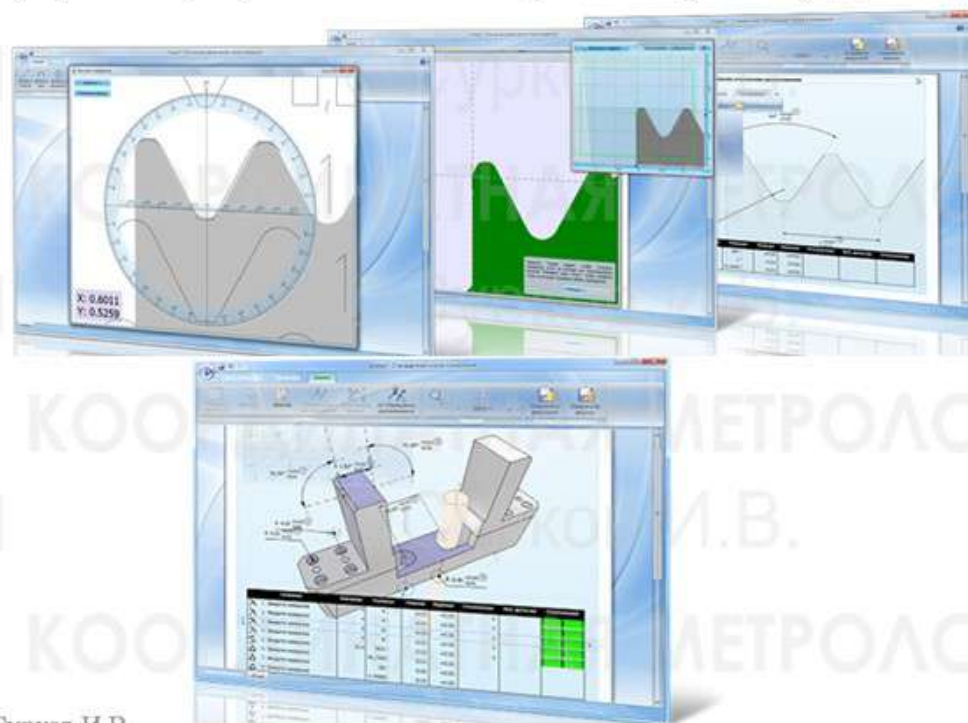
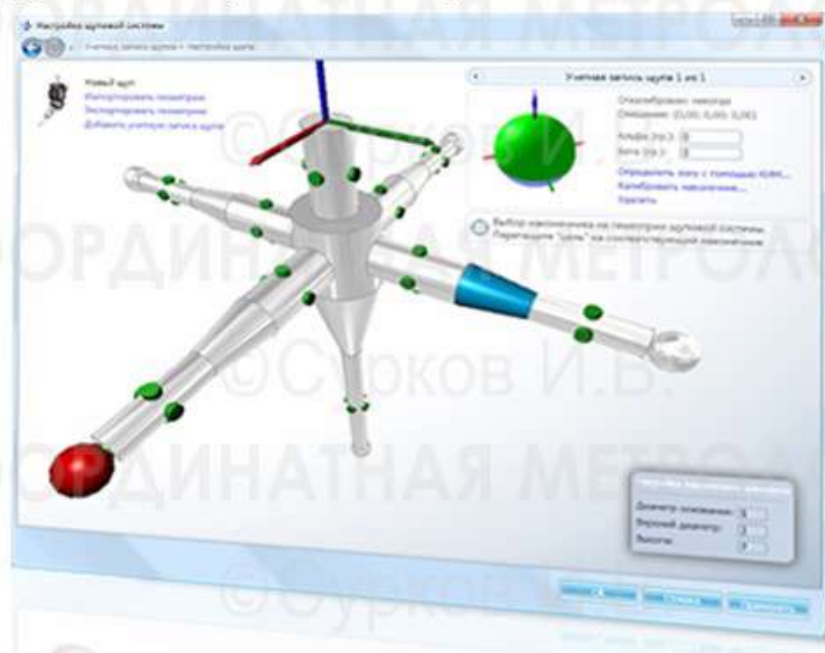


2. **Программно-методическая часть** – это, прежде всего, базовый комплекс информационно-методических материалов (стандарты, технические условия, эксплуатационная документация, методики выполнения измерений), интеллектуальных ресурсов (уровень подготовки, практический опыт и навыки инженеров-метрологов и операторов координатной измерительной техники), специализированного метрологического программного обеспечения (ПО) высшего уровня для координатных измерений. Современное ПО для координатных измерений является многофункциональным, объединяет возможности CAI (computer-aided inspecting (автоматизированный контроль размеров) – обеспечивает режим управления измерительным оборудованием в «реальном» времени, функции получения и анализа измеренных данных, расчета заданных линейно-угловых параметров) и CAIP (computer-aided inspection planning (автоматизированное планирование (проектирование процессов) контроля) – выполняется разработка и отладка технологий контроля) систем.



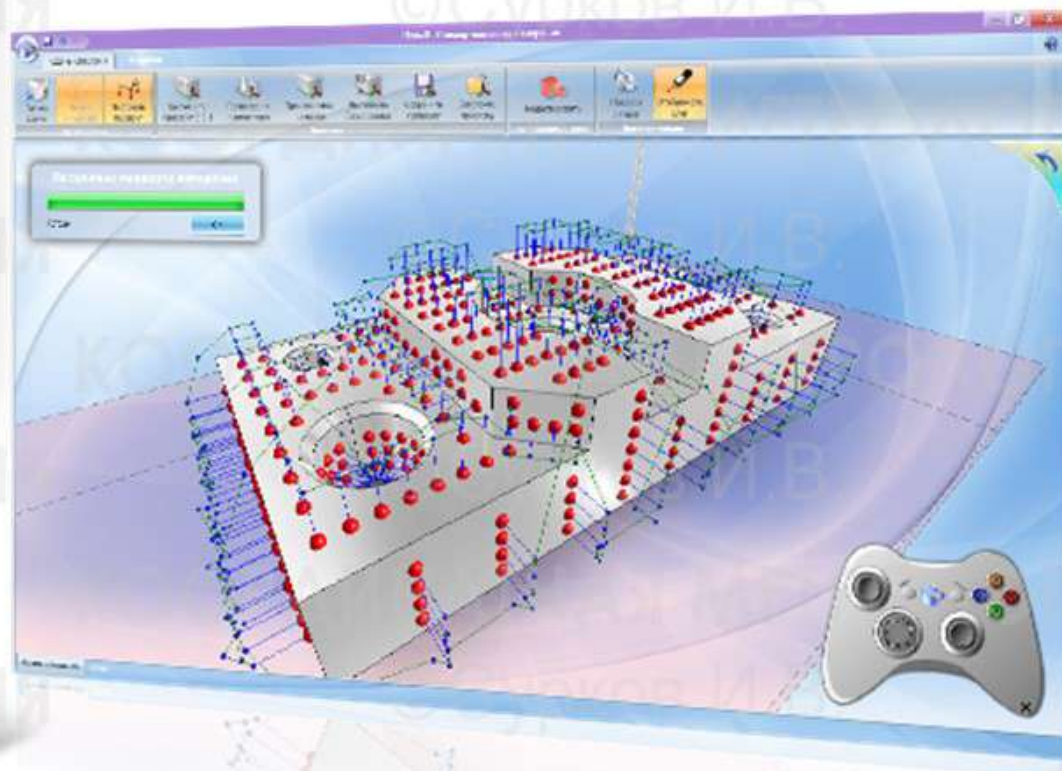


Новые и модернизированные приборы ЗАО «ЧелябНИИконтроль» оснащаются специализированным метрологическим ПО собственной разработки, которое включает в себя не только модули для получения, обработки и анализа измерительной информации, но и удобные графические интерфейсы пользователя, настраиваемые на конкретную операцию измерения, а также средства для формирования подробных отчетов, для статистической обработки результатов измерения. Разработанное программистами института ПО для КИМ «ТЕХНОкоорд» (Технология Координатных Измерений) обеспечивает работу с трехмерными моделями измеряемых деталей в соответствии со стандартами CALS-технологий. В ПО интегрированы модули для выполнения процессов калибровки аппаратной части, учета результатов калибровки при определении и коррекции координат измеренных точек.





ПО «ТЕХНОкоорд» может быть использовано не только для непосредственного управления работой КИМ в on-line режиме. При дополнительной установке лицензионного ПО на автономные компьютеры появляется возможность работать в off-line режиме (без подключения к КИМ). Виртуальная 3D-среда обеспечивает полную симуляцию процесса измерения, позволяет разработать, проверить и откорректировать управляющую программу, которая в дальнейшем может быть запущена на реальной КИМ.

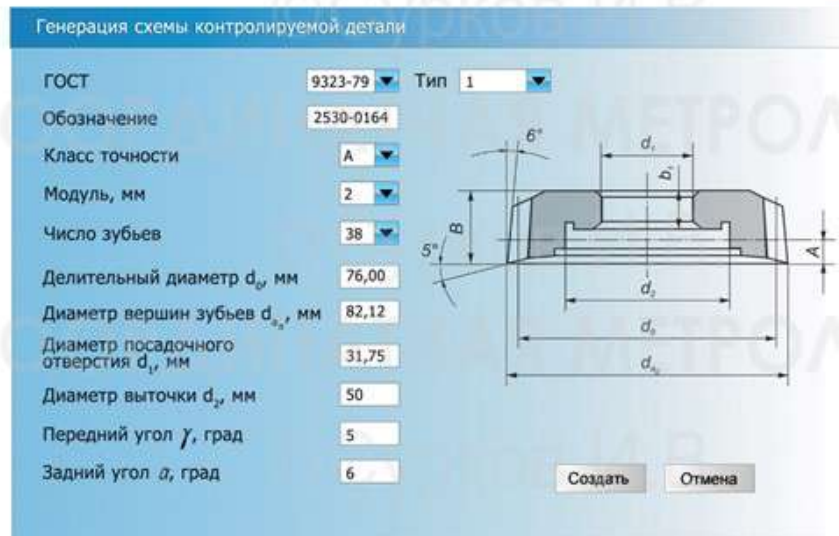
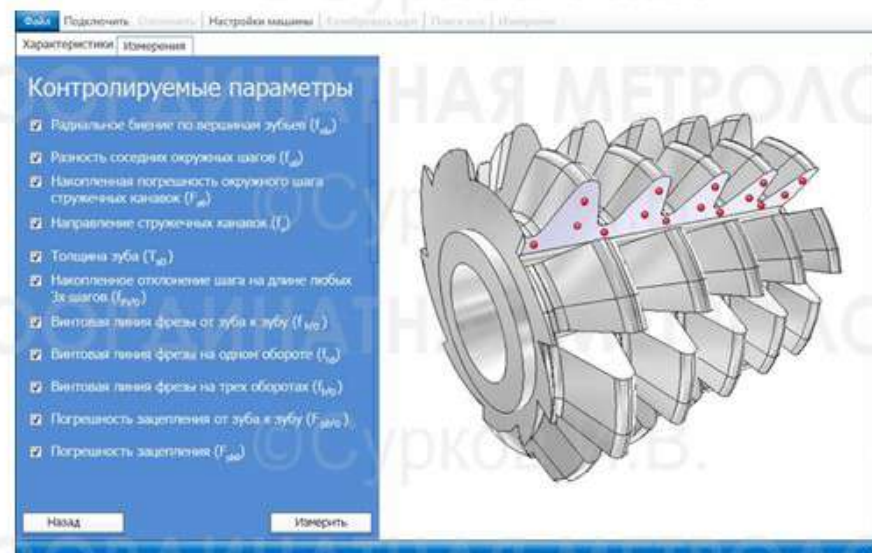


©Сурков И.В.

КООРДИНАТНАЯ МЕТРОЛОГИЯ



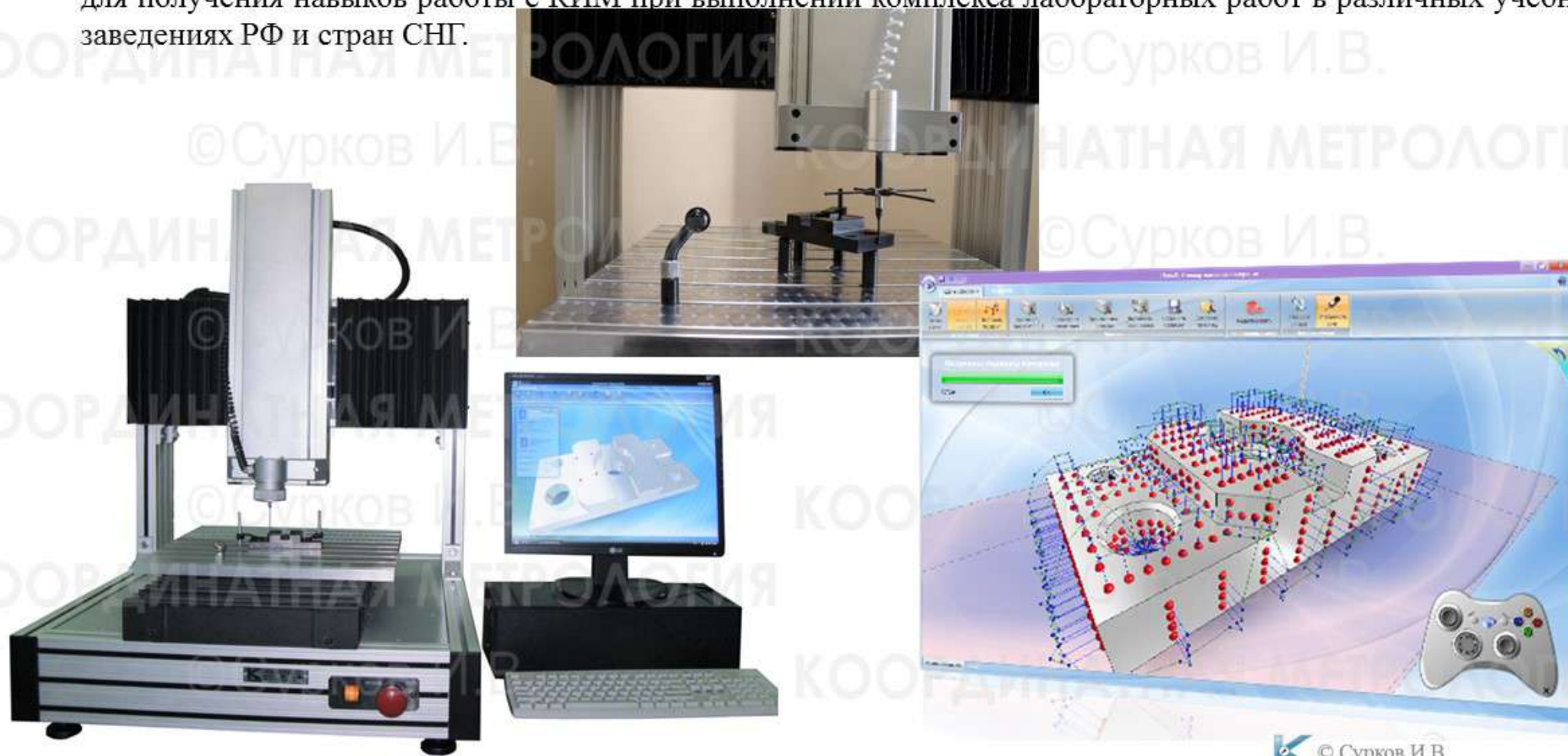
Дополнительные программные модули ПО «ТЕХНОкоорд»





Учебная КИМ НИИК-701 с ПО «ТЕХНОкоорд»

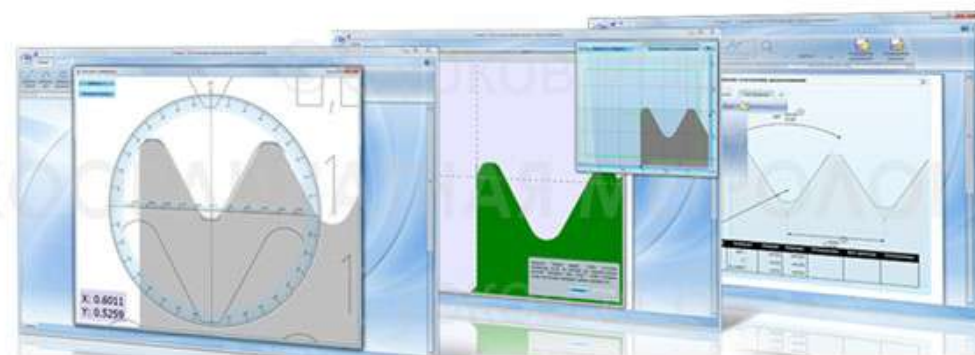
Из всей номенклатуры выпускаемого ЗАО «ЧелябНИИконтроль» координатно-измерительного оборудования универсальными (предназначенными для измерения геометрических параметров широкого круга разнообразных конструкций деталей) являются трехкоординатные учебные КИМ НИИК-701. Используются для получения навыков работы с КИМ при выполнении комплекса лабораторных работ в различных учебных заведениях РФ и стран СНГ.





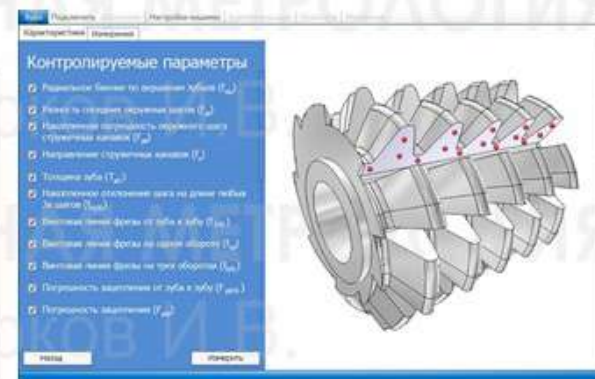
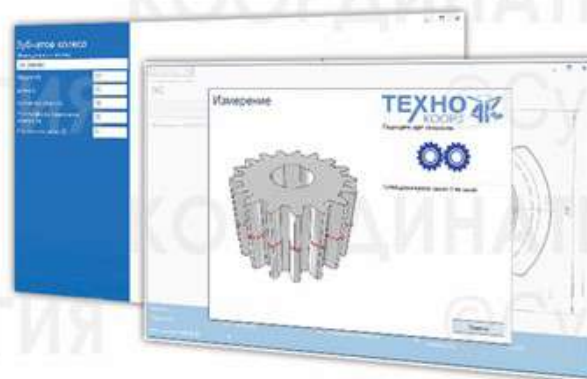
Расширение возможностей учебной КИМ достигается за счет поставки дополнительных измерительных модулей и оснастки:

- оптико-электронная измерительная система НИИК-890 «ОптИС» для изучения особенностей использования технического зрения в операциях контроля, выполняемых в автоматическом цикле





- поворотный стол с ЧПУ НИИК-703 предназначен для изучения особенностей программирования четырехкоординатных циклов измерения деталей и инструментов с поверхностями сложной формы: зубчатые колеса, резьбовые калибры, червячные фрезы и т.д.





Электронные компоненты приборов и систем

Типовые элементы управляюще-вычислительных комплексов. Разработка ЗАО «ЧелябНИИконтроль»

На основе компонентов для систем ЧПУ Bosch Rexroth

Разработана схемотехника, компоновка плат, ПО для прошивки, но 99% микросхем, разъемов импортные



Контроллер для учебных КИМ НИИК-701, 703 (разработка 2007 г, с улучшениями и доработками выпускается по настоящее время)

Новая версия контроллера (2025 г)



Контроллер для КИС НИИК-481КМЗ (2019 г)

Покупные комплектующие



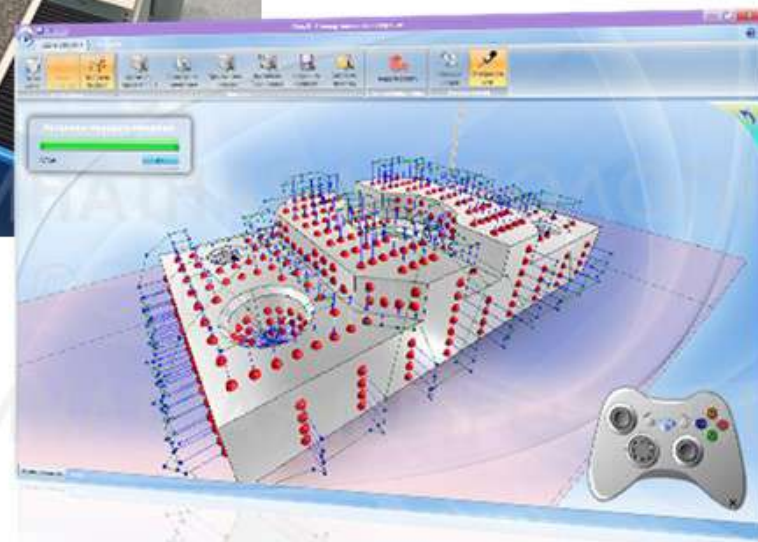
Координатно-измерительная системы НИИК-481КМ4 и НИИК-485 с ПО «ТЕХНОкоорд-4К»



Есть ли целесообразность и экономические перспективы дорогостоящей адаптации ПО «ТЕХНОкоорд» для обеспечения работы с координатно-измерительной техникой зарубежных производителей?



© Сурков И.В.



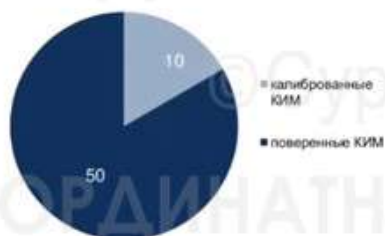


Барвинок Дмитрий Викторович – Главный метролог ПАО «ОДК-Сатурн». Скриншоты из on-line трансляции доклада «Проблемы автоматизации процессов метрологического обеспечения в машиностроении» 26.02.2025.

КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ



ПАРК КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПАО «ОДК-САТУРН»



По состоянию на январь 2025 года на территории ПАО ОДК-Сатурн эксплуатируется 60 единиц координатно-измерительного оборудования. 50 % из него работает под управлением ПО PC-DMIS.

ИСПОЛЪЗУЕМОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ



■ PC-DMIS
■ Metrolog X4
■ MARS
■ Gear
■ QUARTIS
■ CAMIO
■ Metrolog XG
■ Calypso
■ Curve Analyzer
■ QIUNDO
■ Visual DMIS

КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

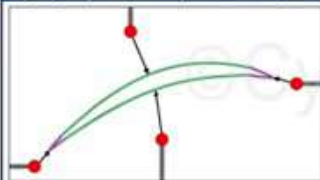


ПРОБЛЕМЫ, ВЫЯВЛЕННЫЕ В ПРОЦЕССЕ ВНЕДРЕНИЯ КИМ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ПО QUARTIS

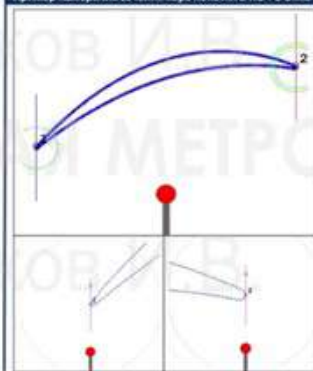
Потери времени:

- на освоение нового программного обеспечения от 2 до 6 месяцев;
- на повторную разработку и аттестацию уже имеющихся измерительных программ (включая подбор методики измерения для обеспечения корреляции) от 8 до 16 часов;
- на разработку измерительных программ для новой номенклатуры деталей из-за отсутствия определенного функционала до 50 %;
- на измерение деталей в связи с использованием неоптимальных траекторий, углов и режимов сбора точек до 30 % времени измерения.

Пример измерения сечения пера лопатки в ПО Quartis



Пример измерения сечения пера лопатки в ПО PC-DMIS



КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ



ПРОБЛЕМЫ, ВЫЯВЛЕННЫЕ В ПРОЦЕССЕ ВНЕДРЕНИЯ КИМ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ПО QUARTIS

Ограничения импортного программного обеспечения для КИМ

- Работает только под Windows;
- Отсутствие обратной связи с производителем ПО по доработке функционала;
- Риск прекращения поставки и обновления импортного ПО;
- Отсутствие универсального ПО при идентичной аппаратной части: другой производитель КИМ – другое управляющее ПО.



1

На основе анализа и обобщения информации, содержащейся в действующей нормативной документации, разработать Руководство по измерению на КИМ различных геометрических элементов и величин (линейных и неллинейных параметров, допусков формы и расположения поверхностей)

2

Разработать программное средство («транслятор»), позволяющее на основе ИП, разработанных на одном языке программирования, создавать ИП на другом языке программирования с обеспечением:
• требуемого уровня корреляции результатов измерений – до 30 % от величины погрешности на параметр;
• высокой производительности процесса трансляции – до 10 мин на 1 ИП

3

В качестве решения задачи по п. 2 рассмотреть создание «открытых» контроллера и универсального ПО для установки на любую КИМ

КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ



КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ



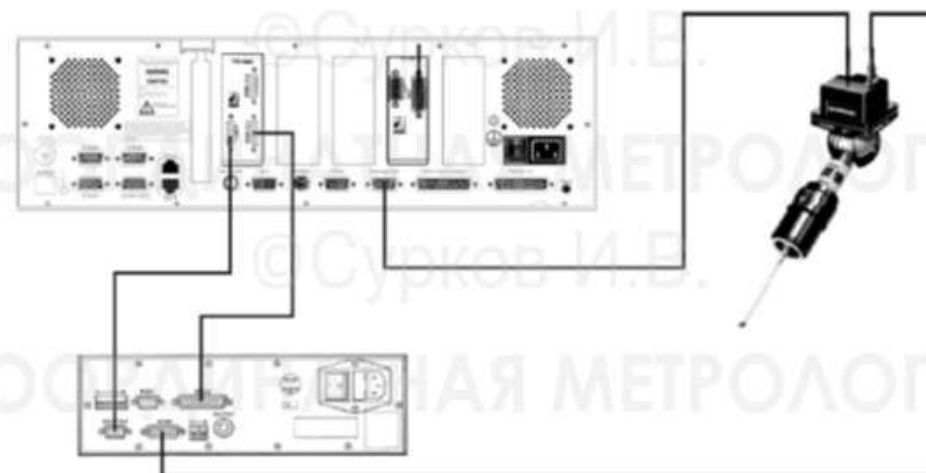
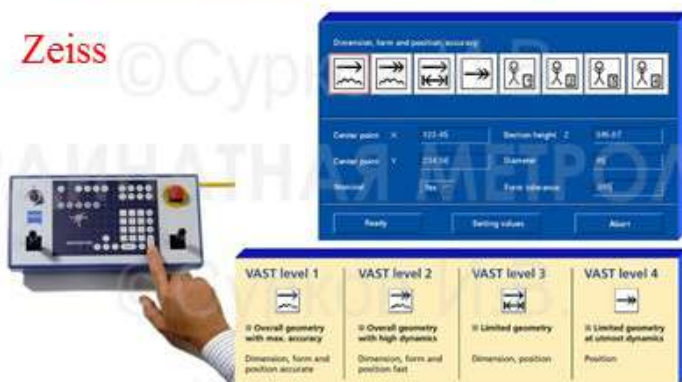
ПЛАН-ГРАФИК РАБОТ ПО ПРОЕКТУ С УЧАСТИЕМ КОМПАНИИ «ГЕОМЕРА»



Для обеспечения работы с координатно-измерительной техникой зарубежных производителей необходима дорогостоящая доработка ПО «ТЕХНОокоорд». Требуется наличие полноценного модуля сопряжения с типовыми управляюще-вычислительными комплексами зарубежных фирм. Из-за отсутствия экономической целесообразности такая работа отложена. Основное направление – разработка нового модуля GD&T анализа результатов координатных измерений с учетом современных требований стандартов ISO GPS. Дорабатывается библиотека расчетно-математических моделей (PMM).



Zeiss

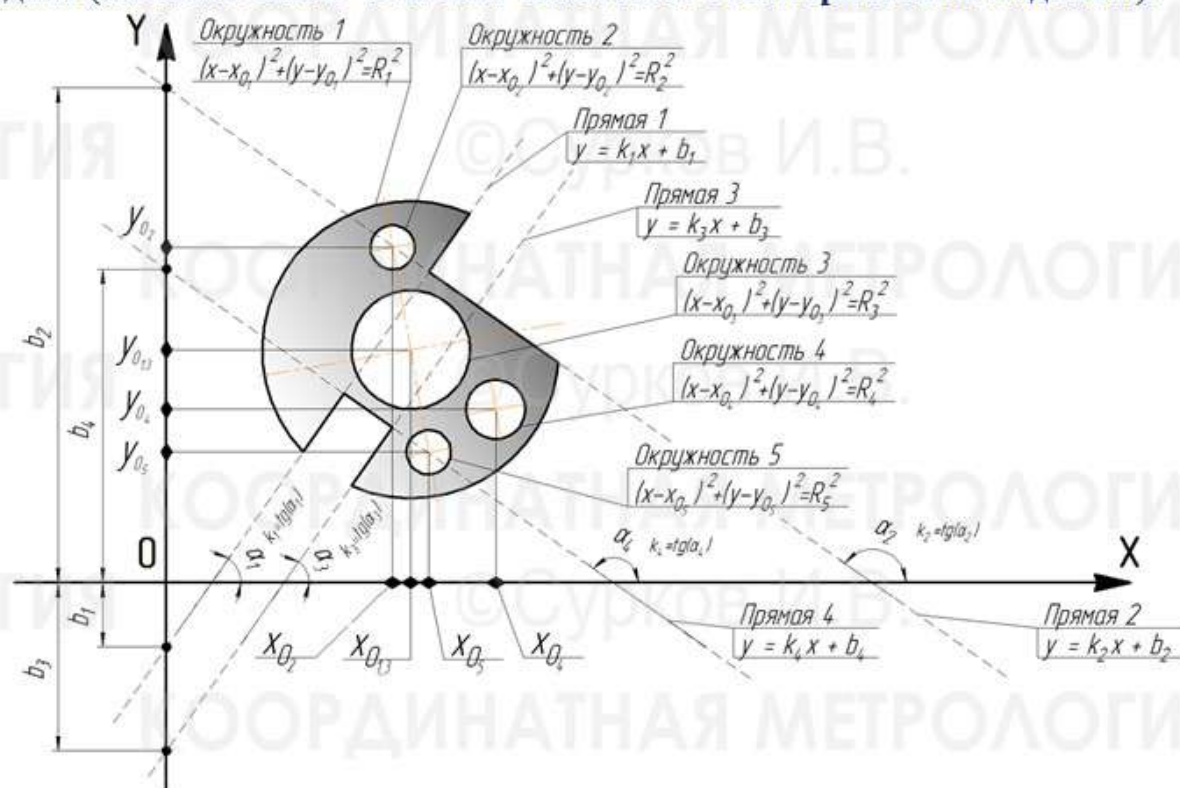
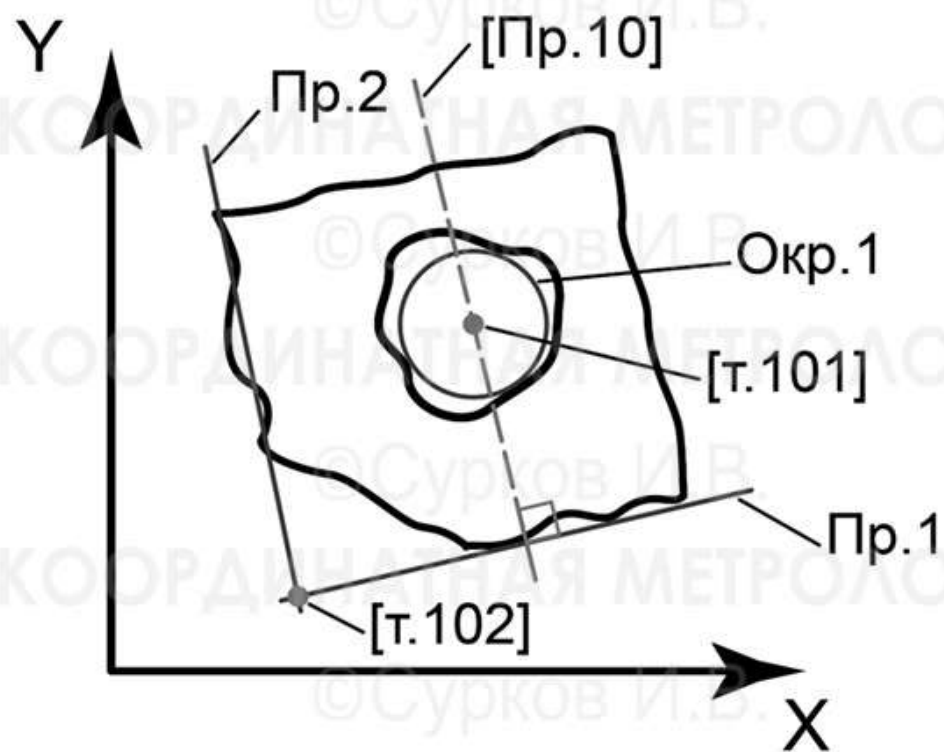


Расчетная модель (РММ) для анализа результатов координатных измерений

Расчетная (расчетно-математическая) модель для анализа результатов координатных измерений – это часть методики координатных измерений, содержащая данные о методах аппроксимации, расчетных алгоритмах и формулах, математически описывающую взаимосвязь координат измеренных точек с определяемыми линейно-угловыми параметрами.

По координатам измеренных точек, принадлежащих реальным геометрическим элементам детали (первичная информация о реальной геометрии), определяется расчетная (числовая) модель детали в виде комплекта **математических описаний** заменяющих и производных элементов, упорядоченно расположенных в обобщенной системе координат.

Структурно-геометрическая схема для определения заданных геометрических параметров предназначена для **визуализации** особенностей применяемой расчетной (математической) модели (математическое описание заменяется **геометрической моделью**).

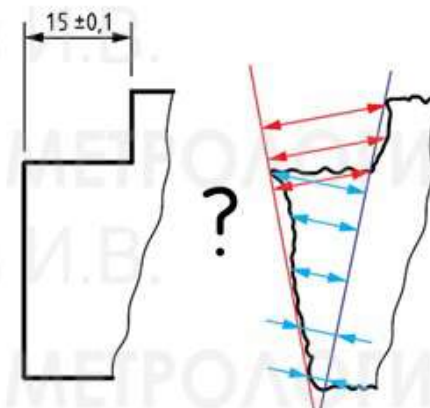
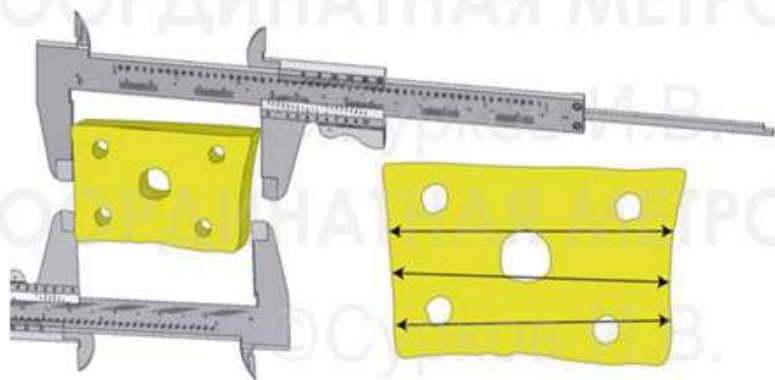




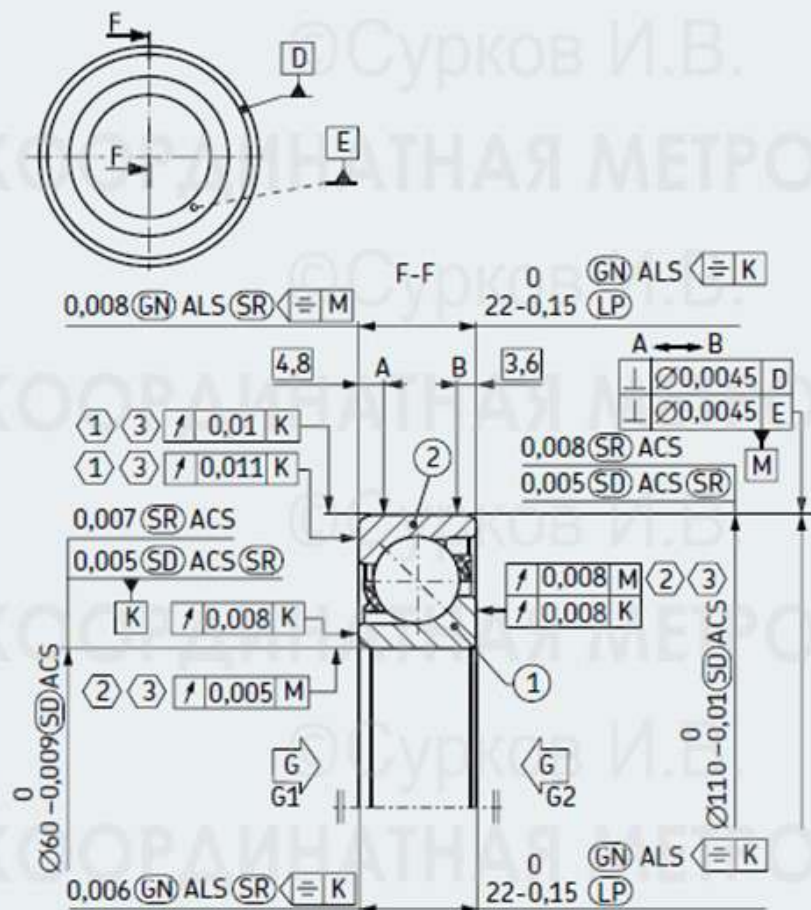
Расчетная модель (РММ) для анализа результатов координатных измерений

Поскольку точность геометрических размеров является одним из основных показателей качества деталей машин, то для проектирования ТП обработки и технического контроля необходим массив информации **полностью** и **однозначно** описывающих заданные конструктором геометрические (линейно-угловые) параметры деталей. Существующая до недавнего времени практика передачи информации посредством бумажных чертежей (с 2D видами) и устаревшая нормативная база (стандарты в РФ) не позволяет технологам и метрологам быстро и однозначно получить представление о заданных конструктором требованиях. Анализ чертежей и их согласование всеми основными участниками производственного процесса (конструктор-технолог-метролог-специалист по эксплуатации) занимает много времени и не гарантирует качество решения проектных задач.

Концепция «**Геометрические размеры и допуски**» (**Geometric dimensioning and tolerancing - GD&T**) – это прежде всего **графический язык** для однозначного и полного описания требований служебного назначения (функциональности) **конструктором** в чертежной документации. Все эти требования должны быть обеспечены **технологом** в процессе производства и их выполнение (годность детали) проверены специалистами **метрологических подразделений**.

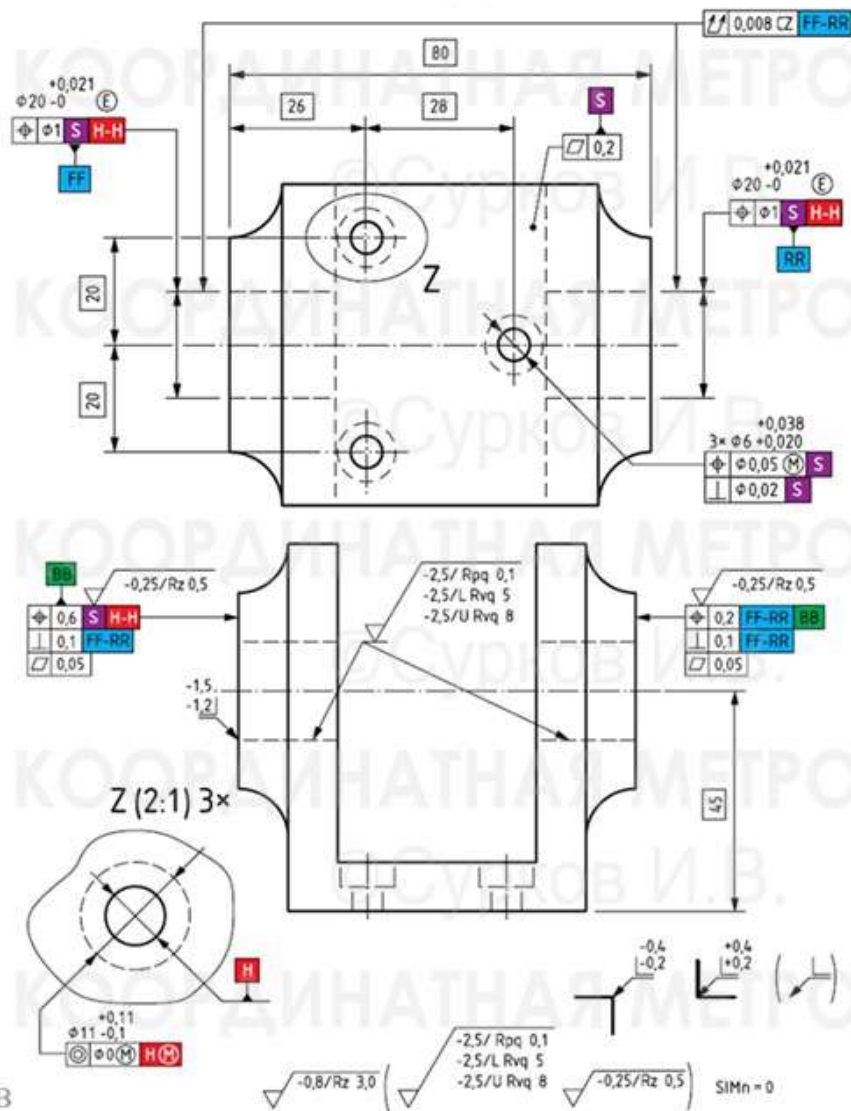


Расчетная модель (PMM) для анализа результатов координатных измерений GD&T – примеры оформления современных чертежей



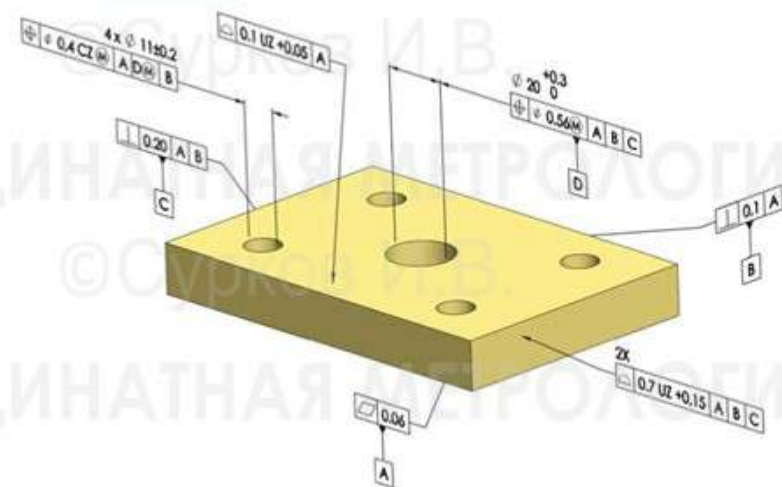
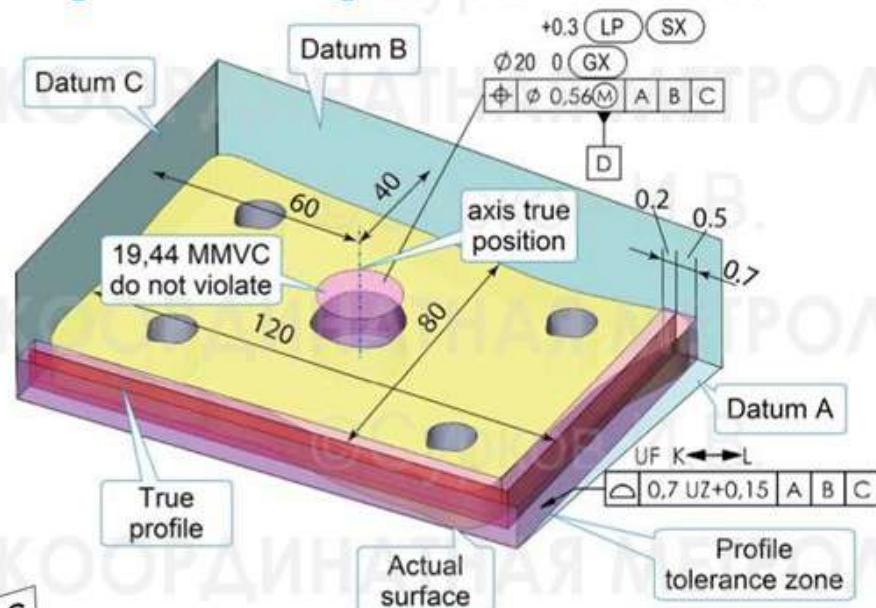
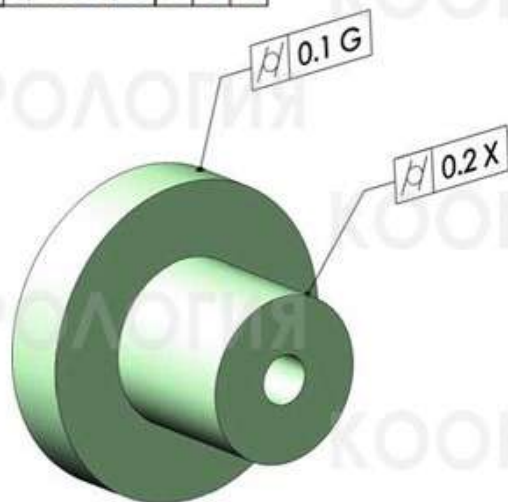
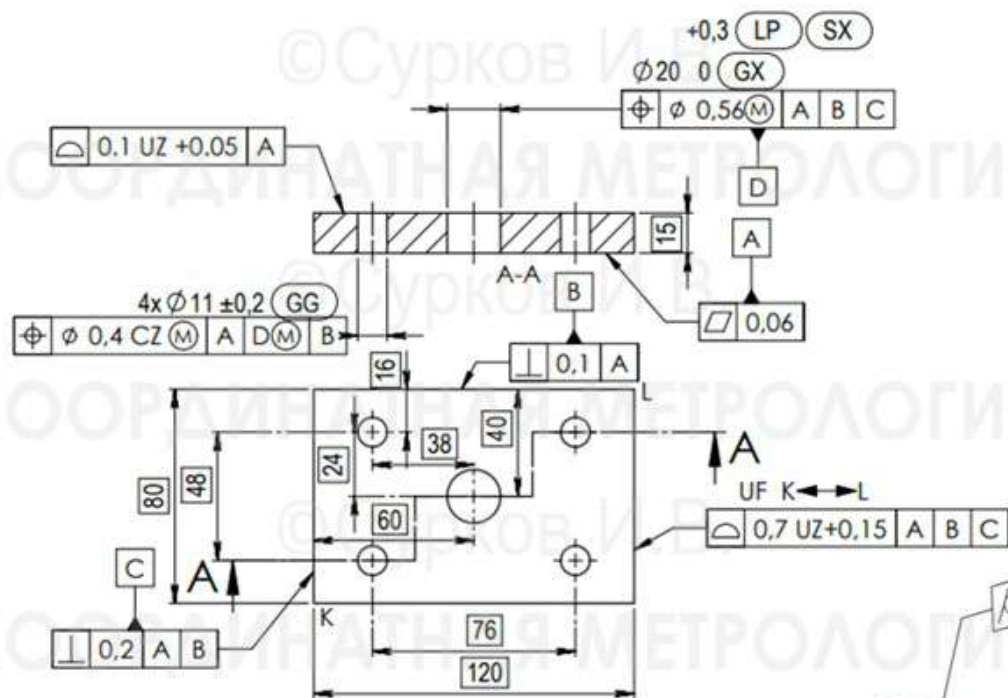
- ① = FP ① - MP ②, G1
- ② = FP ② - MP ①, G2
- ③ = the rolling elements shall be in contact with both inner and outer ring raceways

© Сурков И.В.





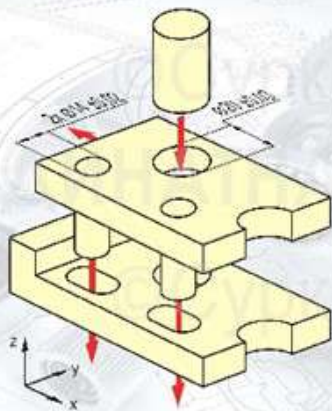
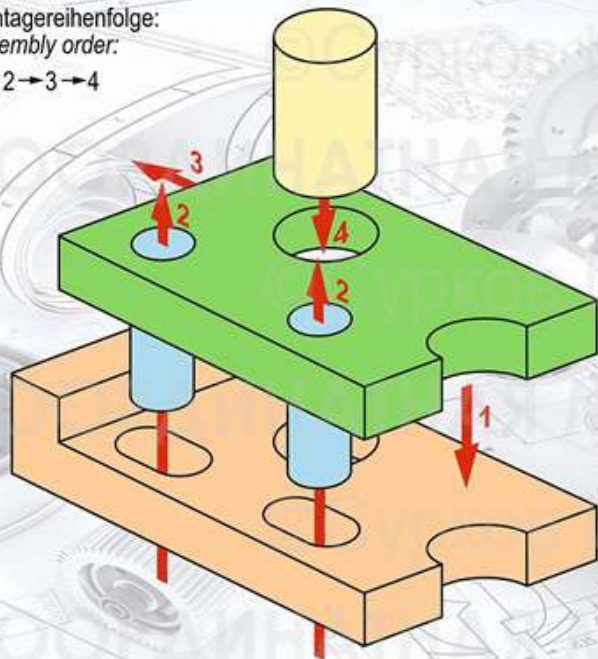
Расчетная модель (PMM) для анализа результатов координатных измерений GD&T – примеры оформления современных чертежей





Расчетная модель (PMM) для анализа результатов координатных измерений GD&T – примеры оформления современных чертежей

Montagereihenfolge:
Assembly order:
1→2→3→4



Tolerancing ISO 8015
Nominal geometry (theoretically exact) de-
fined by CAD data file XYZ55432-004.DXF
ISO 22081

$\ominus 0,2 \text{ A B-C}$

$\sqrt{Rz 12,5/-0,8}$

D

$1 \times 45^\circ$
CM T0,15

D

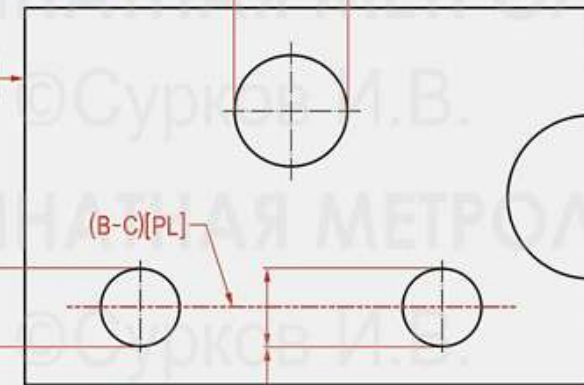
$\varnothing 20 \pm 0,03 \text{ (GX)}$

$\oplus \varnothing 0,06 \text{ (X) A (B-C)[DV][PL] D}$

$\ominus 0,2 \text{ A B-C}$
 $\perp 0,05 \text{ A (B-C)[DV][PL] D}$

D

D
 A



$+0,02 \text{ (GN)}$

$\varnothing 14 -0,02 \text{ (LP)}$

$\perp \varnothing 0,04 \text{ A}$

B

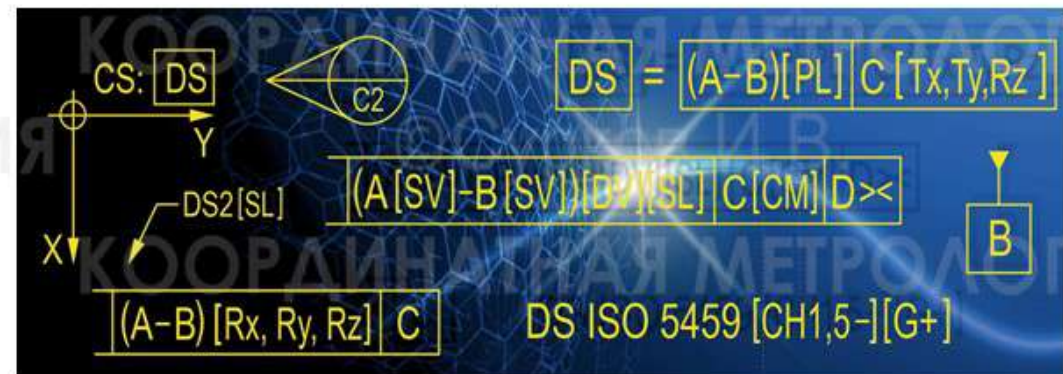
$+0,02 \text{ (GN)}$

$\varnothing 14 -0,02 \text{ (LP)}$

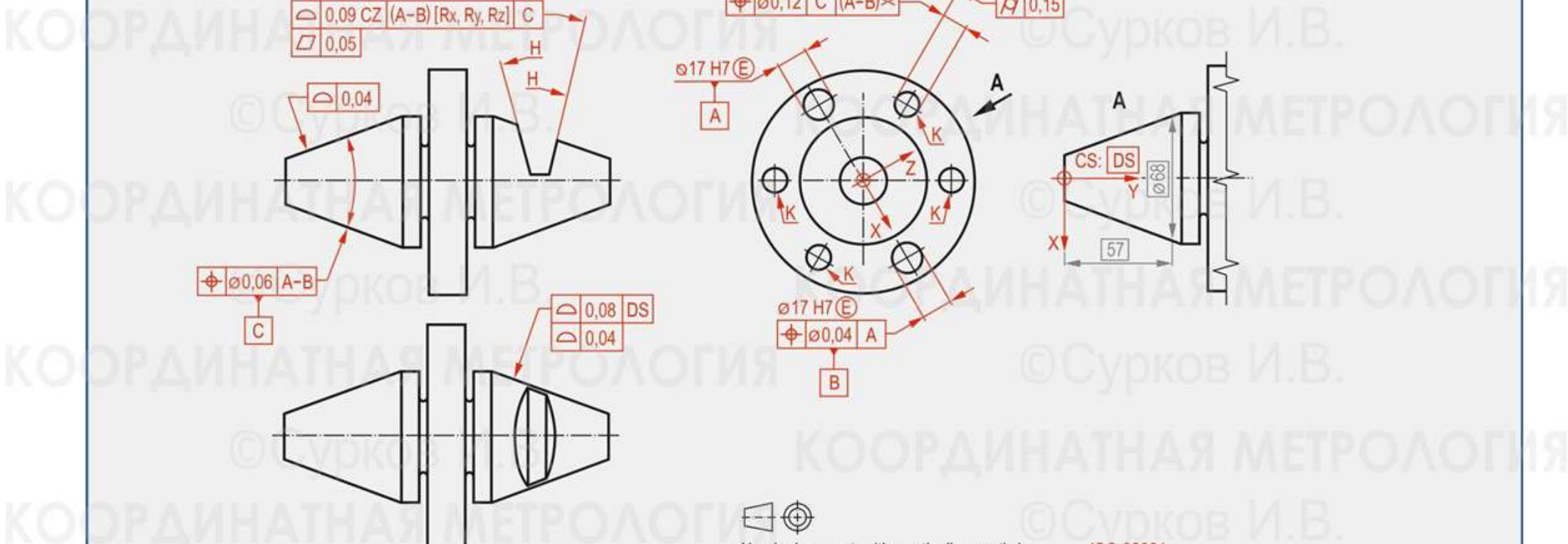
$\oplus \varnothing 0,1 \text{ A B}$

$\perp 0,04 \text{ A B}$

C

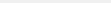


© Сурков И.В. Координатная метрология



ISO 22081

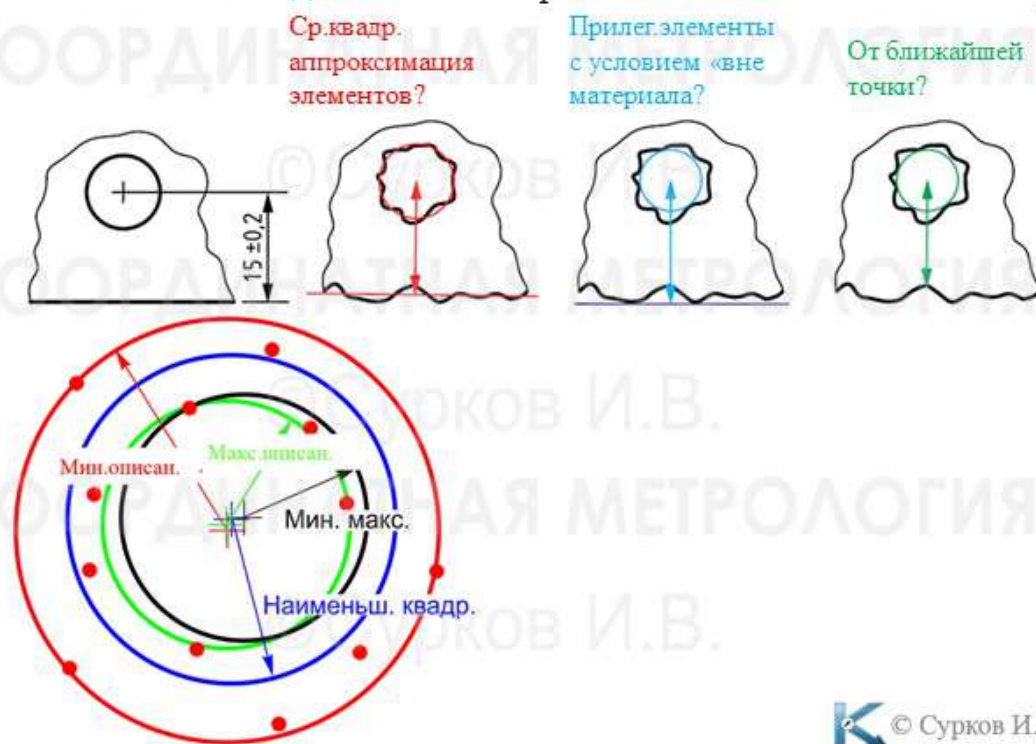
	0,25	DS
---	------	----

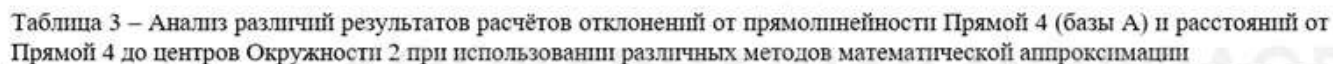
КОординатна МЕТРОЛОГИЯ  ©Сърков И.В.

Расчетная модель (РММ) для анализа результатов координатных измерений

Расчетная (числовая) модель детали используется в виде комплекта математических описаний заменяющих и производных элементов, упорядоченно расположенных в обобщенной системе координат детали. Для каждого геометрического параметра может использоваться **несколько вариантов расчетной модели** (количество зависит от возможностей ПО КИМ). ПО «ТЕХНОкоорд» (как и большинство других программных пакетов) предоставляет пользователю возможность выбора метода математической аппроксимации заменяющих элементов: **среднеквадратичная, прилегающая по условию максимума или минимума материала, по методу минимальной зоны, сплайновая. Каждый вариант аппроксимации дает разный результат расчета** действительных размеров, отклонений формы и расположения элементов контролируемой детали. Пользователь сам отвечает за правильность выбора МКИ, ориентируясь на служебное назначение детали.

Необходимо уметь выбирать оптимальный (на основе принципа приоритета служебного назначения и других принципов) вариант. Математические модели обычно скрыты от Пользователя и необходимо ориентироваться на поясняющие схемы в меню ПО.



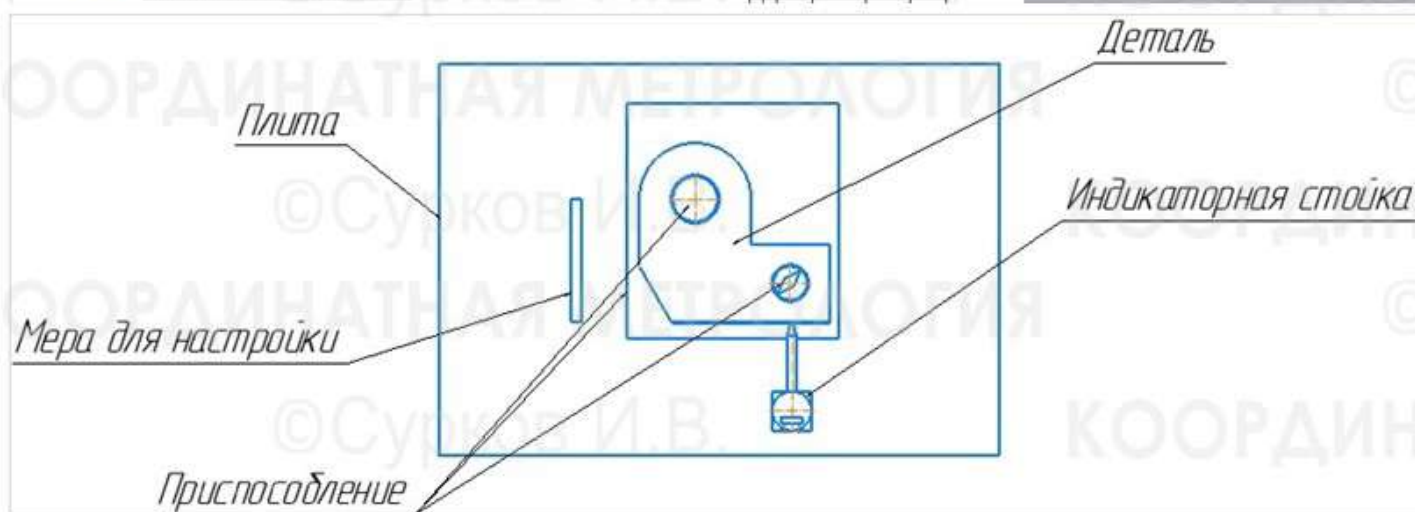
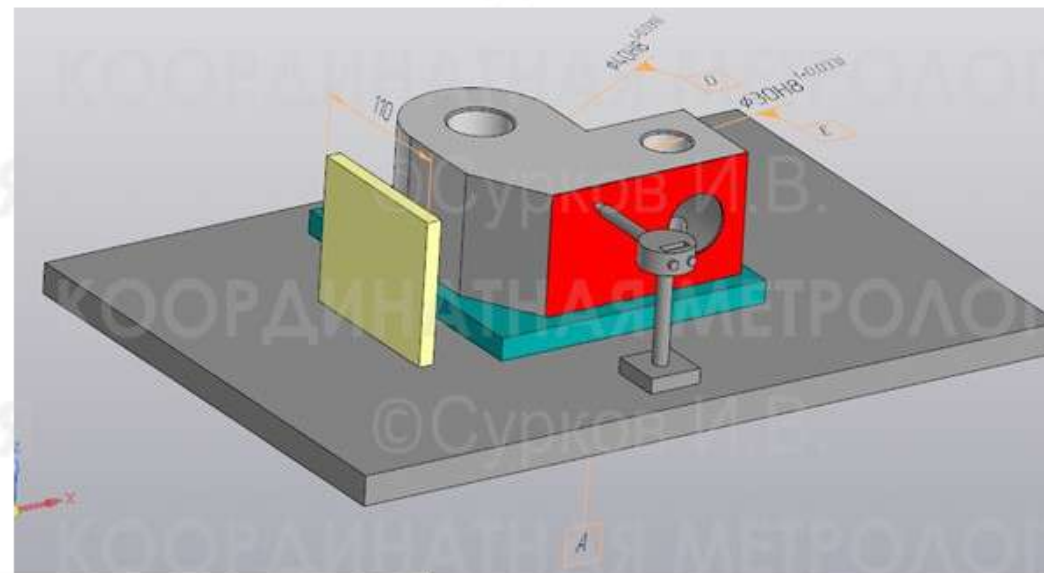
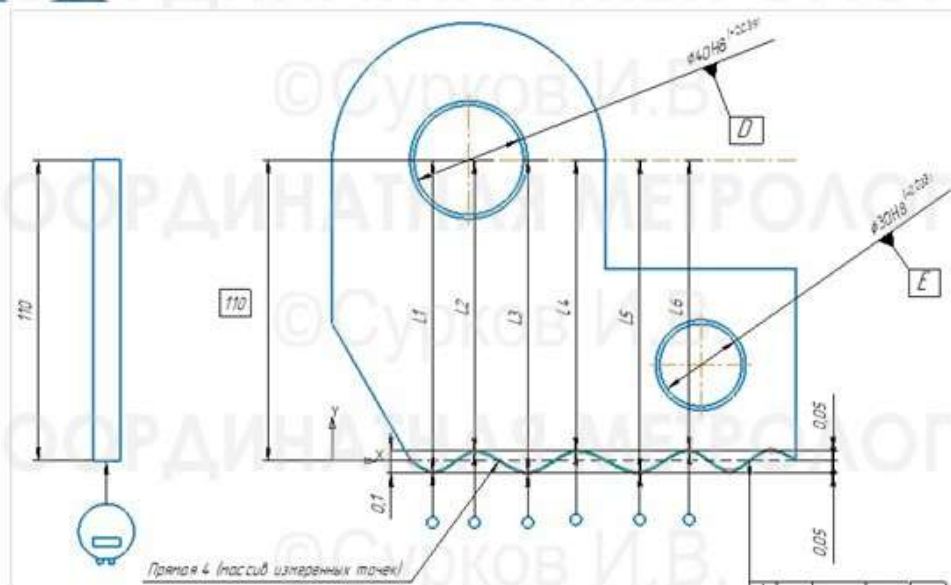


* Модификатор не стандартизирован в ISO1101:2017, математическая модель по аналогии с ISO 5459:2024

**** В редакции ISO 5459:2024**

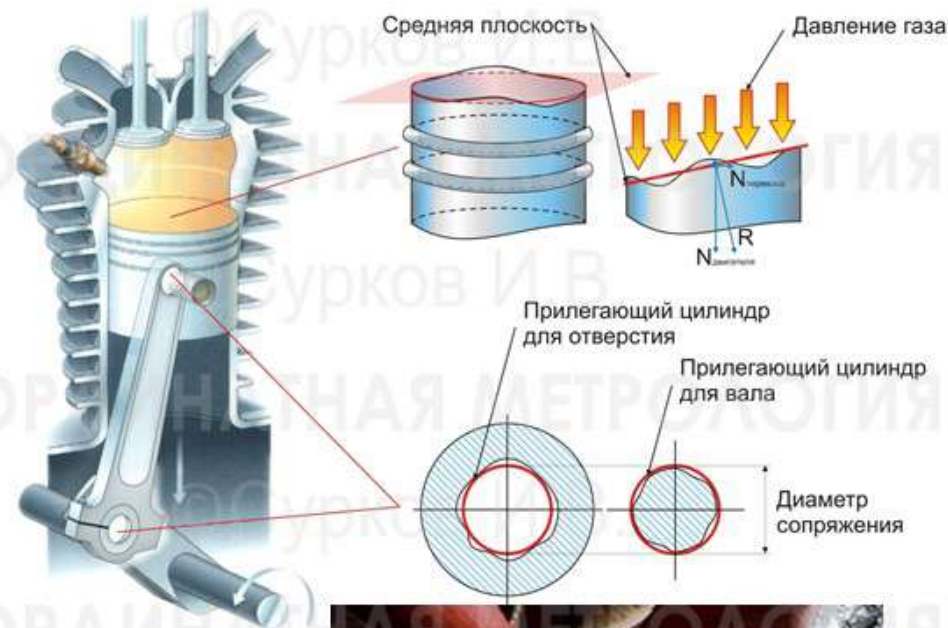
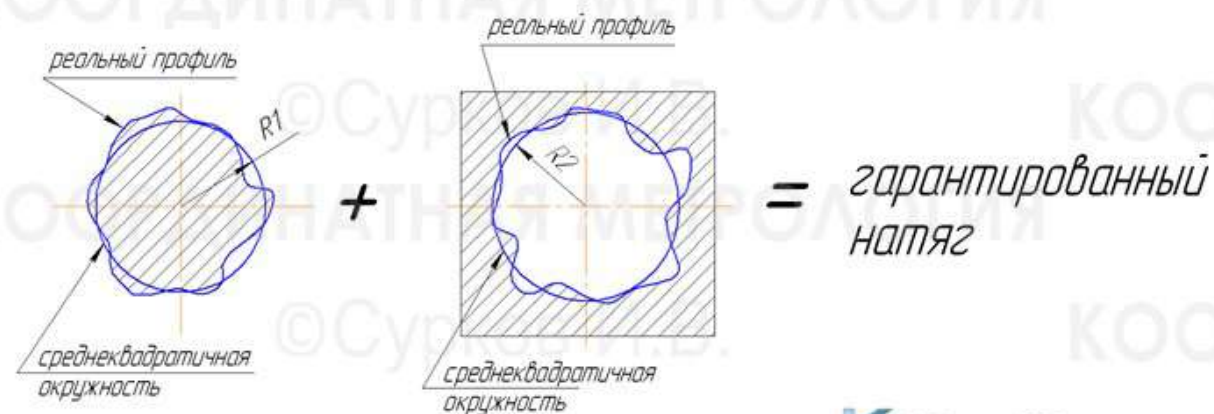
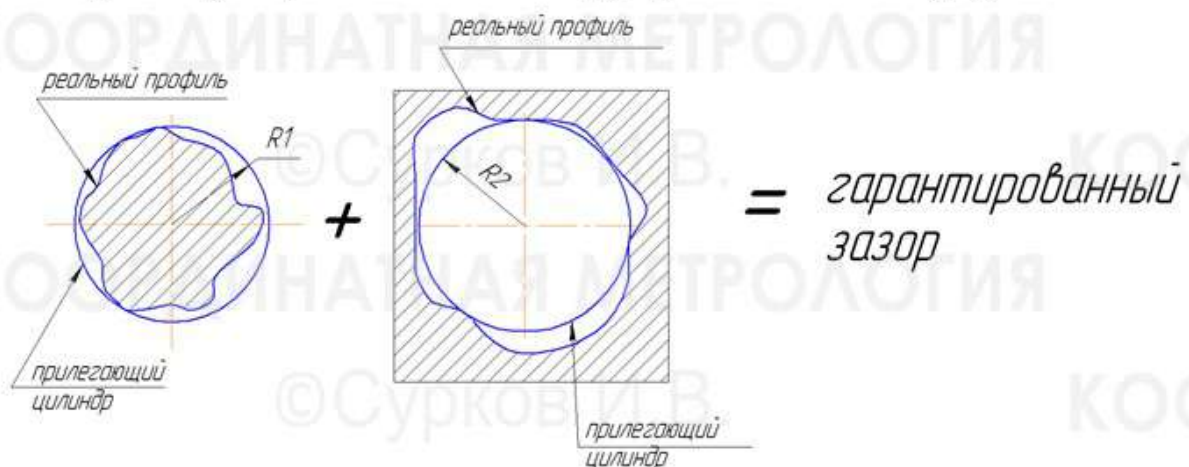


Анализ влияния метода математической аппроксимации на вариацию результата измерения



Применение различных методов математической аппроксимации в зависимости от служебного назначения:

- метод прилегания используется для определения баз, а также при сопряжениях с гарантированным зазором.
- метод минимальных зон используется для определения погрешностей формы
- среднеквадратичная аппроксимация: посадки с натягом, расчеты «размерных элементов», поверхности взаимодействующие с газо- или гидродинамической средой.



Необходимость разработки нового поколения межгосударственных и национальных стандартов с учетом положений координатной метрологии

В последние годы происходит непрерывное совершенствование нормативной базы (пересмотр базовой системы стандартов и разработка новых) с учетом положений новой концепции GD&T (Geometric Dimensioning and Tolerancing – геометрические размеры и допуски).

Поскольку точность геометрических размеров является одним из основных показателей качества деталей машин, то для проектирования технологических процессов обработки и технического контроля необходим массив информации полностью и однозначно описывающих заданные конструктором геометрические (линейно-угловые) параметры деталей. Существующая до недавнего времени практика передачи информации посредством бумажных чертежей (с 2D видами) и устаревшая нормативная база (стандарты в РФ) не позволяет технологам и метрологам быстро и однозначно получить представление о заданных конструктором требованиях. Анализ чертежей и их согласование всеми основными участниками производственного процесса (**конструктор-технолог-метролог-специалист по эксплуатации**) занимает много времени и не гарантирует качество решения проектных задач.

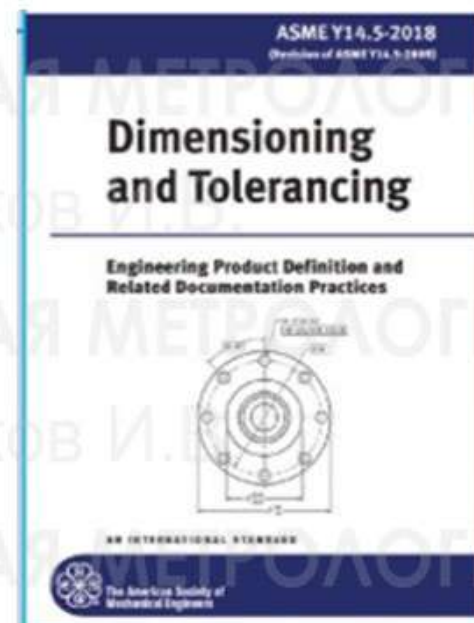
GD&T – это прежде всего графический язык для **однозначного** и полного описания требований **служебного назначения (функциональности) конструктором** в чертежной документации. Все эти требования должны быть обеспечены **технологом в процессе производства** и их выполнение (**годность детали**) проверены **специалистами метрологических подразделений** в том числе с применением современного КИП, КИМ и КИС.



Основные понятия и определения ASME GD&T

Первоначально, работа по созданию основ теории и практических рекомендаций по однозначному математическому описанию размерных параметров деталей была проведена в США в конце 1980-х, начале 1990-х гг. Концепция «Геометрические размеры и допуски» (Geometric dimensioning and tolerancing - **GD&T**) была реализована в виде стандартов **Y14.5 1994 GD&T** и **Y14.5.1M-1994, Математическое определение принципов установления размеров и допусков (ASME, 1994b)**.

Выходят новые версии стандартов.

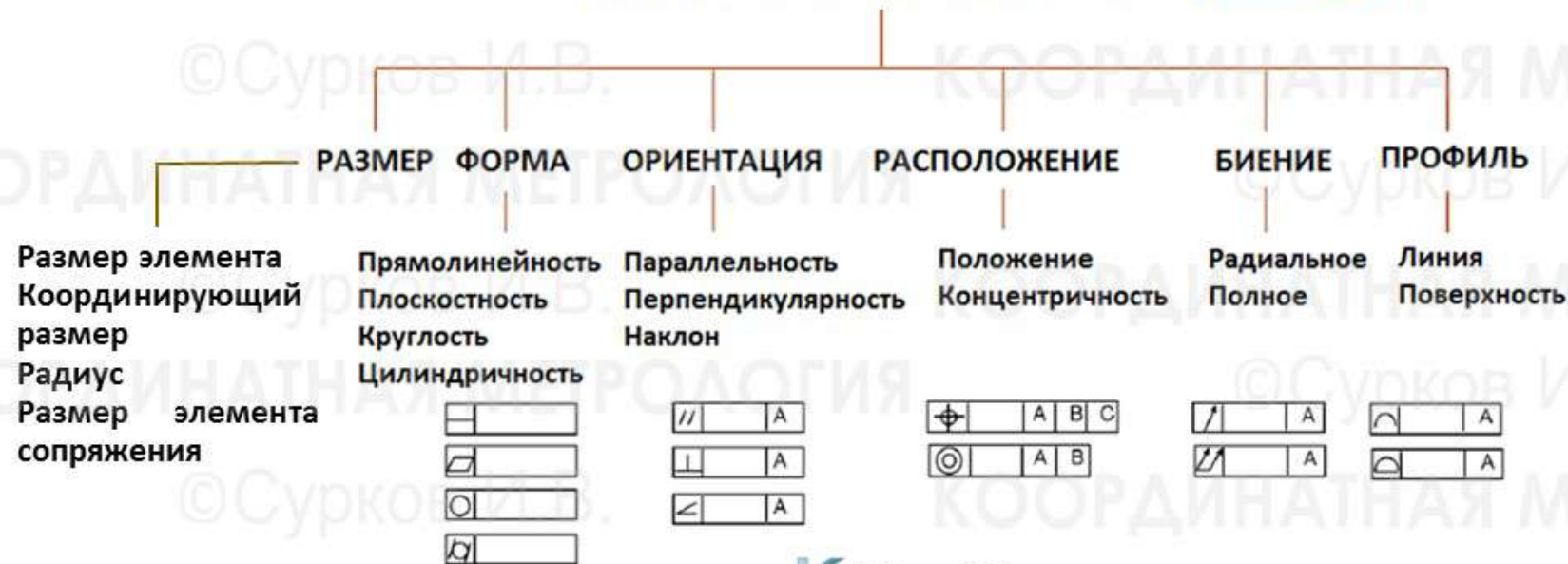


New modifier	Symbol
Dynamic profile	$\triangle$
FROM - TO	$\rightarrow$

Основные понятия и определения ASME GD&T

Допуски классифицируются следующим образом: допуски размера и геометрические допуски. Размеры в свою очередь подразделяются на размеры полных геометрических элементов (линейные и угловые), координирующие размеры (так же линейные и угловые). Отдельно рассматриваются размеры неполных элементов (например, радиусы 2D дуги окружности, 3D дуги сектора цилиндра или сферы), а так же элементов сопряжения на кромках: фаски и радиусы скругления. Эти размеры традиционно нормируются допусками в виде предельных отклонений (условно называемых $\pm$ отклонениями). В современных чертежах эти размеры с предельными отклонениями все чаще заменяют на **теоретически точные размеры в прямоугольной рамке в связке с геометрическим допуском**, например, позиционным.

СТАНДАРТНЫЕ КЛАССЫ ДОПУСКОВ ASME GD&T

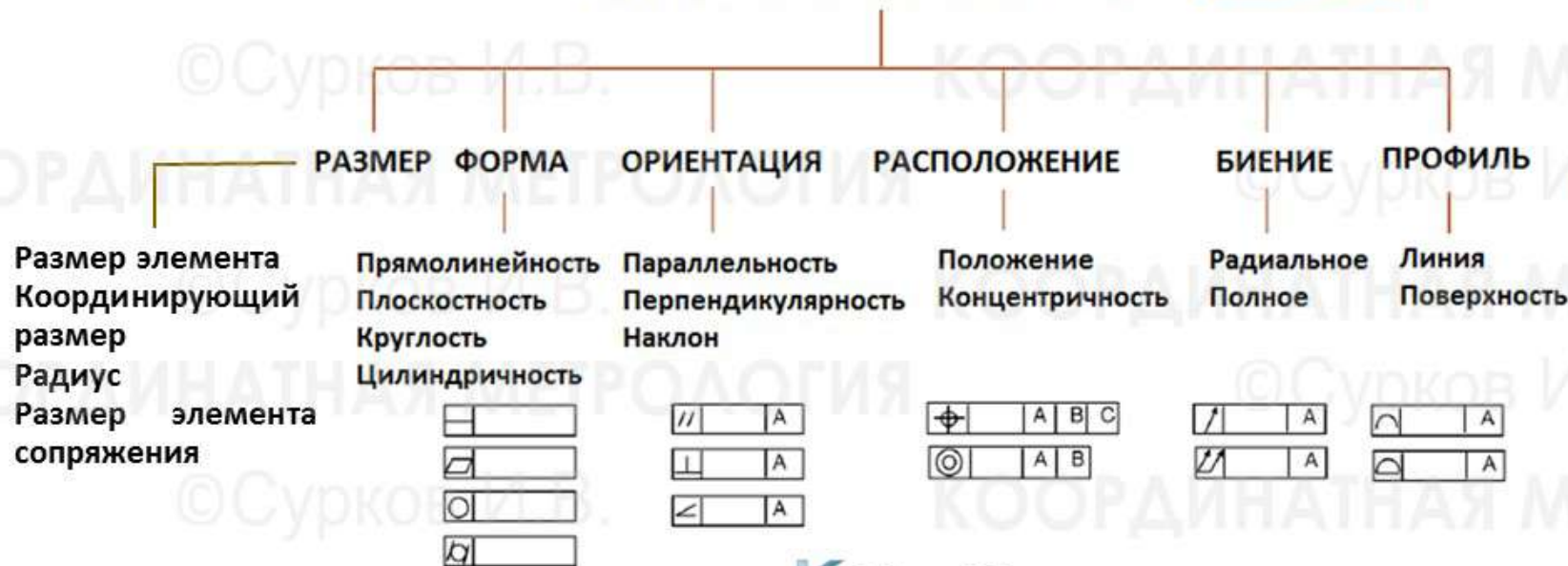


Основные понятия и определения ASME GD&T

Геометрические допуски в свою очередь классифицируются на допуски формы, ориентации, расположения, профиля и биения. Допуски размеров указываются в виде $\pm$ пределов, а геометрические допуски – в виде 3D зон или 2D полей. Геометрические допуски указываются в рамках символов с геометрическими требованиями. При указании допусков в рамке применяют символ типа допуска, значение допуска и другую информацию, например указание допуска относительно базы и условие материала.

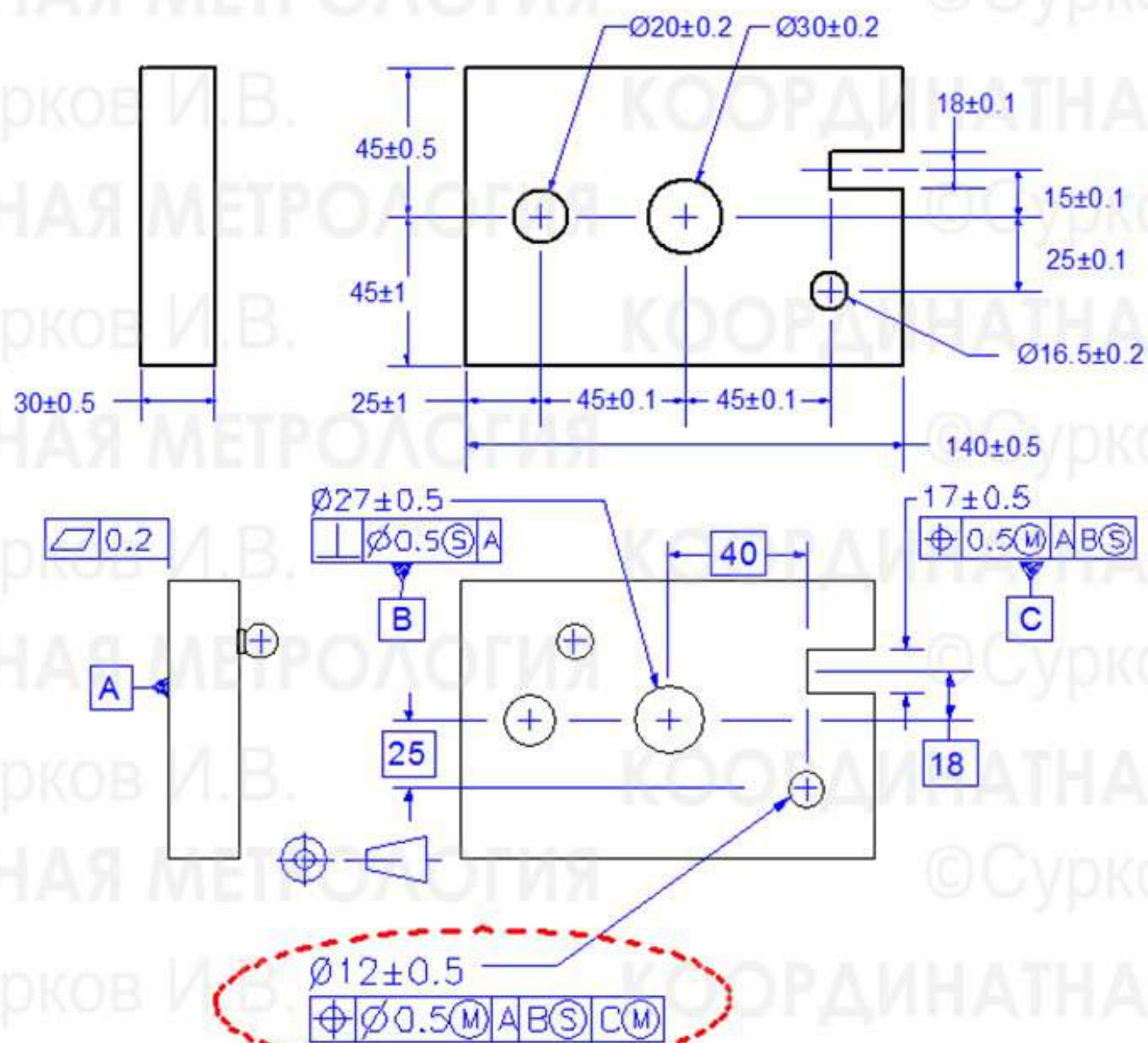


СТАНДАРТНЫЕ КЛАССЫ ДОПУСКОВ ASME GD&T



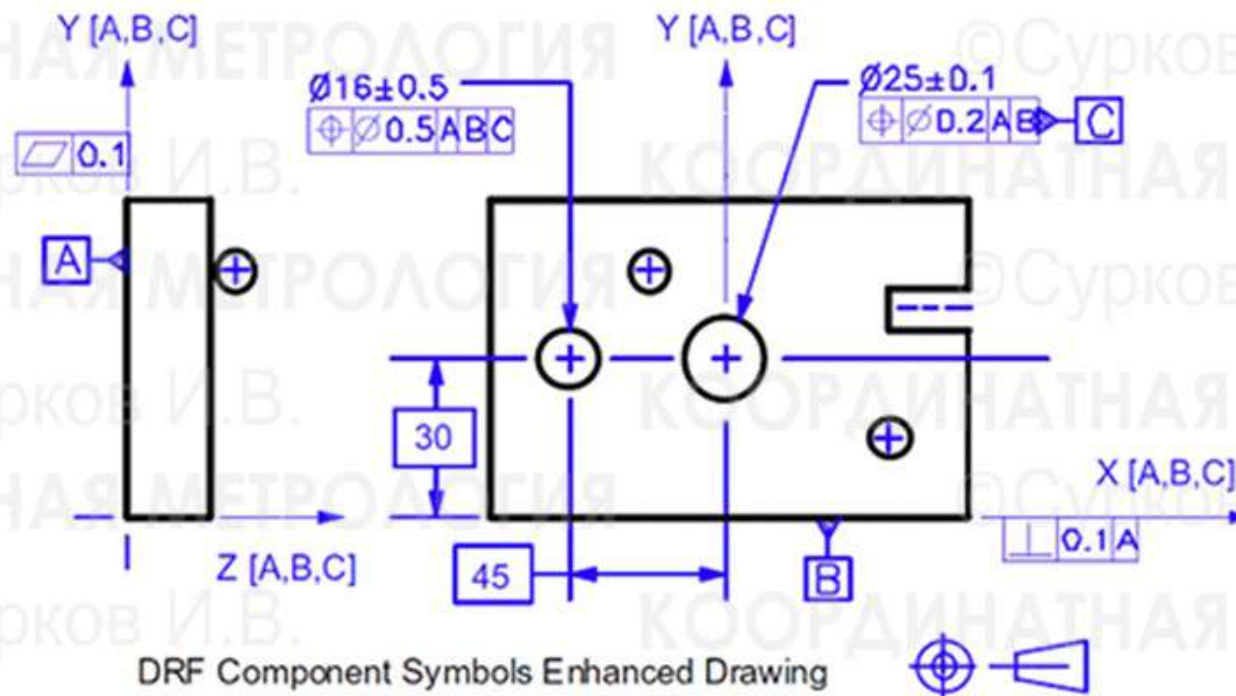
Если **допуск профиля** указан в рамке без ссылки на базу или систему баз, то он относится к допуску формы

В чем отличие стандартных чертежей и чертежей по правилам **ASME GD&T**?

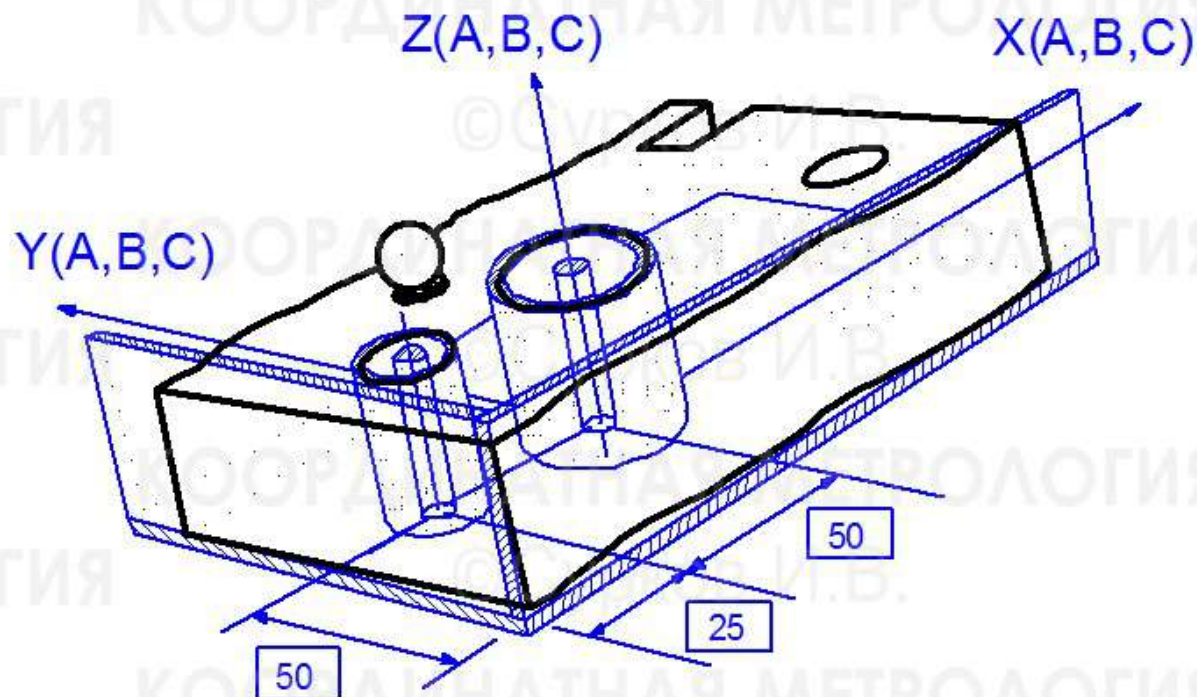
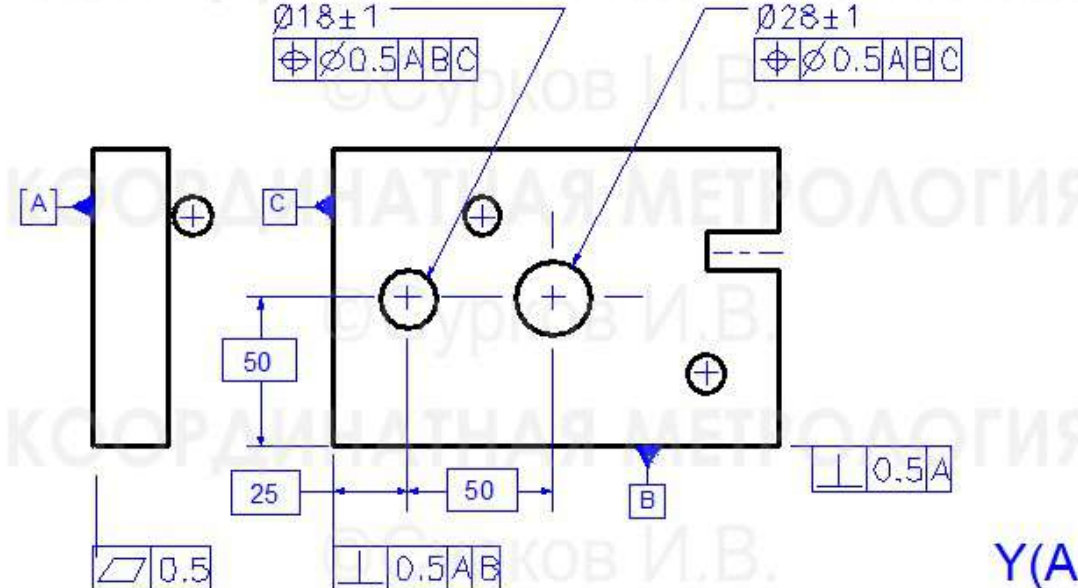


Основные понятия и определения ASME GD&T

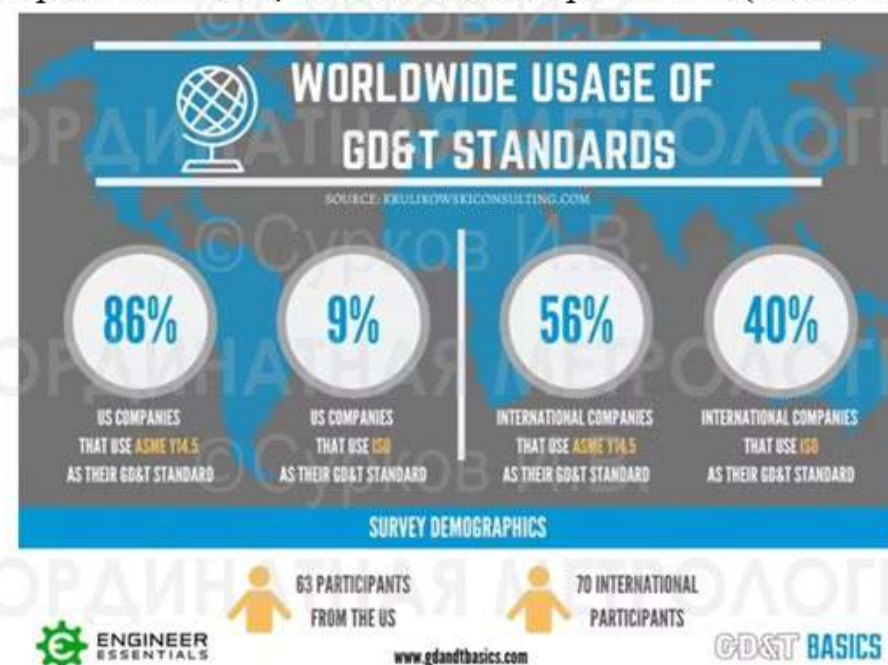
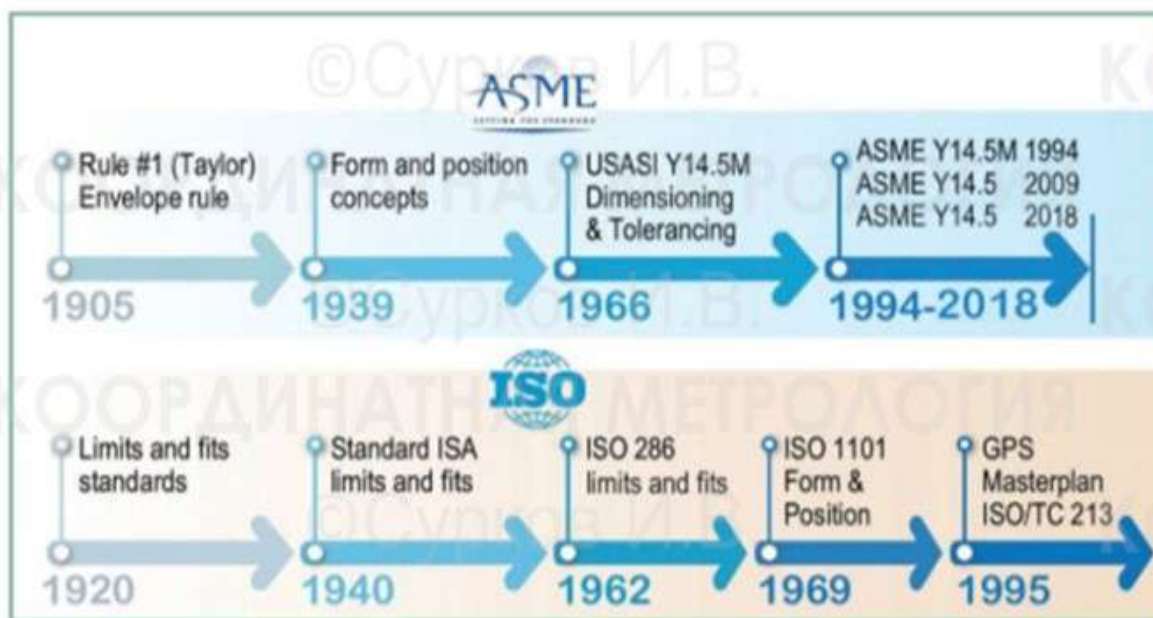
Заданы математические определения основных размеров, допусков формы и расположения, их взаимосвязей. Выработаны основные правила: **задаются первичная (A), вторичная (B), третичная (C) базовые взаимосвязанные поверхности детали**, все остальные размерные параметры в основном связаны с базовыми **теоретически точными размерами с позиционными допусками (для производных элементов) или допусками профиля (для заменяющих элементов)**. Разработаны правила и инструменты (**язык GD&T**) для графического описания **конструктором** на чертежах взаимосвязей размеров, которые обеспечивают их однозначное понимание **технологом и метрологом**.



КООРДИНАТНАЯ МЕТРОЛОГИЯ



В последние 30 лет концепция GD&T активно распространялась по всему миру. В международной стандартизации под эгидой ISO (технический комитет TC 213) концепция GD&T получила развитие с начала 2000-х гг. в виде целой взаимосвязанной системы стандартов под общим названием Geometrical product specifications (GPS - Геометрические характеристики изделия). Сейчас в этой системе около 150 стандартов (некоторые стандарты несколько раз обновились, часть уже отменили), что очень неудобно для практического использования. Учитывая, что при пересмотре одного базового стандарта множество других (которые ссылаются на него) обновляются с опозданием, постоянно возникает путаница и неразбериха. В США вместо 150 используется всего 2 основных стандарта, что удобнее пользователем, но есть несколько коренных отличий от положений ISO. Правда в последнее время **идет сближение позиций**. Аналогичные работы проводились в национальных органах стандартизации (ASME, DIN, JS, BS и др.). Национальные стандарты в основном гармонизированы с ISO, хотя остаются различия (особенно с американскими стандартами).



К сожалению, только часть положений концепции GD&T описаны в действующих в Российской Федерации стандартах (ГОСТ 31254-2004 (ISO 14660-1:1999, ISO 14660-2:1999), ГОСТ Р 53442-2015 (ISO 1101:2012), ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010)), гармонизированных с международными стандартами ИСО. Кроме того, ГОСТ Р 53442-2015 уже устарел и многие положения концепции GD&T в РФ не стандартизированы напрямую, а действуют только **косвенно** через нормативные ссылки из введенных в РФ стандартов серии ISO GPS.

Необходимость учета положений концепции GD&T и ISO GPS в новом поколении межгосударственных и национальных стандартов вызвана прежде всего **неоднозначностью интерпретации чертежных обозначений размеров и геометрических допусков** при выборе средств и методов измерений различными специалистами (технологами и метрологами). Это характерно как при выборе традиционных средств измерения, так и при анализе результатов координатных измерений из-за большого разнообразия существующих расчетно-математических моделей.

ГОСТ Р 50056-92 приводит 8 вариантов интерпретаций измеряемых размеров и геометрических отклонений при 2 заданных в чертеже требованиях.





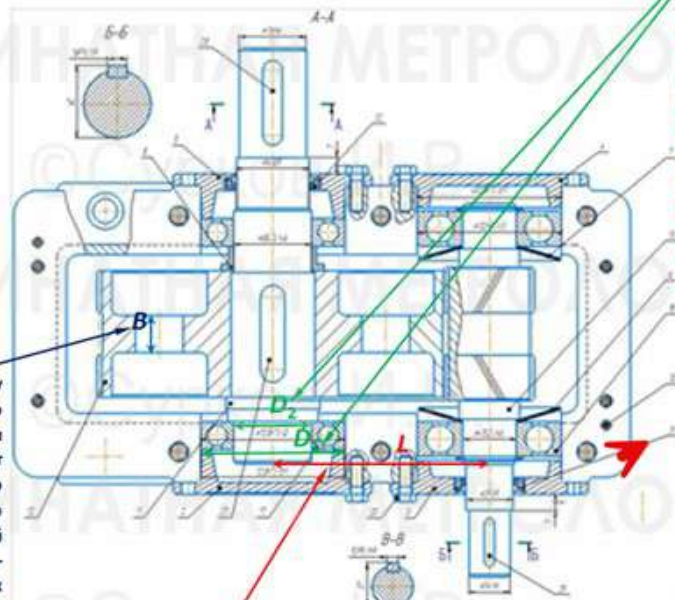
Любая деталь может выполнять свое служебное назначение, если все ее размеры - и **элементные**, и **координирующие** лежат в пределах своих полей допусков, т.е. между наибольшим и наименьшим допускаемыми предельными значениями. Эти размеры традиционно нормируются допусками в виде предельных отклонений (условно называемых $\pm$ отклонениями). Основу системы допусков и посадок уже более 100 лет составляет понятие о двух предельных значениях размера. Точно так же практически все размеры деталей являются двумерными величинами. Вследствие **разного служебного назначения координирующих и элементных размеров причины их двумерности различны.**

Координирующие размеры L (между осями (производные элементы)) и B (между двумя единичными плоскими заменяющими элементами) традиционно задаются номиналом с $\pm$ предельными отклонениями, что часто приводит к неоднозначности интерпретации и различиями в выборе методики измерений. В КТР № 1 студентам необходимо использовать современные положения стандартов ISO GPS и нормировать точность координирующих размеров с помощью рамки геометрического допуска (позиционного (наиболее часто используется), профиля линии или профиля поверхности) в комбинации с теоретически точными размерами (в прямоугольной рамке), связанных с базами или системами баз.

Сопрягаемые размеры цилиндрических элементов.

D_1 – номинальные значения диаметра отверстия под монтаж подшипника в корпусе редуктора и диаметра наружной поверхности внешнего кольца подшипника.

D_2 – номинальные значения диаметра отверстия внутреннего кольца подшипника и диаметра шейки вала.



B – свободный размер между двумя номинально параллельными плоскими элементами. Может нормироваться как размер призматического размера элемента (составной размерный элемент (FOS – Feature Of Size)) или как координирующий размер между двумя единичными плоскими элементами.

Координирующий размер L – определяет положение осей отверстий под монтаж подшипников в корпусе редуктора, которые в свою очередь задают расположение осей валов и в конечном итоге определяют межосевое расстояние, обеспечивающее заданные условия контакта боковых эвольвентных поверхностей сопрягаемых косозубых зубчатых колес.

В машинах и механизмах детали соединяются друг с другом, образуя сопряжения. **Сопряжение** – подвижное или неподвижное соединение двух или нескольких деталей. Поверхности (геометрические элементы), по которым осуществляется взаимодействие (контакт) деталей в сопряжении, называют **сопрягаемыми поверхностями** (элементами), остальные поверхности (элементы) называют **свободными**. По служебному назначению сопрягаемые поверхности (элементы) подразделяются на **базовые** (образуют **основные** (формируют систему координат (СК) самой детали) и **вспомогательные** (формируют СК присоединяемой детали) **базы**) и **рабочие** (например, эвольвентные боковые поверхности зубьев зубчатого колеса, боковые поверхности профиля резьбы, режущие и вспомогательные кромки металлорежущих инструментов и т.д.).



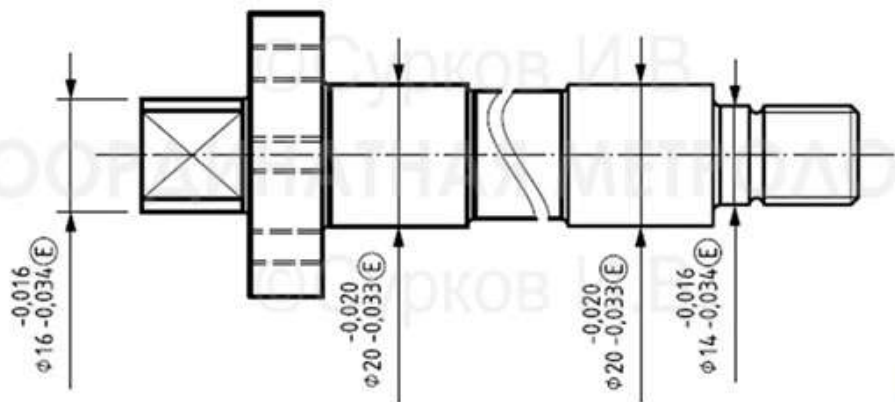
ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010). «МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. Основные нормы взаимозаменяемости. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗДЕЛИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки».

Международный стандарт ИСО 286-1:2010 устанавливает систему допусков и отклонений на линейные размеры, применимую к двум типам размерных элементов: цилиндр и две параллельные противоположные плоскости. Основное назначение этой системы - обеспечение взаимозаменяемости деталей в сборочных единицах и изделиях.

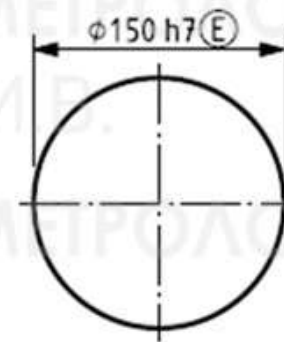
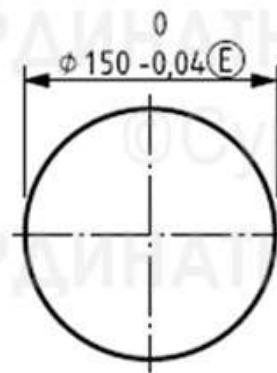
Термины "отверстие" и "вал" применяют для описания следующих размерных элементов: **цилиндр** (например, при установлении допуска на диаметр отверстия или вала) и **две параллельные противоположные плоскости** (например, для установления допуска на толщину шпонки или ширину шлицевого паза).

В предыдущей версии международного стандарта ИСО 286-1 (опубликована в 1988 году) для интерпретации размера размерного элемента по умолчанию применялось **требование прилегания** (размер по сопряжению ограничен **пределом максимума материала**, а любой местный размер ограничен пределом минимума материала), однако положения стандарта [1] изменили эту интерпретацию на правило **двухточечного измерения** (любой местный размер ограничен верхним и нижним предельными размерами). Это означает, что, при задании допуска размера по умолчанию, на отклонения формы теперь не накладывается каких-либо ограничений.

В тех случаях, когда установления допуска на размер согласно международному стандарту ИСО 286-1:2010 оказывается недостаточно для обеспечения выполнения посадкой своего функционального назначения, могут быть **дополнительно установлены требование прилегания** согласно стандарту [1], допуски геометрической формы, а также требования к шероховатости поверхности.



© Сурков И.В.





Элементные размеры деталей определяют габариты геометрических элементов и образуют **посадки** между размерами присоединяемых деталей. Характер посадок в значительной степени зависит от отклонений формы поверхностей элементов. Поэтому отклонения формы (плоскостность, прямолинейность, цилиндричность, круглость) включены в структуру элементных размеров, что делает их **комплексными, двумерными**, имеющими два действительных значения - размер **максимума** и размер **минимума материала элемента**. Толкования размеров стандартизованы на основании **принципов Тейлора**: размер максимума материала представляет собой размер прилегающего элемента, длина которого равна длине сопряжения, а размер минимума материала - экстремальное расстояние между противоположащими точками реальной поверхности элемента (местный (локальный) двухточечный размер, наименьший - для наружных элементов и наибольший - для внутренних).





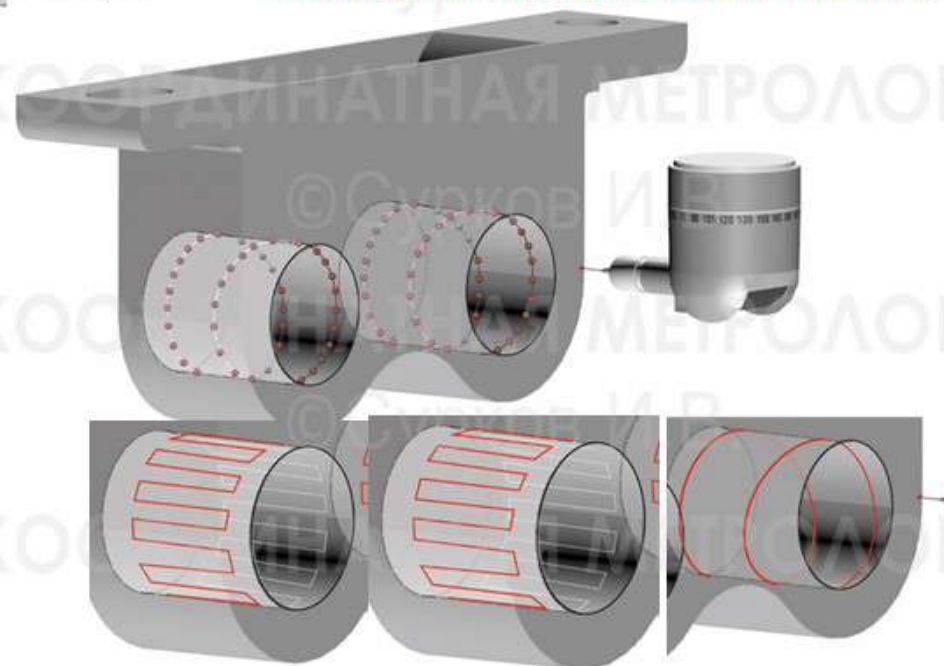
Пример выбора варианта методики измерения цилиндрического отверстия как отдельного геометрического элемента.

Комплексный контроль отверстия в соответствии с принципом Тейлора (требованием прилегания)



Варианты типовых стратегий координатных измерений отверстия

Двух и трехточечные средства измерения диаметральных размеров отверстия





КОДЕКСЫ РФ

Арбитражный
процессуальный кодекс РФ

Бюджетный кодекс РФ

Водный кодекс Российской
Федерации РФ

Воздушный кодекс
Российской Федерации РФ

Градостроительный кодекс
Российской Федерации РФ

ГК РФ

Гражданский кодекс часть 1

Гражданский кодекс часть 2

Гражданский кодекс часть 3

Гражданский кодекс часть 4

Гражданский
процессуальный кодекс
Российской Федерации РФ

Жилищный кодекс
Российской Федерации РФ

Земельный кодекс РФ

Кодекс административного
судопроизводства РФ

ПРИКАЗ РОССТАНДАРТА ОТ 01.03.2016 N 101-СТ "О ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕЙСТВИЯ МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ"

См. Документы Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ПРИКАЗ

от 1 марта 2016 г. N 101-ст

О ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕЙСТВИЯ МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В соответствии с требованиями руководства по ведению указателя государственных военных стандартов приказываю:

1. Восстановить с 1 марта 2016 г. для добровольного применения на территории Российской Федерации в качестве национальных стандартов Российской Федерации только в отношении продукции, поставляемой по Государственному оборонному заказу, действие:

ГОСТ 25346-89 "Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений";

ГОСТ 25347-82 "Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки";

ЗАКОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральный закон от 24.06.2023 N
266-ФЗ

"О свободной экономической зоне на
территориях Донецкой Народной
Республики, Луганской Народной
Республики, Запорожской области и
Херсонской области"

Федеральный закон от 24.06.2023 N
264-ФЗ

"О внесении изменений в
Федеральный закон "Об образовании
в Российской Федерации"

Федеральный закон от 24.06.2023 N
270-ФЗ

"Об особенностях уголовной
ответственности лиц, привлекаемых к
участию в специальной военной
операции"

**ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-
1:2010) для предприятий
ВПК отменен!**



1.4. Интерпретация предельных размеров

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

Для валов — диаметр наименьшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть описан вокруг вала так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности на длине соединения (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к валу без зазора), не должен быть больше, чем предел максимума материала. Дополнительно наименьший диаметр в любом месте вала, определенный путем двухточечного измерения, не должен быть меньше, чем предел минимума материала.

Дополнительная информация к интерпретации предельных размеров приведена в Справочном приложении 2.

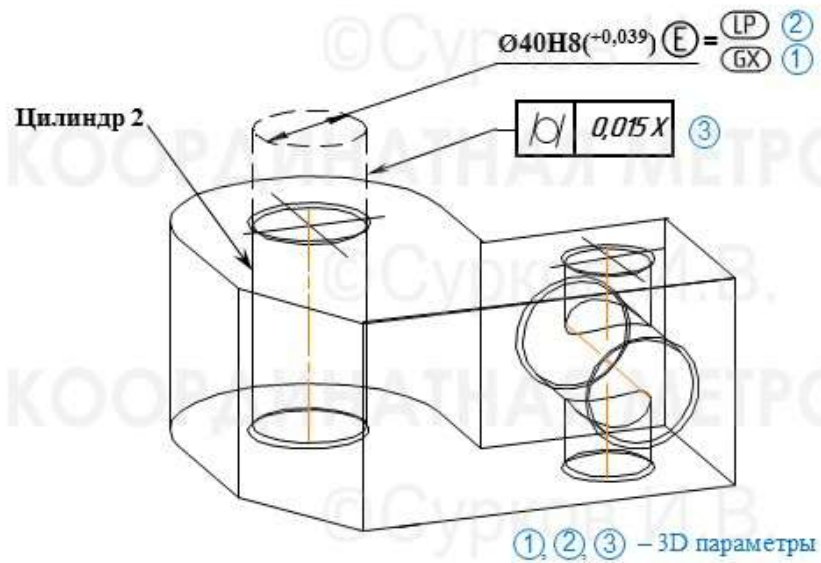
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ

1. Для элементов деталей, не образующих посадки, можно допустить отклонение от интерпретации предельных размеров по п. 1.4 настоящего стандарта. В этих случаях предельные размеры ограничивают действительные размеры, определенные путем двухточечного измерения, в любом месте элемента.
2. При использовании зарубежных чертежей и других технических документов интерпретация предельных размеров зависит от того, содержит ли чертеж ссылку на стандарт ИСО 8015 или нет.

При наличии ссылки типа «*Tolerancing ISO 8015*» («Нанесение допусков по ИСО 8015») предельные размеры интерпретируются в соответствии с п. 1.4 настоящего стандарта, если размер с предельными отклонениями дополнен символом Ⓢ , например, 40H7 Ⓢ , 40g6 Ⓢ и в соответствии с п. 1 настоящего справочного приложения, если символ Ⓢ не указан.

При отсутствии в чертеже ссылки на ИСО 8015 предельные размеры интерпретируются в соответствии с п. 1.4 настоящего стандарта.
Указанные правила соответствуют стандарту ИСО 286—1.

Пример нормирования точности цилиндрического отверстия на 3D модели детали КД-00 с указанием методов математической аппроксимации в соответствии с требованиями ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010), ISO 14405-1:2016, ISO 1101:2017



Одним из самых распространённых соединений при сборке деталей является сопряжение внешней (вал) и внутренней (отверстие) цилиндрической поверхности. Для подвижных соединений должна быть обеспечена посадка с зазором, для неподвижных – посадка с натягом. В некоторых случаях используется переходная посадка. При выполнении КПП № 1 для изучения особенностей нормирования точности первой группы «обязательных» параметров (размеры геометрического элемента и его отклонения формы) в качестве нормируемого элемента выбирается цилиндрическое отверстие (Цилиндр 2 в 3D, Окружность 2 в 2D Проекция 1, Прямые 25 и 26 как образующие Цилиндра 2 в 2D Проекция 2). Задается «легенда» служебного назначения: обеспечение подвижного соединения (посадка с зазором) с сопрягаемым валом.

В соответствии с требованиями ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010) «по умолчанию» действует правило **двухточечного измерения** (любой местный размер ограничен верхним и нижним предельными размерами). Это означает, что, при задании допуска размера по умолчанию, на отклонения формы теперь не накладывается каких-либо ограничений. Однако, двухточечное измерение не позволяет учесть влияние некоторых отклонений формы геометрического элемента (огранка с нечетным числом граней в поперечном сечении или не прямолинейность (изгиб) оси в продольном сечении) на качество сопряжения вала и отверстия.

В тех случаях, когда установления допуска на размер «по умолчанию» согласно ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010) оказывается недостаточно для обеспечения выполнения посадкой своего функционального назначения, могут быть дополнительно установлены **требование прилегания** согласно стандартам ISO/R 1938:1971 и ISO 14405-1:2016, допуски геометрической формы по ГОСТ Р 53442-2015 (в КПП № 1 необходимо использовать более **современный ISO 1101-2017**), а также требования к шероховатости поверхности (в КПП № 1 не требуется).

Требование прилегания для размерного элемента (FOS – Feature Of Size) на 3D моделях и 2D чертежах задается с помощью символа E. Для цилиндрического отверстия (Цилиндр 2 в 3D, Окружность 2 в 2D Проекция 1) **требование прилегания** контролируется **2 методами** (ISO 14405-1:2016):

1. Нижний предельный (проходной – ПР) размер по условию максимума материала определяется как диаметр (глобальный размер GX) максимально вписанного цилиндра (окружности). В представленном примере для обеспечения годности его величина должна быть не менее Ø40 мм.
2. Верхний предельный (не проходной – НЕ) размер по условию минимума материала определяется при двухточечном измерении LP. В представленном примере для обеспечения годности максимальная из всей серии измерений величина двухточечного размера не должна превышать значения 40,039 мм.

Требования к однозначности определения линейных размеров элементов по ИСО 14405-1:2016

Таблица 1 - Модификаторы спецификации для линейного размера элемента

Модификатор	Описание	Reference
LP	Двухточечный размер элемента	3.6.1
LS	Местный размер элемента, определенный сферой	3.6.4
GG	Критерий ассоциации наименьших квадратов (по Гауссу)	3.7.1.1
GX	Критерий максимальной вписанной ассоциации	3.7.1.2
GN	Критерий минимальной описанной ассоциации	3.7.1.3
GC	Критерий минимаксной ассоциации (по Чебышеву)	3.7.1.4
CC	Диаметр окружности по периметру (вычисленный размер)	3.7.2.1.1
CA	Диаметр по площади (вычисленный размер)	3.7.2.1.2
CV	Диаметр по объему (вычисленный размер)	3.7.2.1.3
SX	Максимальный размер элемента ^a	3.7.2.2.1
SN	Минимальный размер элемента ^a	3.7.2.2.2
SA	Усредненный размер элемента ^a	3.7.2.2.3
SM	Срединный (медианный) размер элемента ^a	3.7.2.2.4
SD	Величина полусумы крайних значений ^a	3.7.2.2.5
SR	Диапазон размеров элемента ^a	3.7.2.2.6
SQ	Стандартное отклонение размера элемента ^a	3.7.2.2.7

^a Упорядоченный размер может быть использован в качестве дополнения к расчетному размеру доли (участка) элемента, глобальному размеру доли (участка) элемента, или местному размеру элемента (см. 3.7.2.2 и 6.1.3)

Примечания:

1. Модификаторы отмеченные символом  используются в ПО «ТехноКоорд-2D. Расчёты на плоскости (версия 1.5-7)».

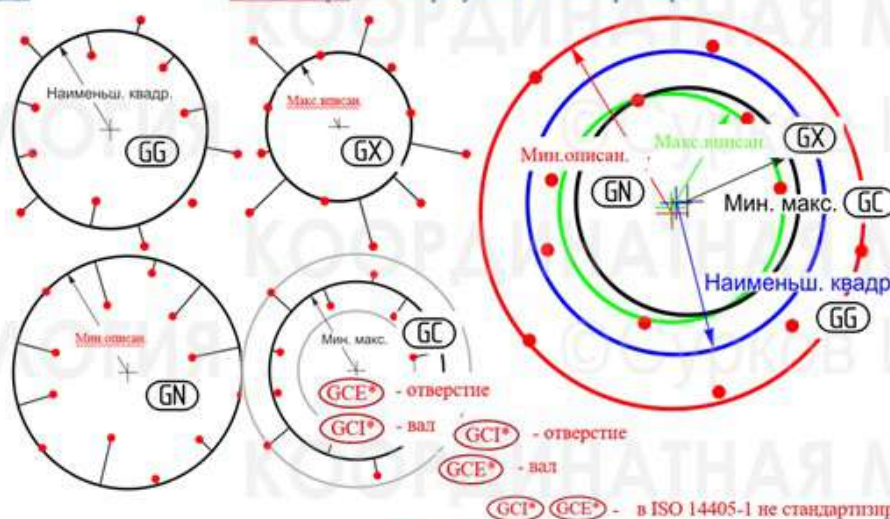
2. В ПО «ТехноКоорд-2D. Расчёты на плоскости (версия 1.5-7)»

дополнительно добавлены модификаторы **GCE*** и **GCI***, которые в ISO 14405-1 не стандартизированы. В новых модификаторах внутри овала к стандартному сокращению GC (Global Chebyshev – Глобальный по Чебышеву) добавлены характеристики по отношению к материалу детали (по аналогии с модификаторами в ISO 1101:2017) - Внешний (**External**) или Внутренний (**Internal**).

На первом этапе для расчетов параметров окружности (координаты центра и радиус/диаметр средней (без ограничения материала) окружности) применяют стандартный критерий минимаксной ассоциации (по Чебышеву **GC**). На втором этапе, используя рассчитанные на первом этапе координаты центра, определяют (в зависимости от выбранного в меню пункта) радиус/диаметр вписанной или описанной окружности (которые эквидистантны средней окружности). Далее, учитывая конструктивные особенности (вал или отверстие) к значению радиуса/диаметра вписанной или описанной окружности присваивается соответствующий модификатор.



Влияние выбора метода математической аппроксимации окружности в ПО «ТехноКоорд-2D» на результат анализа размеров.



Внешний (**External**) и внутренний (**Internal**) по отношению к материалу детали по аналогии с модификаторами в ISO 1101:2017

В ПО «ТехноКоорд-2D (вер.1.5-7.3.4 и выше)» используют следующие дополнительные графические символы:

Глобальный Чебышев внешний – **GCE**

Глобальный Чебышев внутренний – **GCI**

Также ПО «ТехноКоорд-2D (вер.1.5-7.3.4)» были введены (и как недавно выяснилось – **некорректно**) дополнительные графические символы для

среднеквадратичной аппроксимации (по Гауссу):

Глобальный Гаусс внешний – **GGE**

Глобальный Гаусс внутренний – **GGI**

В ПО «ТехноКоорд-2D (вер.1.5-7.3.5 и выше)» Эти символы были **заменены** на более корректные (в соответствии с

комментариями ISO 5459: 2024) символы: **GG+**

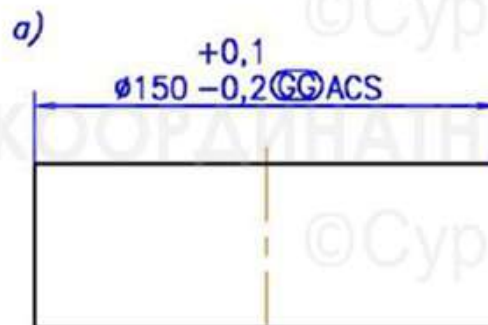
GG-

Требования к однозначности определения линейных размеров элементов по ИСО 14405-1:2016

Таблица 2 - Дополнительные модификаторы спецификации

Название параметра	Символ	Ссылки	Примеры обозначений
United feature of size / Объединенный размерный элемент ^a	UF	7.1	UF 3× $\phi 10 \pm 0,1$ (GN)
Envelope requirement / Требование прилегания	(E)	6.2.2	10 $\pm 0,1$ (E)
Any restricted portion of feature / Любая ограниченная часть элемента	/Length	7.3	$\phi 10 \pm 0,1$ (GG) / 5
Any cross section / Любое поперечное сечение	ACS	7.4	$\phi 10 \pm 0,1$ (GX) ACS
Specific fixed cross section / Определенное фиксированное поперечное сечение	SCS	7.5	10 $\pm 0,1$ (GX) SCS
Any longitudinal section / Любое продольное сечение	ALS	7.4	10 $\pm 0,1$ (GX) ALS
More than one feature / Более чем один элемент	Number ×	7.6 7.7	2× 10 $\pm 0,1$ (E)
Common toleranced feature of size / Общий допуск размерного элемента	CT	7.7	2× $\phi 10 \pm 0,1$ (E) CT
Free-state condition / Условие свободного состояния	(F)	7.8	$\phi 10 \pm 0,1$ (LP) (SA) (F)
Between / Между	↔	7.2 to 7.3	$\phi 10 \pm 0,1$ A ↔ B
Intersection plane / Плоскость пересечения ^a	⊥ B	7.4	5 $\pm 0,02$ ALS ⊥ A
Direction feature / Направляющий элемент ^a	← ⊥ B	7.4	5 $\pm 0,02$ ALS ← ⊥ A
Flagnote / Флажок-примечание	1	8	10 $\pm 0,1$ 1

^a Для более подробной информации см. ISO 1101.
^b Символ UF может использоваться для обозначения объединенного размерного элемента или объединенного элемента, который не является размерным элементом..



Определение верхнего предела размера элемента основано на минимально описанном цилиндре и комбинируется с двухточечным размером элемента для нижнего предела размера вала.



Требование прилегания (E) для размерного элемента. Эта спецификация эквивалентна чертежному изображению, указанному выше.

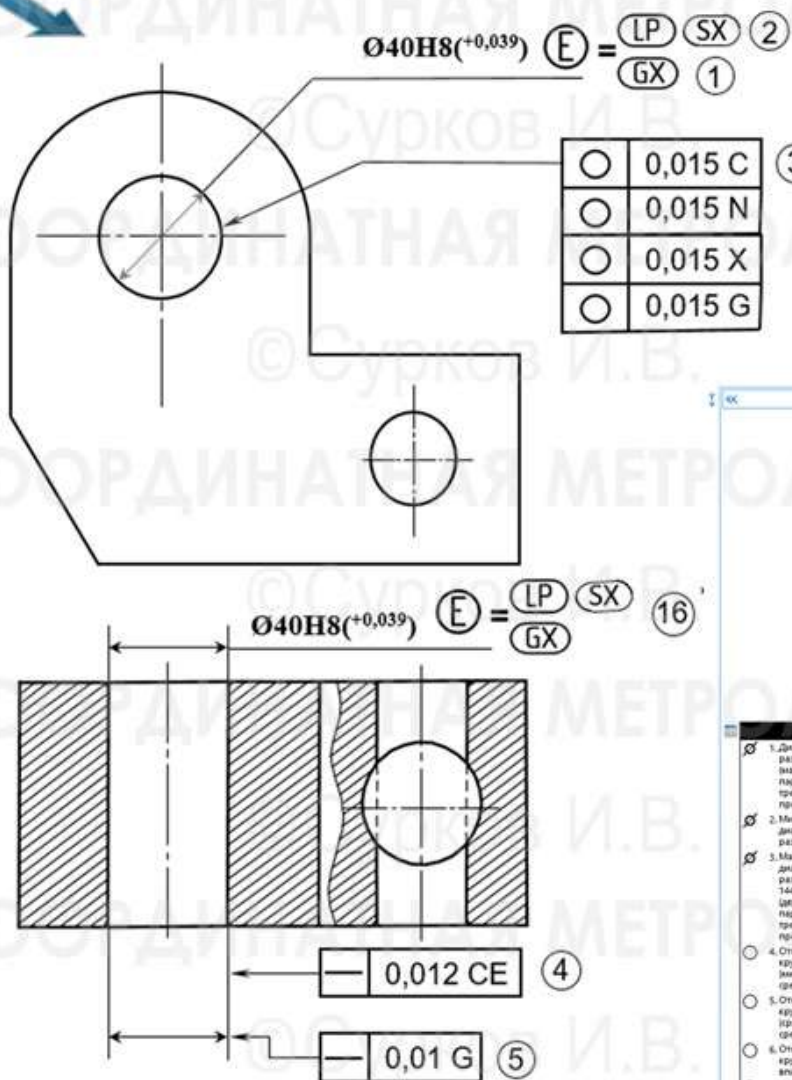
ISO 14405 consists of the following parts, under the general title Geometrical product specification (GPS) — Dimensional tolerancing:

- Part 1: Linear sizes (2010, 2016)
- Part 2: Dimensions other than linear (or angular) sizes (2011, 2018)
- Part 3: Angular sizes (2016)

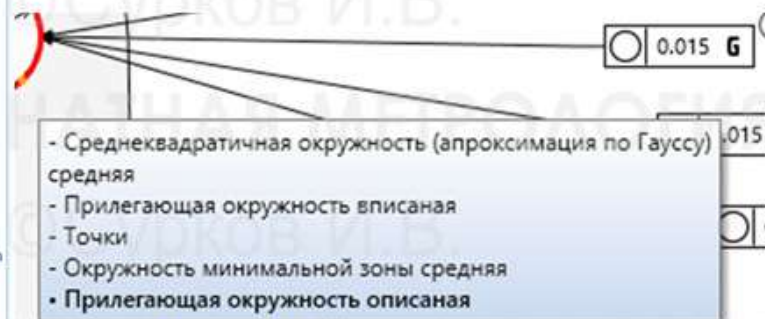
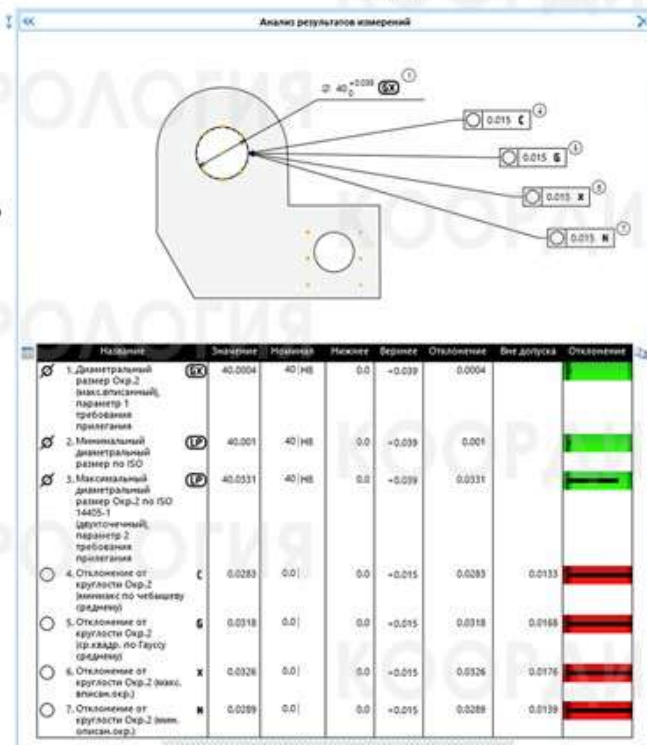


Нормирование 2D параметров 1 – 5 и 16 в соответствии с «требованием прилегания»

Для увеличения скорости разработки и анализа корректности вычислений новых вариантов РММ для типовых поверхностей (элементов) и деталей в целом, упрощения процессов тестирования новых элементов меню и инструментов графического интерфейса на основе ПО «ТЕХНОкоорд-ОптИС» (обеспечивает работу измерительного оборудования с «системой технического зрения») была разработана специальная версия ПО «ТЕХНОкоорд-2D. Расчеты на плоскости».



* - Параметр 16 (рекомендованный)



Требования к однозначности определения угловых размеров элементов по ИСО 14405-3:2016

Table 1 — Specification modifiers for angular size

Modifier	Description
(LC)	Two-line angular size with minimax association criterion
(LG)	Two-line angular size with least squares association criterion
(GG)	Global angular size with least squares association criterion
(GC)	Global angular size with minimax association criterion
(SX)	Maximum angular size ^a
(SN)	Minimum angular size ^a
(SA)	Average angular size ^a
(SM)	Median angular size ^a
(SD)	Mid-range angular size ^a
(SR)	Range of angular sizes ^a
(SQ)	Standard deviation of angular size ^{a b}
^a Rank-order angular size can be used as a supplement to portion angular size or global portion angular size or local angular size. ^b SQ from root mean square.	

Table 2 — General specification modifiers for angular size

Description	Symbol	Examples of indication	
		Prismatic angular feature of size	Revolute angular feature of size
Any restricted portion of angular feature of size	/linear distance	35° ± 1°/15 ^a	35° ± 1°/15 ^a
Any restricted portion of angular feature of size	/angular distance	Not applicable	35° ± 1°/15 ^a
Specific fixed cross section	SCS	45° ± 2° SCS	Not applicable
More than one angular feature of size	Number ×	2 × 45° ± 2°	2 × 45° ± 2°
Common toleranced feature of angular size	CT	2 × 45° ± 2° CT	2 × 45° ± 2° CT
Free-state condition	ⓕ ^b	35° ± 1° ⓕ	35° ± 1° ⓕ
Between	↔	35° ± 1° A ↔ B	35° ± 1° A ↔ B
^a /linear distance applies to prismatic features of size and to revolute features of size along the axis of the revolute feature. /angular distance applies to revolute feature of size. ^b See ISO 10579.			

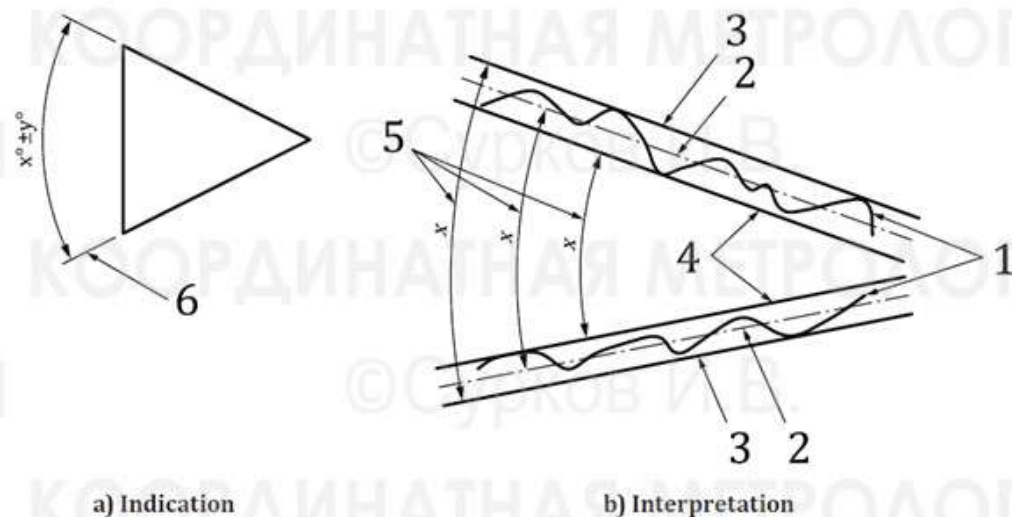
ISO 14405 consists of the following parts, under the general title Geometrical product specification (GPS) — Dimensional tolerancing:

- Part 1: Linear sizes (2010, 2016)
- Part 2: Dimensions other than linear (or angular) sizes (2011, 2018)
- Part 3: Angular sizes (2016)

Требования к однозначности определения угловых размеров элементов по ИСО 14405-3:2016

Table 1 — Specification modifiers for angular size

Modifier	Description
(LC)	Two-line angular size with minimax association criterion
(LG)	Two-line angular size with least squares association criterion
(GG)	Global angular size with least squares association criterion
(GC)	Global angular size with minimax association criterion
(SX)	Maximum angular size ^a
(SN)	Minimum angular size ^a
(SA)	Average angular size ^a
(SM)	Median angular size ^a
(SD)	Mid-range angular size ^a
(SR)	Range of angular sizes ^a
(SQ)	Standard deviation of angular size ^{a b}
^a Rank-order angular size can be used as a supplement to portion angular size or global portion angular size or local angular size.	
^b SQ from root mean square.	



- Key
- 1 real feature
 - 2 associated feature with minimax criterion without material constraint
 - 3 associated feature with minimax criterion with outside material constraint
 - 4 associated feature with minimax criterion with inside material constraint
 - 5 two-line angular size
 - 6 angular dimension

Figure 11 — ISO default specification operator for angular size

ISO 14405 consists of the following parts, under the general title Geometrical product specification (GPS) — Dimensional tolerancing:

- Part 1: Linear sizes (2010, 2016)
- Part 2: Dimensions other than linear (or angular) sizes (2011, 2018)
- Part 3: Angular sizes (2016)



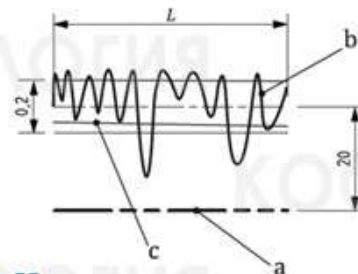
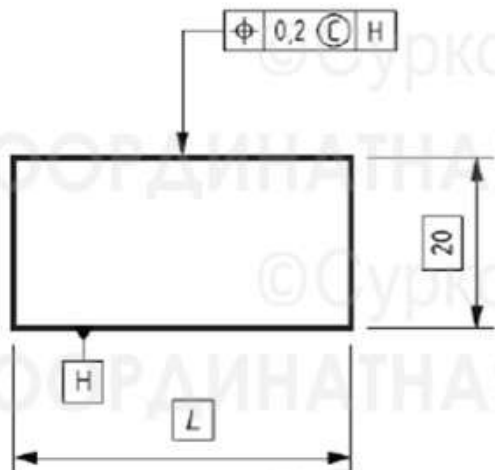
Модификаторы описания методов аппроксимации по ISO 1101:2017

Associated toleranced feature

- (C) Minimax (Chebyshev) feature / Минимаксный элемент (по Чебышеву)
- (G) Least square (Gaussian) feature / Среднеквадратичный элемент (по Гауссу)
- (N) Minimum circumscribed feature / Минимально описанный элемент
- (T) Tangent feature / Тангенциальный элемент
- (X) Maximum inscribed feature / Максимально вписанный элемент

Only used for tolerances that reference datums (orientation and location specifications)

Применяются только для допусков, связанных с базами (ориентации и месторасположения).



а – база H
b – реальный элемент или фильтруемый элемент
с – мин-макс элемент Чебышева (нормируемый элемент)

ПРИМЕЧАНИЕ: нормируемый элемент – это поверхность, но для простоты изображения он указывается в виде линии.

Методы ассоциации/присоединения (математической аппроксимации) нормируемых элементов.

Применяются для нормирования допусков **ориентации**

(параллельности, перпендикулярности, углового положения) и

месторасположения (позиционный, соосности/концентричности).

Нормируют положение **идеальной поверхности** без учета отклонений формы!!!

Если модификатора нет, то параметр контролируется с учетом отклонения формы.

В ПО «ТехноКоорд-2D (вер.1.5-7.3.5 и выше)» в соответствии с комментариями

ISO 5459:2024 были добавлены не стандартизированные в ISO 1101:2017

символы (CE) (CI) (GE) (GI) (G+) (G-)

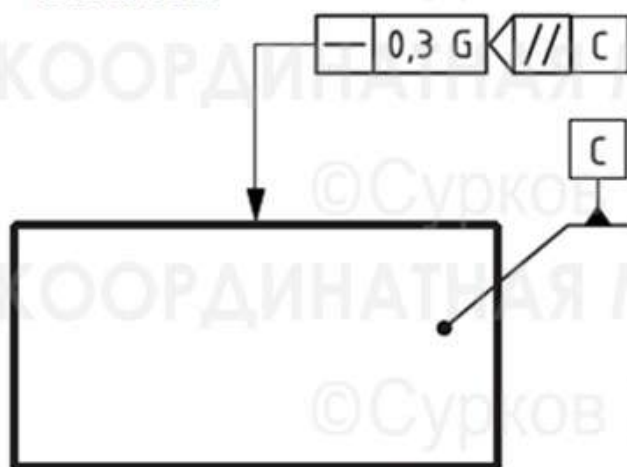


Модификаторы описания методов аппроксимации по ISO 1101:2017 для нормирования допусков формы:

Reference feature association

- C Minimax feature without constraint
- CE Minimax feature with external material constraint
- CI Minimax feature with internal material constraint
- G Least squares feature without constraint
- GE Least squares feature with external material constraint
- GI Least squares feature with internal material constraint
- N Minimum circumscribed feature
- X Maximum inscribed feature

By default, the reference feature association is the minimax (Chebyshev) association without constraint for form tolerances.



© Сурков И.В.

Методы ассоциации/присоединения (математической аппроксимации) референтного (опорного) элемента.

- C - Минмаксный элемент (по Чебышеву) без дополнительных ограничений.
- CE - Минмаксный элемент (по Чебышеву) с ограничением «вне материала».
- CI - Минмаксный элемент (по Чебышеву) с ограничением «внутри материала».
- G - Среднеквадратичный элемент (по Гауссу) без дополнительных ограничений.
- GE - Среднеквадратичный элемент (по Гауссу) с ограничением «вне материала».
- GI - Среднеквадратичный элемент (по Гауссу) с ограничением «внутри материала».
- N - Минимально описанный элемент.
- X - Максимально вписанный элемент.

В ПО «ТехноКоорд-2D (вер.1.5-7.3.5+)» в соответствии с комментариями ISO 5459:2024 были добавлены не стандартизированные в ISO 1101:2017 символы **G+** и **G-**.

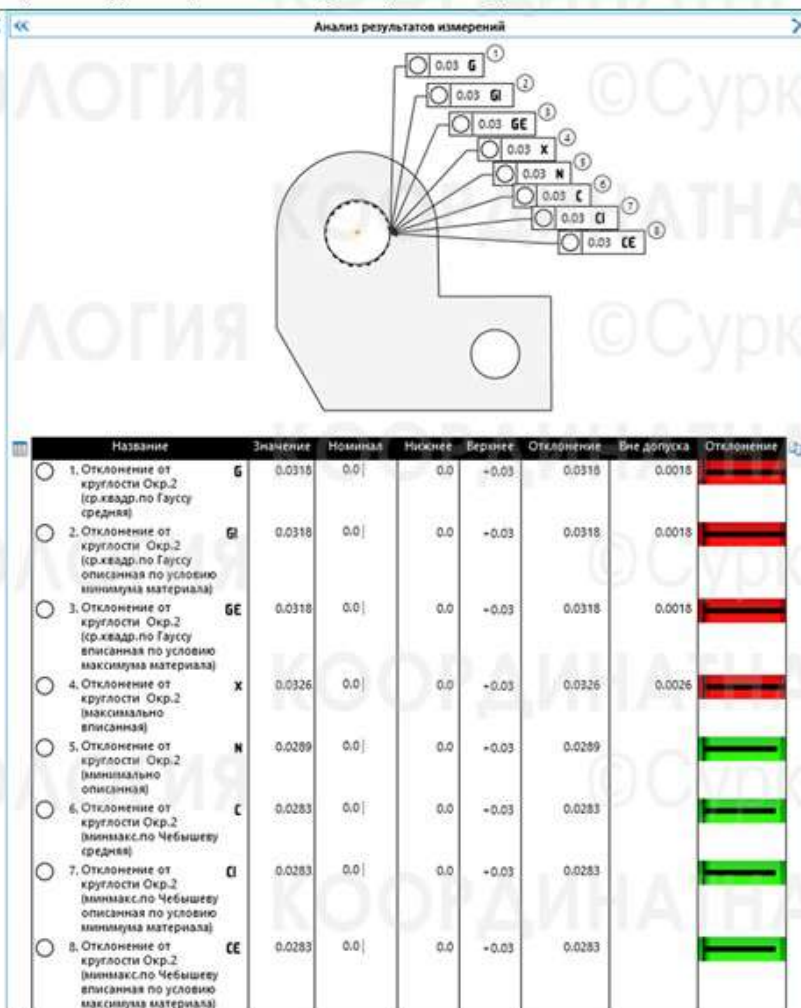
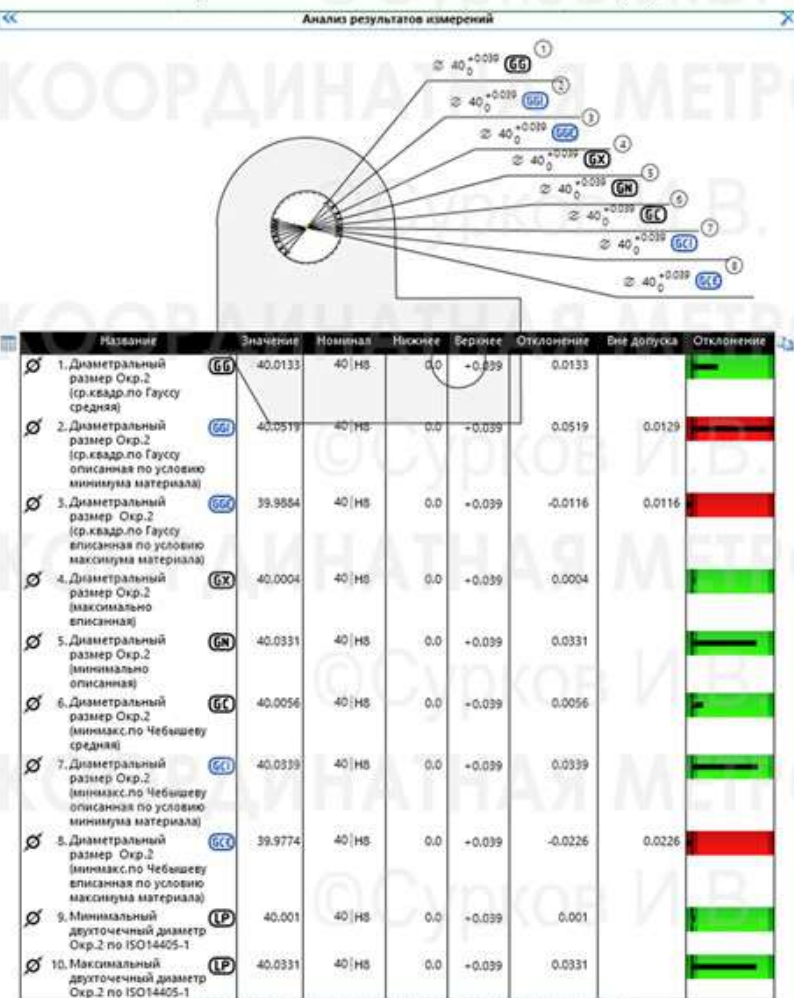
Отклонением формы является расстояние от максимально удаленной измеренной точки до референтного (опорного) элемента (поверхности) если все точки расположены только с одной стороны. Или это сумма расстояний до максимально удаленных точек, расположенных с разных сторон от опорного элемента. Если модификатора нет, то по умолчанию в качестве метода математической аппроксимации опорного элемента принимают метод минимальной зоны (минмакс по Чебышеву) без дополнительных ограничений.



Учебное ПО «ТЕХНОкоорд-2D (расчеты на плоскости)»

Примеры использования символов модификаторов ISO 14405-1:2016, ISO 1101-2017

Анализ различных результатов расчетов диаметра и отклонения от круглости Окружности 2 учебной детали при использования всех возможных для ПО «ТЕХНОкоорд-2D. Расчеты на плоскости (версия 1.5-7.3.3 (2023 г))» вариантов критерия аппроксимации заменяющей окружности



Метод математической аппроксимации окружности (Окр.2)	Диаметр окружности		Отклонение от круглости	
	Обозначение по ISO 14405-1: 2016	Значение, мм	Обозначение по ISO 1101:2017	Значение, мм
Среднеквадратичная (метод наименьших квадратов Гаусса) - средняя	GG	40,0133	G	0,0318
Среднеквадратичная - внутренняя по условию материала	GGI**	40,0519	GI	0,0318
Среднеквадратичная - внешняя по условию материала	GGE**	39,9884	GE	0,0318
Максимально вписанная	GX	40,0004	X	0,0326
Минимально описанная	GN	40,0331	N	0,0289
Условие минимальной зоны (минимакс по Чебышеву) - средняя	GC	40,0056	C	0,0283
Условие минимальной зоны - внутренняя по условию материала	GCI*	40,0339	CI	0,0283
Условие минимальной зоны - внешняя по условию материала	GCE*	39,9774	CE	0,0283
Двухточечный размер: Максимум; Минимум.	LP	40,001 40,0331	-	-
Разница значений Δ, мм		0,0745		0,0043

В ПО «ТехноКоорд-2D (вер.1.5-7.3.5 и выше)» эти символы были **заменены на более корректные (в соответствии с комментариями ISO 5459:2024, но так же **не стандартизированные** в ISO 14405-1: 2016) СИМВОЛЫ:





Создание базовых систем (координат или системы баз). Особенности применения положений ISO 5459:2024(E). Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Datums and datum systems. Опубликовано 4.10.2024.

8.2.3. Элементы спецификации ассоциации для базы

Если необходимо указать критерий ассоциации не по умолчанию, следует указать объективную / целевую функцию и ограничение по материалу. Они должны быть помещены между квадратными скобками, указывая без пробела сначала символ целевой функции (как определено в таблице 12), а затем символ ограничения материала (как определено в таблице 13) или символ смещения материала (как определено в таблице 14), например [CM], [C-], [GI], см. рисунок 46.

Модификаторы функции цели, ограничения материала и смещения материала перечислены в таблицах 12, 13 и 14, соответственно. Определения функций цели, материальных ограничений и материального смещения должны соответствовать ISO 4351.

Table 12 — Objective function symbols

Objective function	
Symbol	Designation
G	Least squares (Gaussian) / Среднеквадратичный элемент (по Гауссу)
C	Minimax (Chebyshev) / Минимаксный элемент (по Чебышеву)
K	Minimum volume / Элемент минимального объема
X	Maximum inscribed / Максимально вписанный элемент
N	Minimum circumscribed / Минимально описанный элемент
L_p	Minimizing the p -norm distance (p is the parameter; the value of p shall be a positive integer different from 1, 2 and ∞) / Минимизация расстояния p -нормы (p - параметр; значение p должно быть целым положительным числом, отличным от 1, 2 и ∞)

NOTE The objective functions maximum inscribed and minimum circumscribed are only applicable to features of linear size.

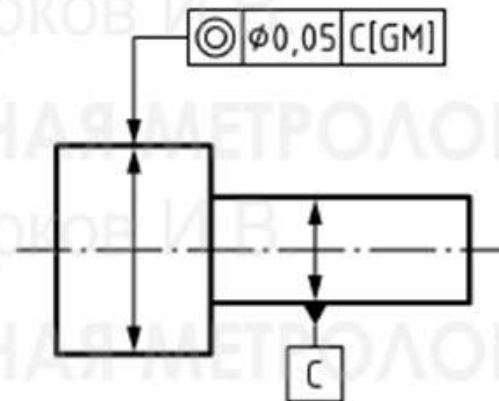
/ ПРИМЕЧАНИЕ Целевые функции максимально вписанного и минимально описанного элемента применимы только к элементам с линейным размером.

Table 13 — Material constraint symbols

Material constraint or material offset	
Symbol	Designation
E	External material / С ограничением «вне материала»
I	Internal material / С ограничением «внутри материала»
M	Without material constraint / Без ограничений по материалу

Table 14 — Material offset symbols

Material constraint or material offset	
Symbol	Designation
+	Shifted tangent outside material / Эквидистантная касательная вне материала
-	Shifted tangent inside material / Эквидистантная касательная внутри материала
$x\%$	Material ratio percentage, with x the value of the percentage. / Процентное соотношение количества материала, где x - значение этого процентного соотношения.





Создание базовых систем (координат или системы баз). Особенности применения положений ISO 5459:2024(E). Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Datums and datum systems.

Опубликован 4.10.2024.

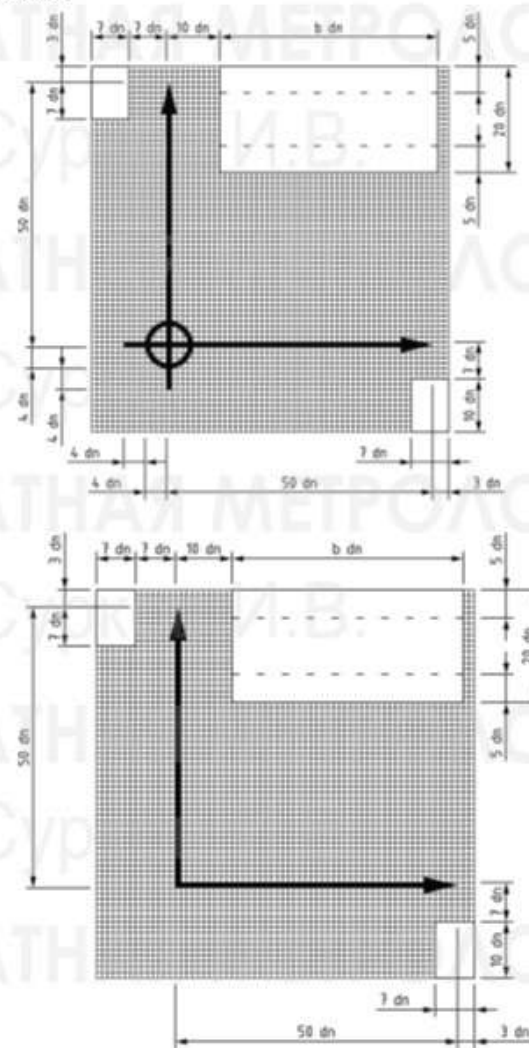
Явное указание базовых систем и систем координат детали.

ISO 5459:2024(en)

Table 1 (continued)

Description	Symbol	Sub-clause
Indication of a situation feature of a single datum, a common datum or a datum system	For single datum For datum system	7.4.2.12
Datum coordinate system indicator		Annex G

^a The terminator of the leader line is dependent of the type of datum target.



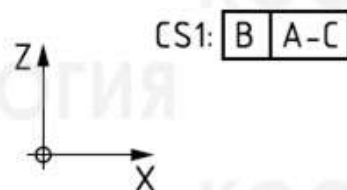
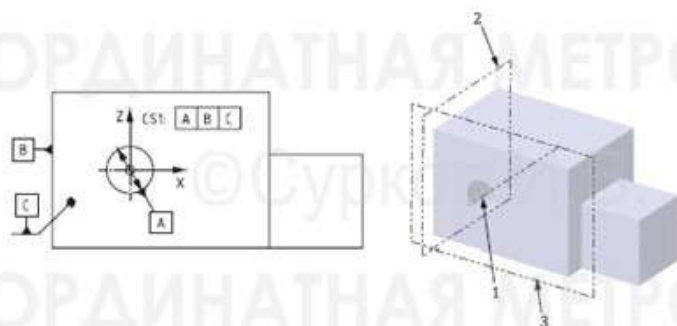


Создание базовых систем (координат или системы баз). Особенности применения положений ISO 5459:2024(E). Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Datums and datum systems.

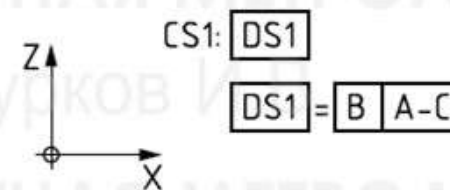
Опубликован 4.10.2024.

Явное указание базовых систем и систем координат детали.

ISO 5459:2024(en)



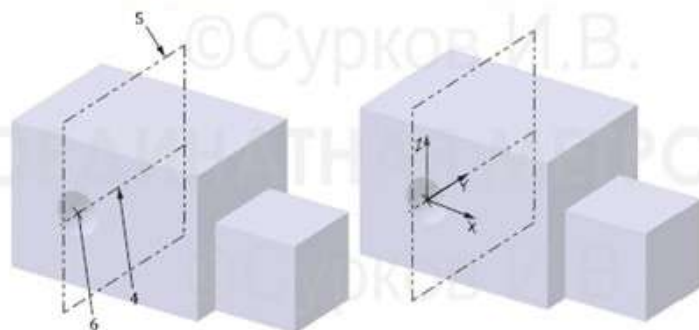
a) Direct indication



b) Indirect indication

a) Indications

b) Datums

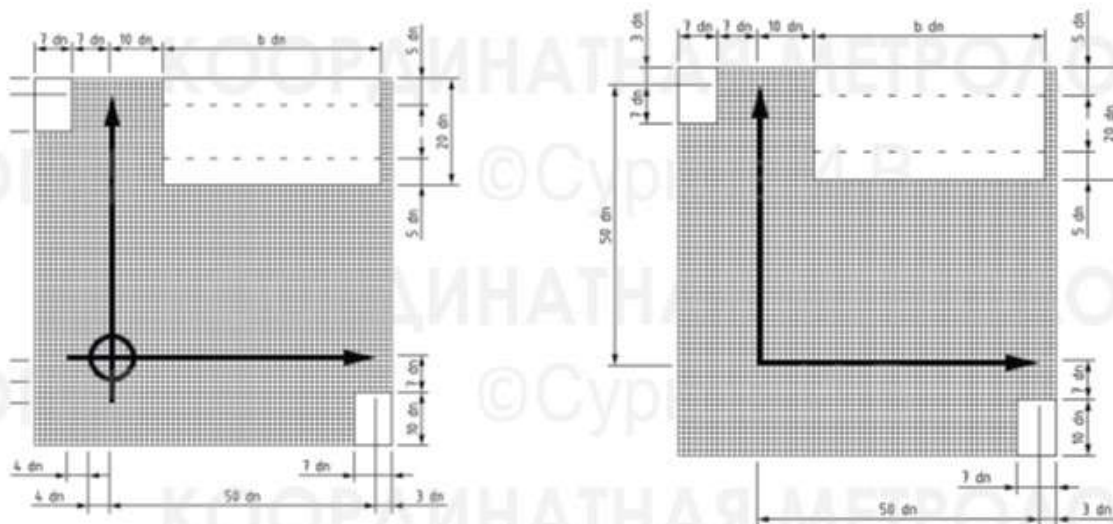


c) Resulting datum system

d) Datum coordinate system

Key

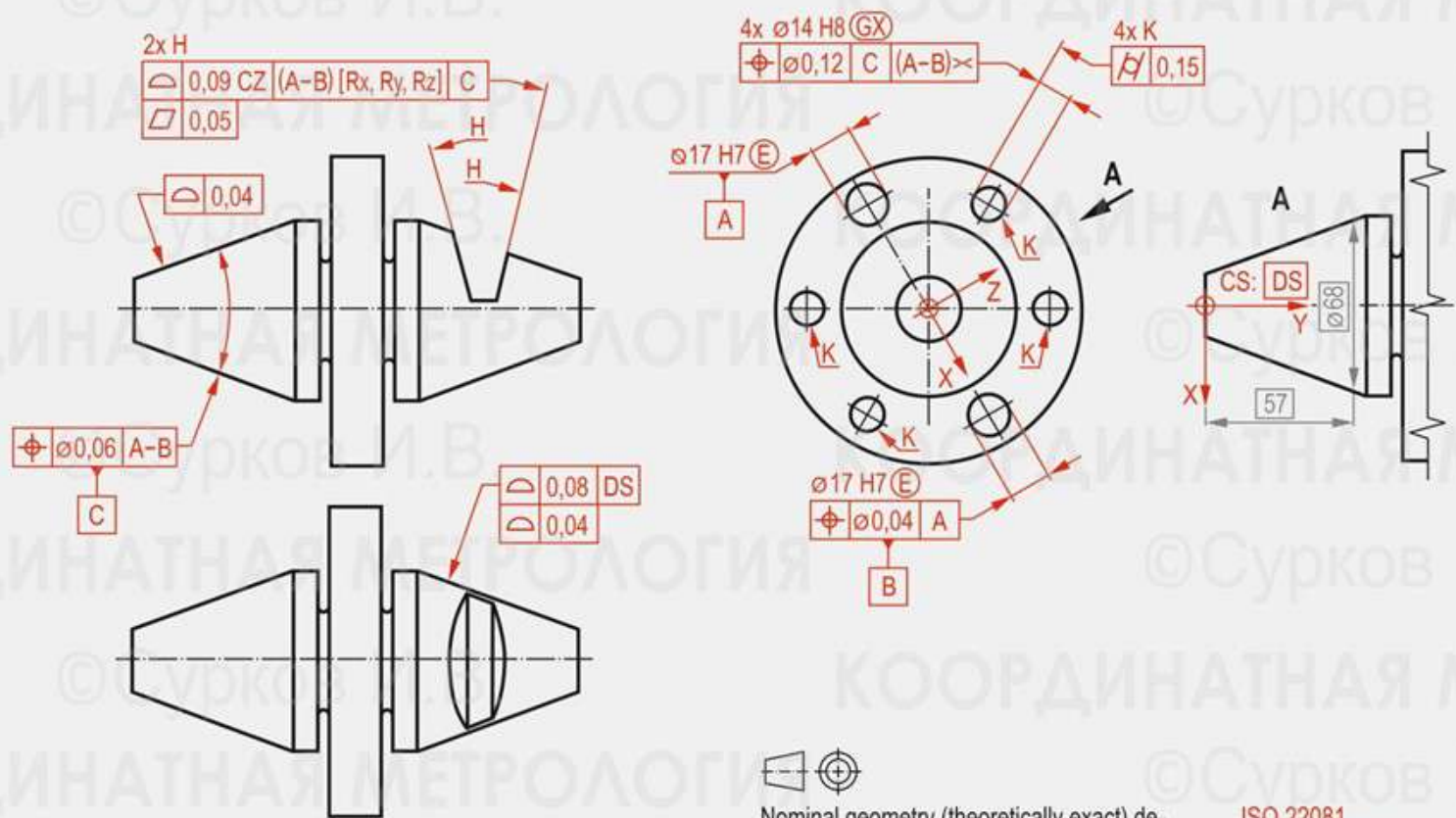
- 1 datum A
- 2 datum B in the datum system, with orientation constraint (parallel) from datum A
- 3 datum C in the datum system, with orientation constraints from 1 and 2
- 4 situation feature straight line of the datum system (equal to 1)
- 5 situation feature plane of the datum system (contains 4 and is parallel to 2)
- 6 situation feature point of the datum system (on 4, intersection of 3 with 4)





Создание базовых систем (координат или системы баз). Особенности применения положений ISO 5459:2024(E). Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Datums and datum systems. Опубликовано 4.10.2024.

Пример оформления чертежа в соответствии с новыми требованиями ISO 5459:2024(E).



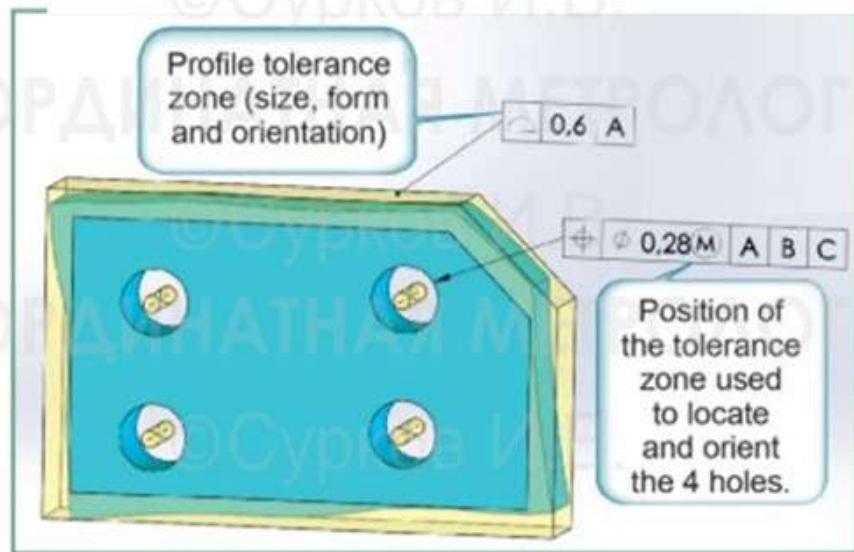
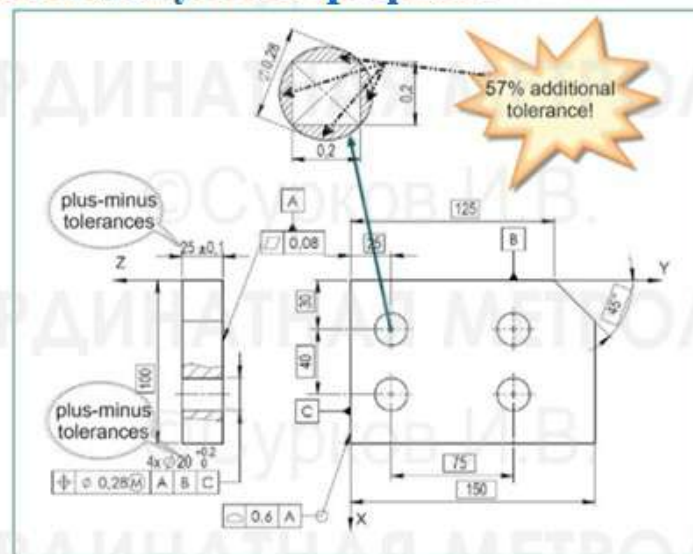
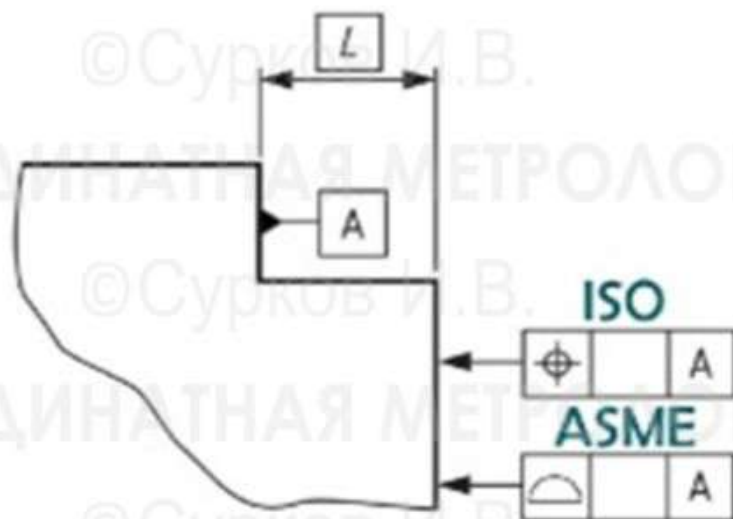
Steinbeis-Beratungszentrum
Konstruktion. Werkstoffe. Normung

© Prof. Dr.-Ing. V. Läßle
www.toleranzen-beratung.de



© Сурков И.В.

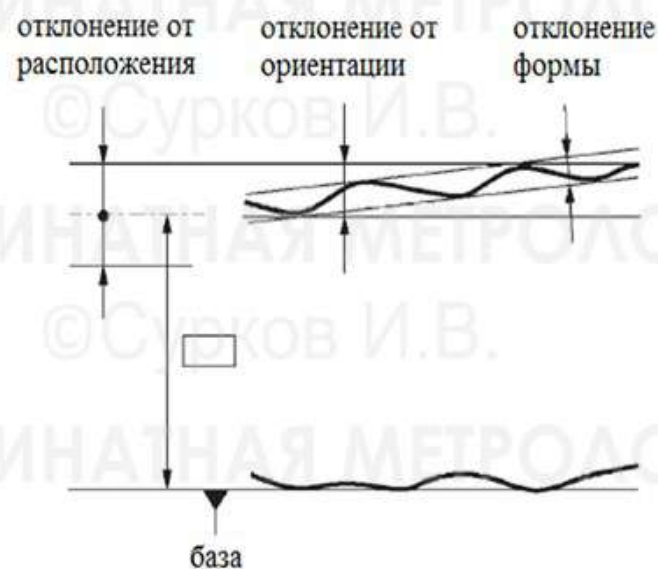
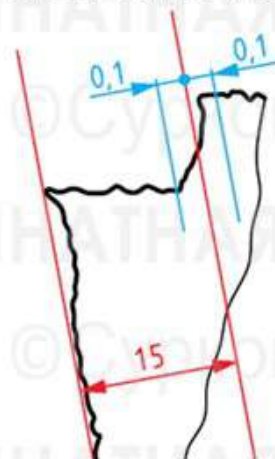
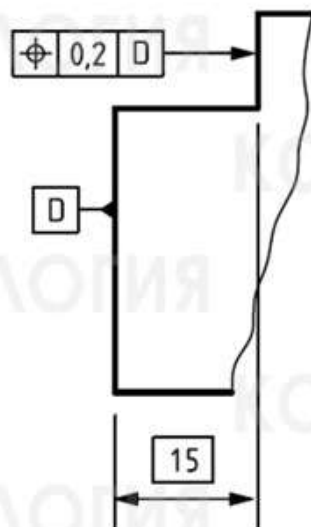
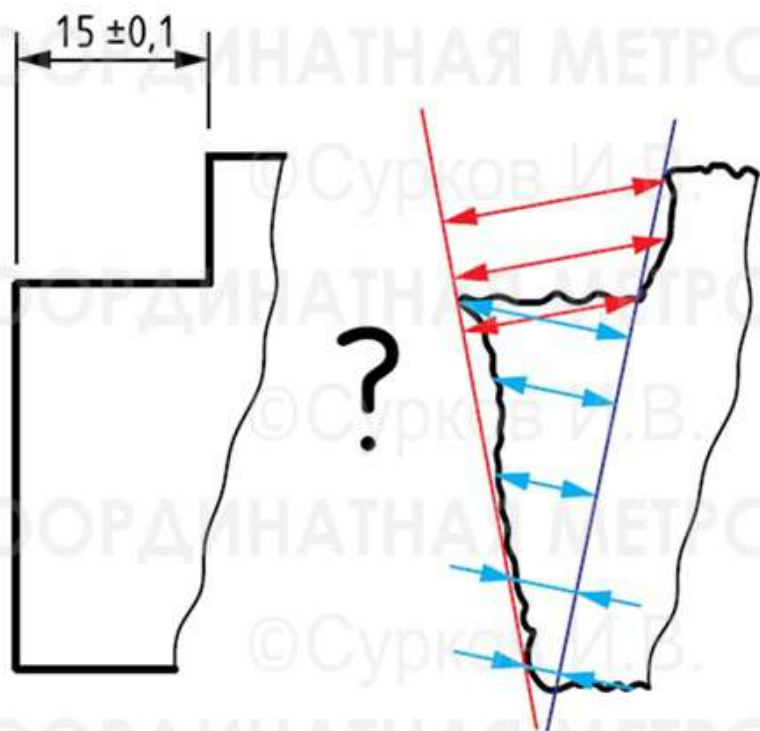
К Однозначное определение расположения геометрических элементов в системе координат за счет использования позиционных допусков и допусков профиля



В стандартах **ASME GD&T** допуск позиционирования используется только для размерных элементов. Для не размерных элементов (отдельные плоскости или сложнопрофильные поверхности) применяют только **связанный** допуск профиля поверхности. В стандартах **ИСО** допуск позиционирования и допуск профиля поверхности для не размерных элементов используют **равнозначно**.



Размер между плоскостями – **современная трактовка**: в чертеже задается теоретически точный размер, связывающий базовую и измеряемую поверхности и допустимое позиционное отклонение. Или связанный с базой (системой баз) допуск профиля линии / поверхности. Размер между плоскостями, которые вместе образуют размерный элемент в современных чертежах почти не используют (исключения: концевая мера длины, шпонка / шпоночный паз).





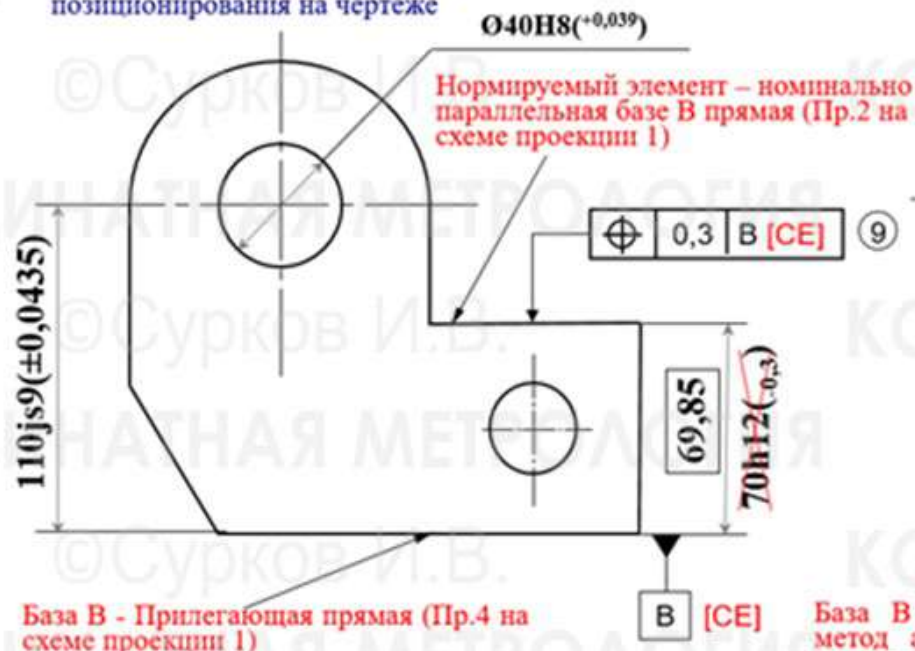
Расчетная модель (РММ) для анализа результатов координатных измерений

Разработка графических шаблонов для визуализации структурно-геометрических схем РММ различных GD&T параметров

Позиционный допуск на месторасположение плоскости (прямой Пр.2 в 2D Проекции 1)

Вариант № 1: без указания модификатора метода аппроксимации нормируемой прямой (Пр.2)

Пример нормирования допуска позиционирования на чертеже



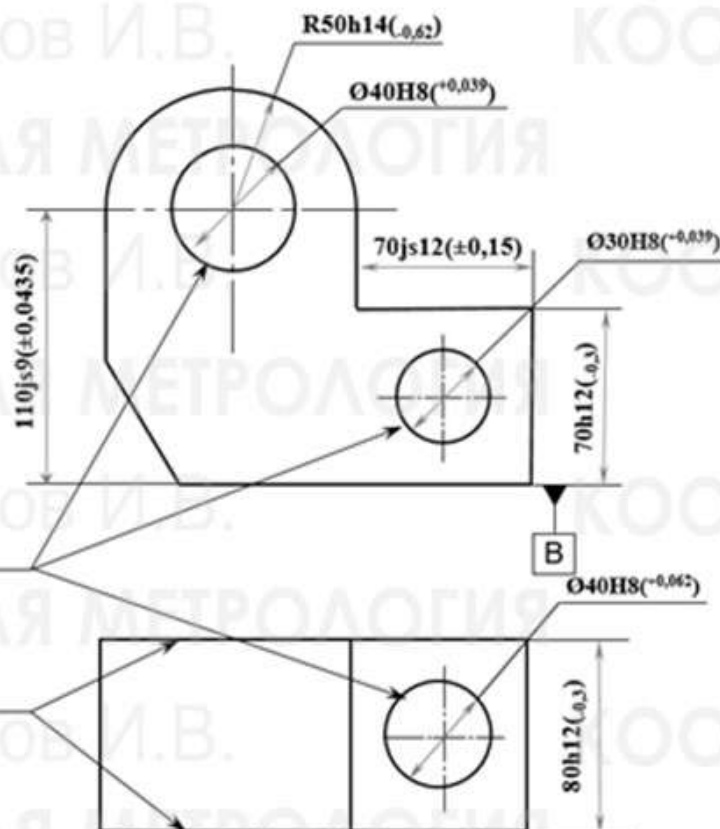
[CE] — модификатор базы по ISO 5459:2024

Пример оформления расчетной модели для анализа результатов координатных измерений в виде структурно-геометрической схемы (СТГ)



Результатом измерения является интервал размеров от минимального ($\min\{L_i\}$) до максимального ($\max\{L_i\}$)

Пример задания в чертеже «явного» требования по измерению двухточечным методом всех размерных элементов (FOS)



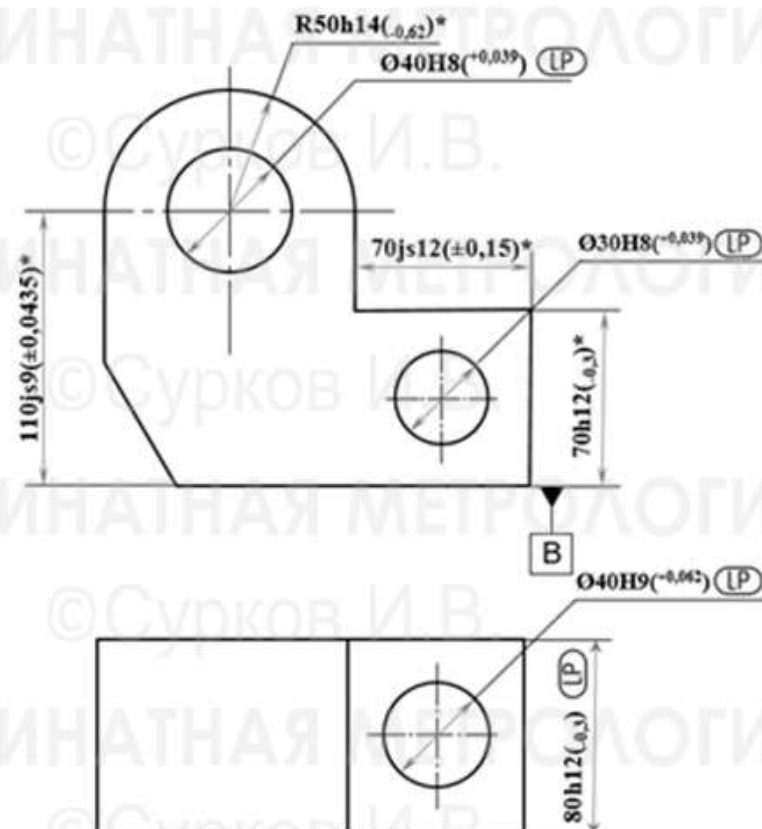
FOS – цилиндрическое отверстие
(окружность в 2D проекции)

FOS – две противоположные
номинально параллельные
плоскости (прямые в 2D
проекции)

Требование над штампом чертежа: **Размеры элементов по умолчанию (LP) по ISO 14405-1**

Требование (LP) относится только к FOS – Feature Of Size (ПЭ - Размерный Элемент)

* - не являются размерами размерных элементов





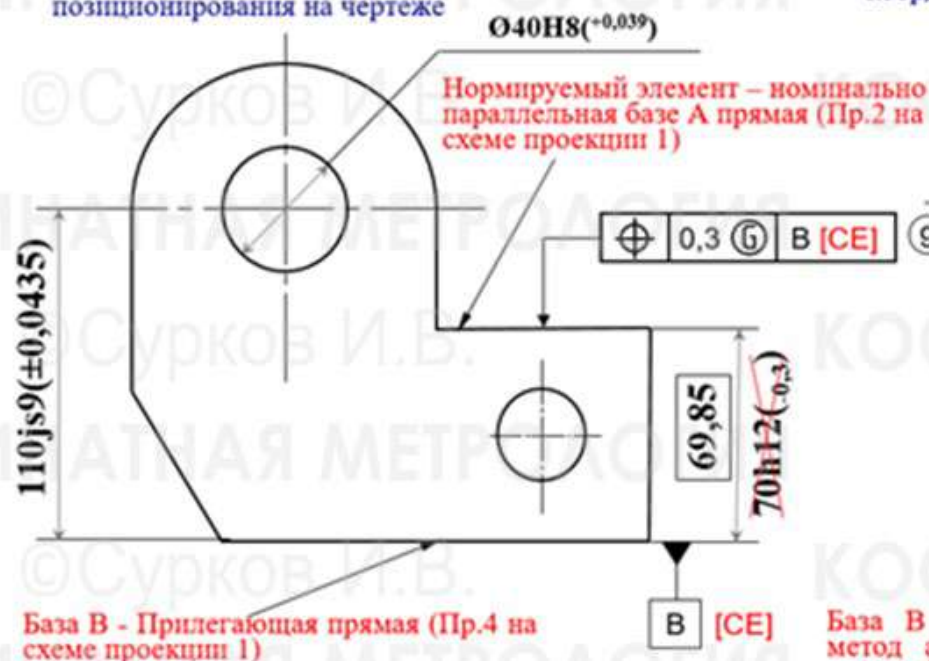
Расчетная модель (РММ) для анализа результатов координатных измерений

Разработка графических шаблонов для визуализации структурно-геометрических схем РММ различных GD&T параметров

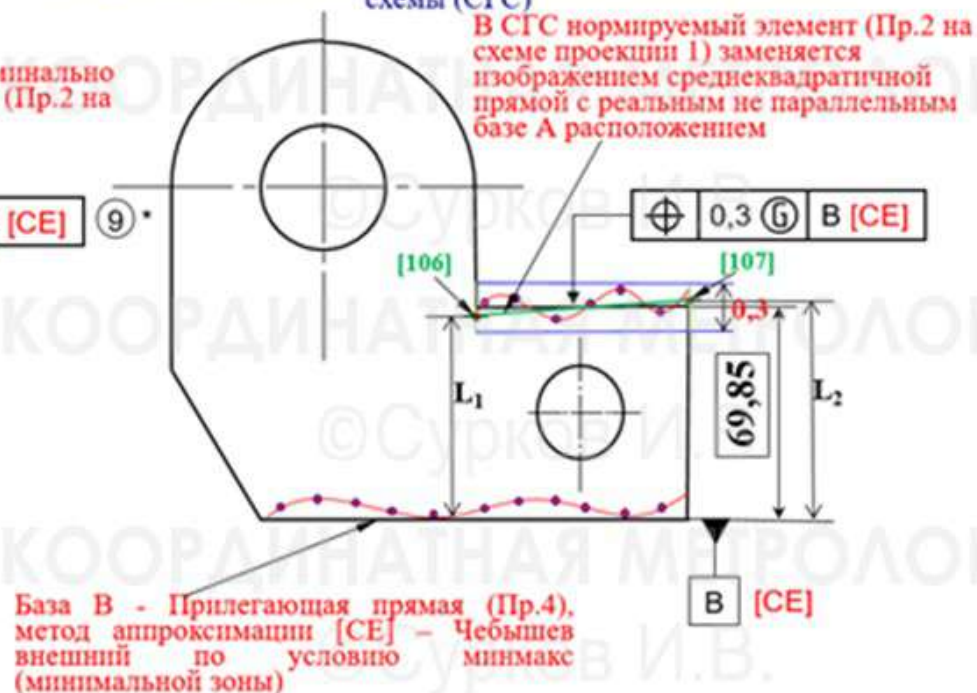
Позиционный допуск на месторасположение плоскости (прямой Пр.2 в 2D Проекции 1)

Вариант № 2: с указанием модификатора метода аппроксимации нормируемой прямой (Пр.2)

Пример нормирования допуска позиционирования на чертеже



Пример оформления расчетной модели для анализа результатов координатных измерений в виде структурно-геометрической схемы (СГС)



[CE] – модификатор базы по ISO 5459:2024

Результатом измерения является интервал размеров от минимального ($\min\{L_i\}$) до максимального ($\max\{L_i\}$) расстояния от граничных точек (в примере точки [106] и [107]) среднеквадратичной заменяющей прямой Пр.2 до базы В



© Сурков И.В.



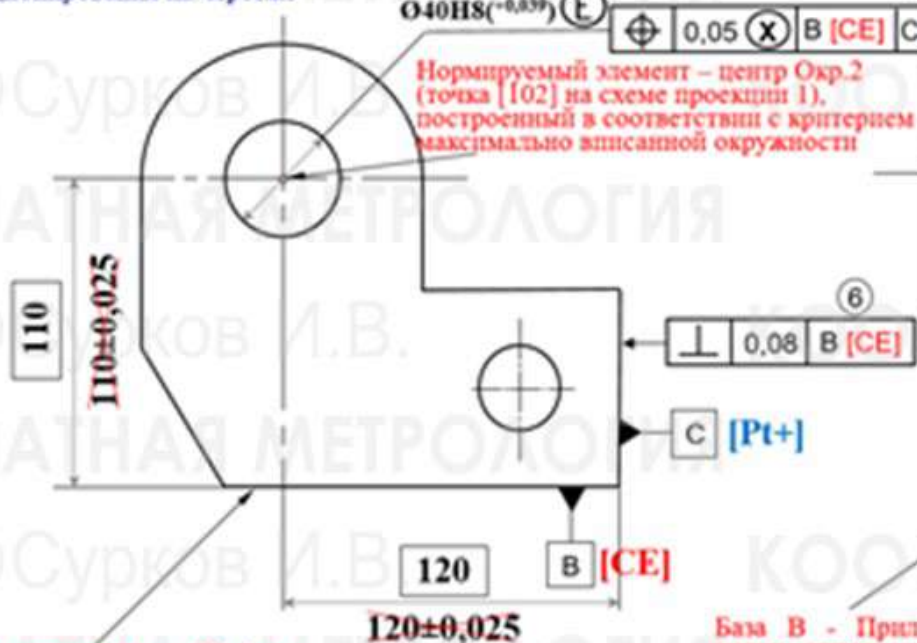
Расчетная модель (РММ) для анализа результатов координатных измерений

Разработка графических шаблонов для визуализации структурно-геометрических схем РММ различных GD&T параметров

Позиционный допуск на месторасположение центра Окр.2 (точки [102] в 2D проекции 1)

Вариант № 1: без указания символа Ø в рамке перед числовым значением допуска

Пример нормирования допуска позиционирования на чертеже



База В - Прилегающая прямая (Пр.4 на схеме проекции 1)

Пример оформления расчетной модели для анализа результатов координатных измерений в виде структурно-геометрической схемы (СТС)

В СТС задается теоретически точное положение нормируемого элемента (точка [102] на схеме проекции 1), вокруг которого симметрично располагаются 2 пары отрезков, формирующих границы позиционного поля допуска. Производный элемент – точка (центр максимально вписанной заменяющей Окр.2) должен располагаться внутри границ поля допуска.



База В - Прилегающая прямая (Пр.4), метод аппроксимации [CE] – Чебышев, внешний по условию минимакс (минимальной зоны)

[CE] – модификатор базы по ISO 5459:2024

[Pt+] - синим цветом на схемах и в ПО «ТехноКоорд» выделены символы модификаторов, которые не стандартизированы в ISO GPS, но по мнению разработчиков ПО «ТехноКоорд» необходимы для однозначного описания особенностей применяемой расчетно-математической модели.





Расчетная модель (PMM) для анализа результатов координатных измерений

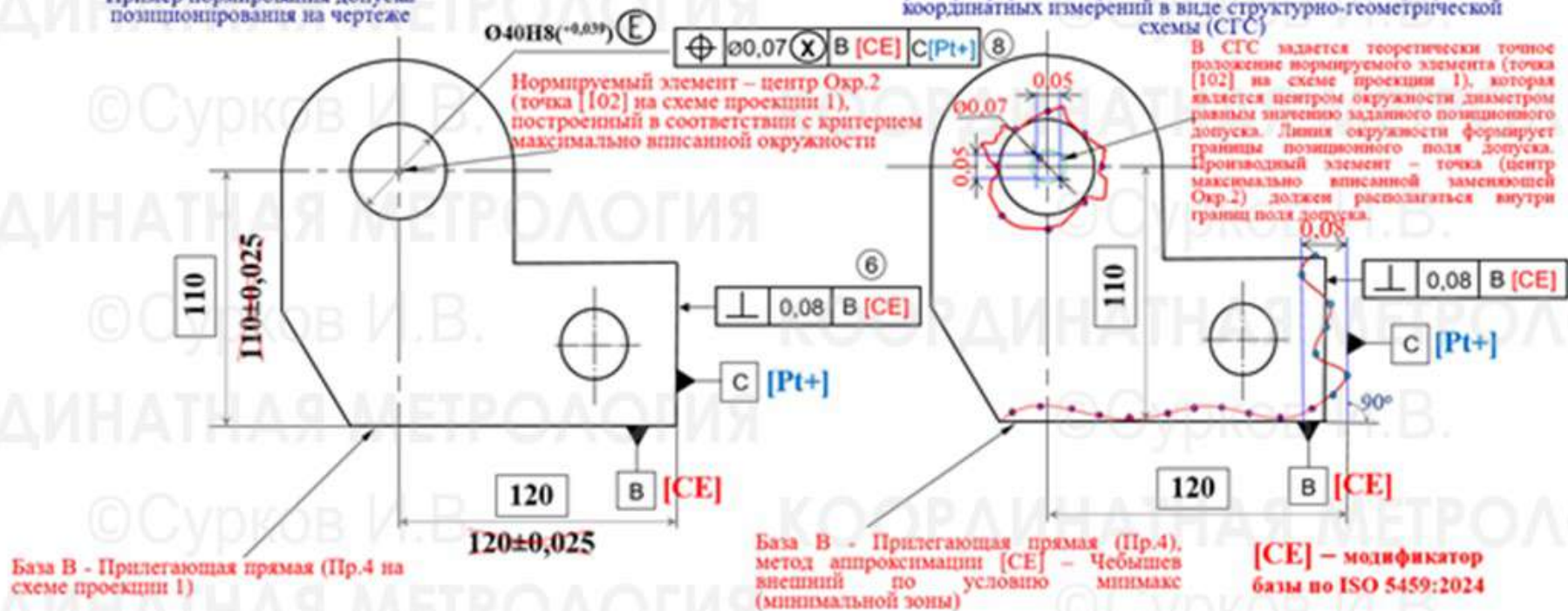
Разработка графических шаблонов для визуализации структурно-геометрических схем PMM различных GD&T параметров

Позиционный допуск на месторасположение центра Окр.2 (точки [102] в 2D проекции 1)

Вариант № 2: с указанием символа Ø в рамке перед числовым значением допуска

Пример нормирования допуска позиционирования на чертеже

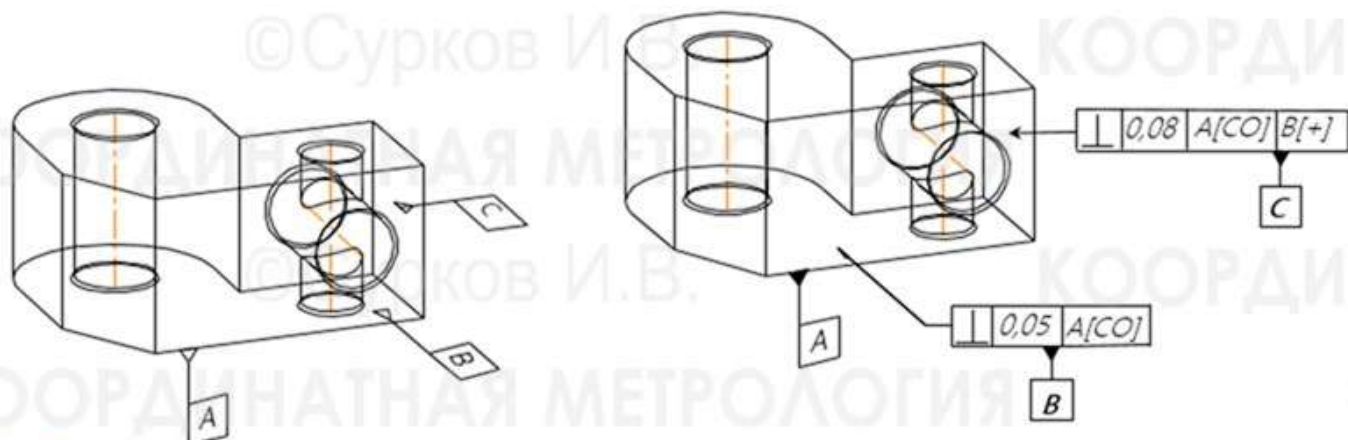
Пример оформления расчетной модели для анализа результатов координатных измерений в виде структурно-геометрической схемы (СТС)



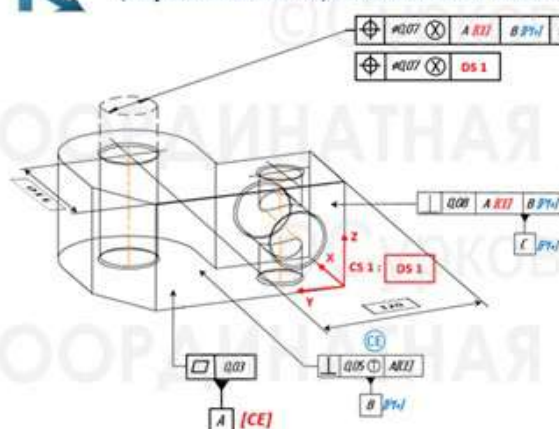
[Pt+] - синим цветом на схемах и в ПО «ТехноКоорд» выделены символы модификаторов, которые не стандартизованы в ISO GPS, но по мнению разработчиков ПО «ТехноКоорд» необходимы для однозначного описания особенностей применяемой расчетно-математической модели.



Разработка новых положений теории базирования для координатной метрологии в условиях цифрового производства



Пример оформления требований к формированию системы координат детали № 1 (по правилу 3-2-1) на 3D моделях (операционных эскизах) с использованием обозначений из ISO 5459:2024 и новой версии ПО «ТехноКоорд»



В ПО «ТехноКоорд» вместо символа модификатора тангенциальной плоскости $\oplus$, надо использовать символ модификатора минимальной аппроксимации (по Чебышеву) с ограничением «вне материала» $\text{C}[P+]$, который не стандартизирован в ISO 1101:2017 для допусков ориентации.

В стандарте ISO 5459:2024 предложена новая форма графических обозначений для базовой системы координат DS (datum system), которая позволяет упростить чертеж и уменьшить количество графических символов.

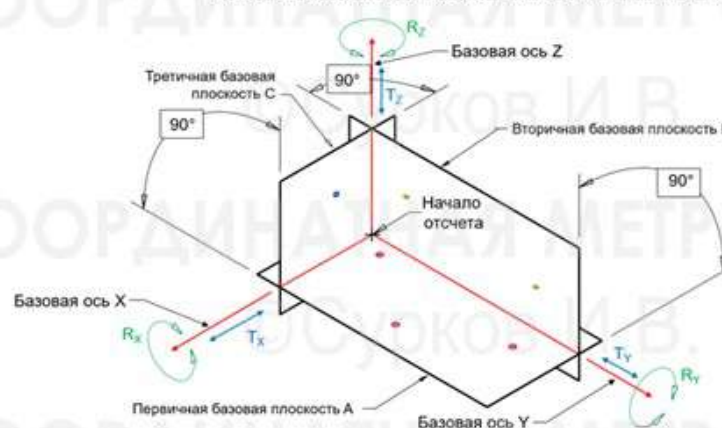
DS1 = A[CO] B[+] C[P+]

Так же, из ISO 5459:2024 следует, что на 2D чертеже или 3D модели можно показывать систему координат детали CS (coordinate system), образованную с помощью соответствующей базовой системы координат DS (datum system).

[CE] – красным цветом на схемах выделены новые модификаторы базы и новые формы графических обозначений, введенные в ISO 5459:2024

[P+] – синим цветом на схемах и в ПО «ТехноКоорд» выделены символы модификаторов, которые не стандартизированы в ISO GPS, но по мнению разработчиков ПО «ТехноКоорд» необходимы для однозначного описания особенностей применяемой расчетно-математической модели. При расшифровке данной базовой системы координат модификатор [P+] обозначает требование о том, что вторичная базовая плоскость B должна быть касательной к измеренным на ней точкам с дополнительными условиями: «вне материала» и перпендикулярность базовой плоскости A. Аналогично, третичная базовая плоскость C должна быть касательной к измеренным на ней точкам с дополнительными условиями: «вне материала» и одновременная перпендикулярность базовым плоскостям A и B.

Создание БАЗОВОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ (DATUM REFERENCE FRAME) по правилу 3-2-1.



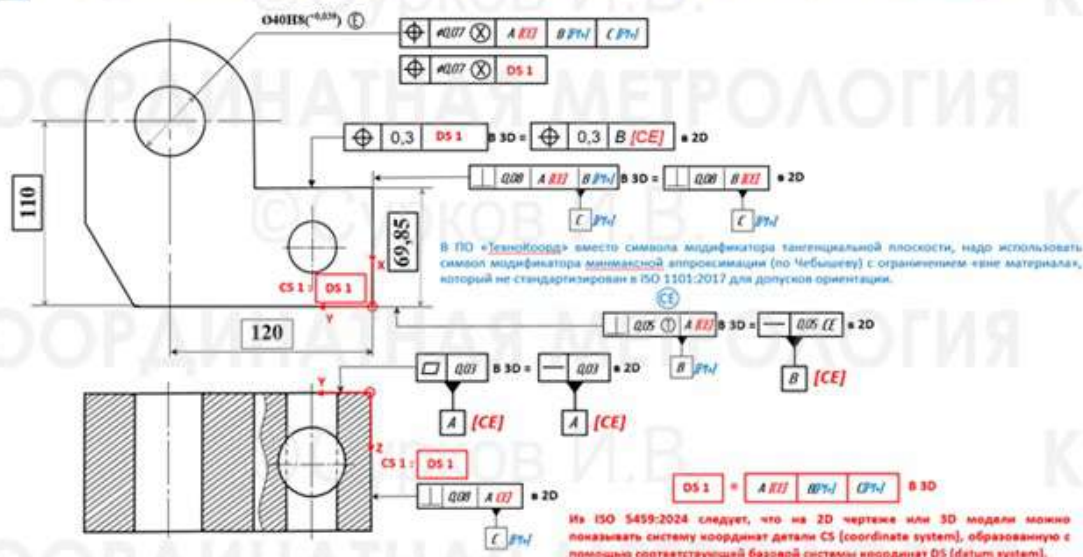
Любое твердое тело имеет 6 степеней свободы:
- 3 линейных перемещения вдоль осей Tx, Ty, Tz;
- 3 угловых поворота вокруг осей Rx, Ry, Rz.
База A (3 теоретические точки контакта) блокирует перемещение вдоль Tz, вращение вокруг Rx и Ry.
База B (2 теоретические точки контакта) блокирует перемещение вдоль Tx, вращение вокруг Rz.
База C (1 теоретическая точка контакта) блокирует перемещение вдоль Ty.
Ориентация системы координат модели должна быть общей для решения одной проектной задачи и специфичной для каждой отрасли.
В идеале ось Z ориентирована вверх (противоположно силе тяжести).

Базовые плоскости A, B, C задают систему координат XYZ для измерения геометрических параметров. Пересечение любых двух плоскостей представляет собой ось системы координат. Кроме того, все три оси и плоскости пересекаются в начале базовой системы координат.

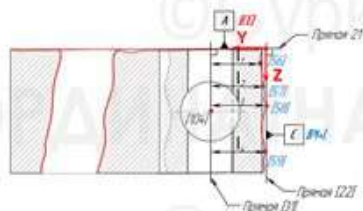


Разработка новых положений теории базирования для координатной метрологии в условиях цифрового производства

Пример оформления требований к формированию системы координат детали № 1 (по правилу 3-2-1) на 2D чертежах (операционных эскизах) с использованием обозначений из ISO 5459:2024 и новой версии ПО «ТехноКoord»

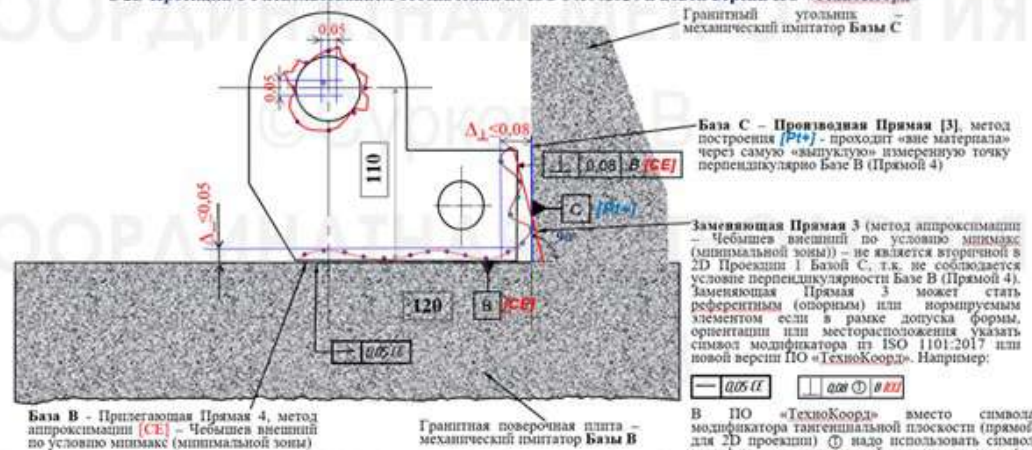


Построение СКД №1 в Проекции 2 (Параметр 6-6)



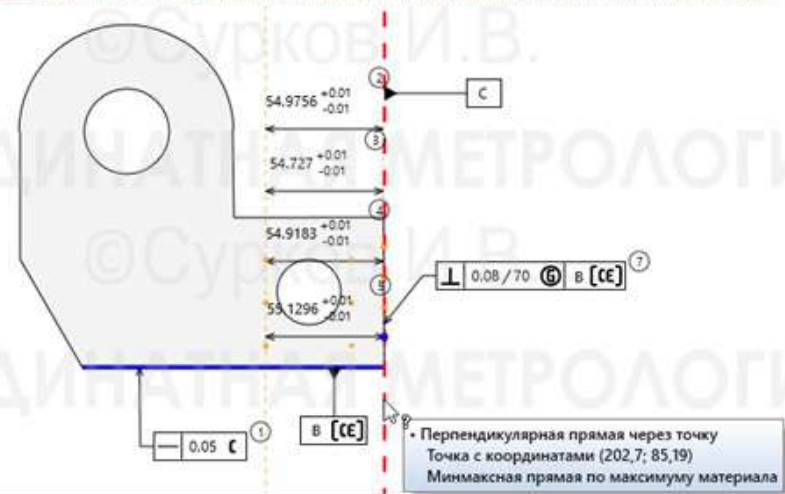
База А – Прямая 21 метод аппроксимации [CE] – Чебышев внешний по условию минимакс (минимальной зоны).
Прямая 21 – служебная производная прямая, построенная через точку 158 (может быть выбрана любая точка «внутри материала» детали, в данном случае – это центр Окружности 4) перпендикулярно Базе А (Прямой 21).
Измерен расстояния I_1 от Прямой 21 до измеренных на заменяющей Прямой 22 точек 1561...1591.
Определим, что для данного примера $I_2 = \max I_1$, то есть Точка 158 является максимально «выпуклой» относительно других измеренных на заменяющей Прямой 22 точек.
База С в Проекции 2 является производная Прямой 22, перпендикулярная Прямой 21 и проходящая «вне материала» детали через точку 158.
Важное замечание: необходимо знать различие между заменяющей Прямой 22 (прямая, рассчитанная по координатам точек измерения в соответствии с принятым критерием математической аппроксимации, с действительным расположением в системе координат детали, которое с большой долей вероятности не будет перпендикулярно Прямой 21) и производной Прямой 22 (прямая, построенная с дополнительными и обязательными условиями, одним из которых является условие перпендикулярности Прямой 21).

Параметр 6. Пример оформления расчетной модели в виде структурно-геометрической схемы (СГС) для построения СКД № 1 в 2D Проекции 1 с использованием обозначений из ISO 5459:2024 и новой версии ПО «ТехноКoord»



[CE] – модификатор базы по ISO 5459:2024

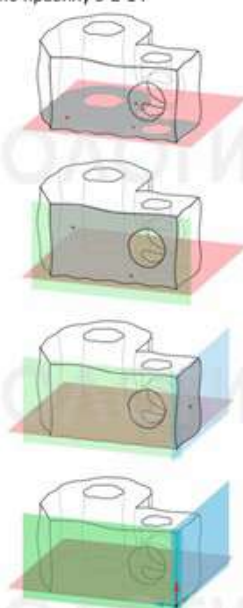
[Pt+] – синим цветом на схемах и в ПО «ТехноКoord» выделены символы модификаторов, которые не стандартизированы в ISO GPS, но по мнению разработчиков ПО «ТехноКoord» необходимы для однозначного описания особенностей применяемой расчетно-математической модели.





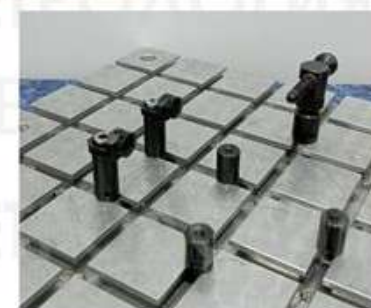
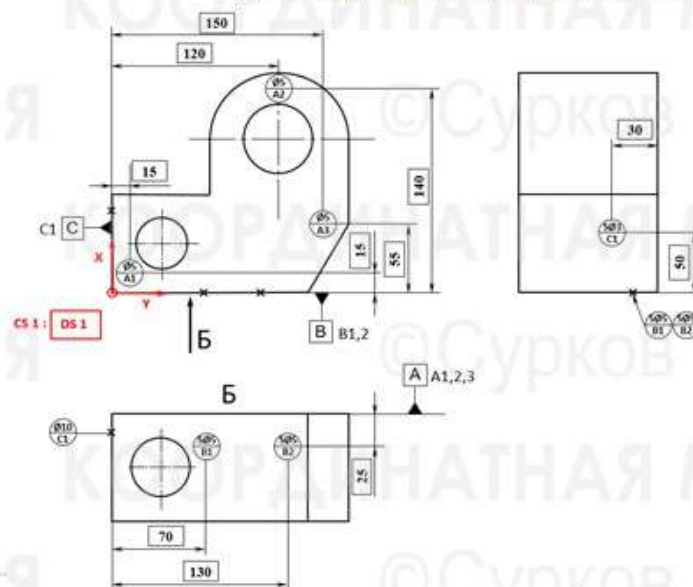
Разработка новых положений теории базирования для координатной метрологии в условиях цифрового производства

Примеры БАЗОВОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ (DATUM REFERENCE FRAME) по правилу 3-2-1.



Различия при построении СКД по правилу 3-2-1 с помощью контрольного приспособления с упорами с полусферическими опорными поверхностями и при последовательном упоре в 3 взаимно перпендикулярные плоскости.

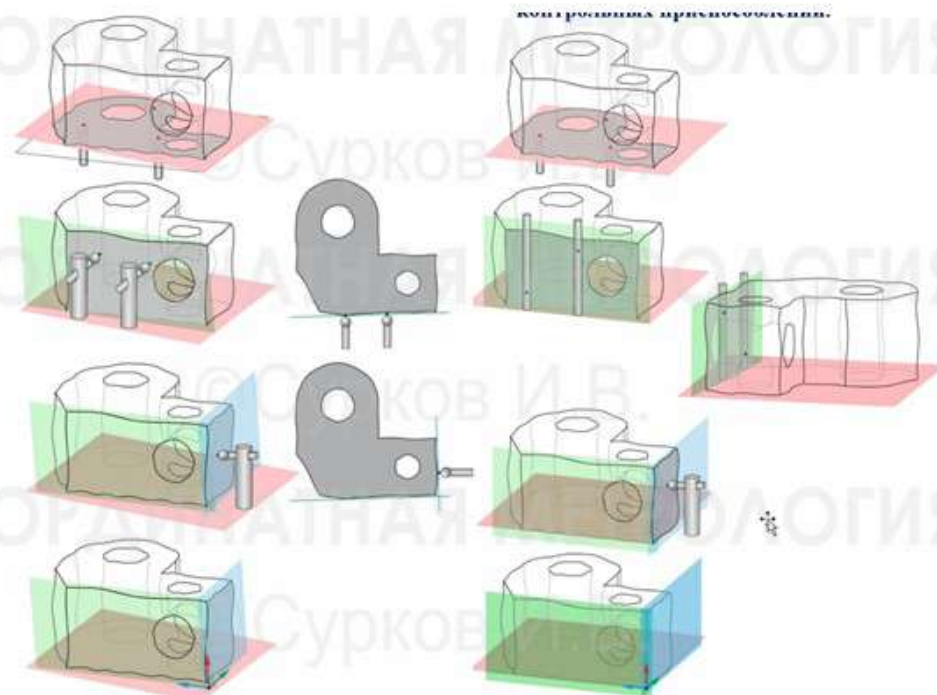
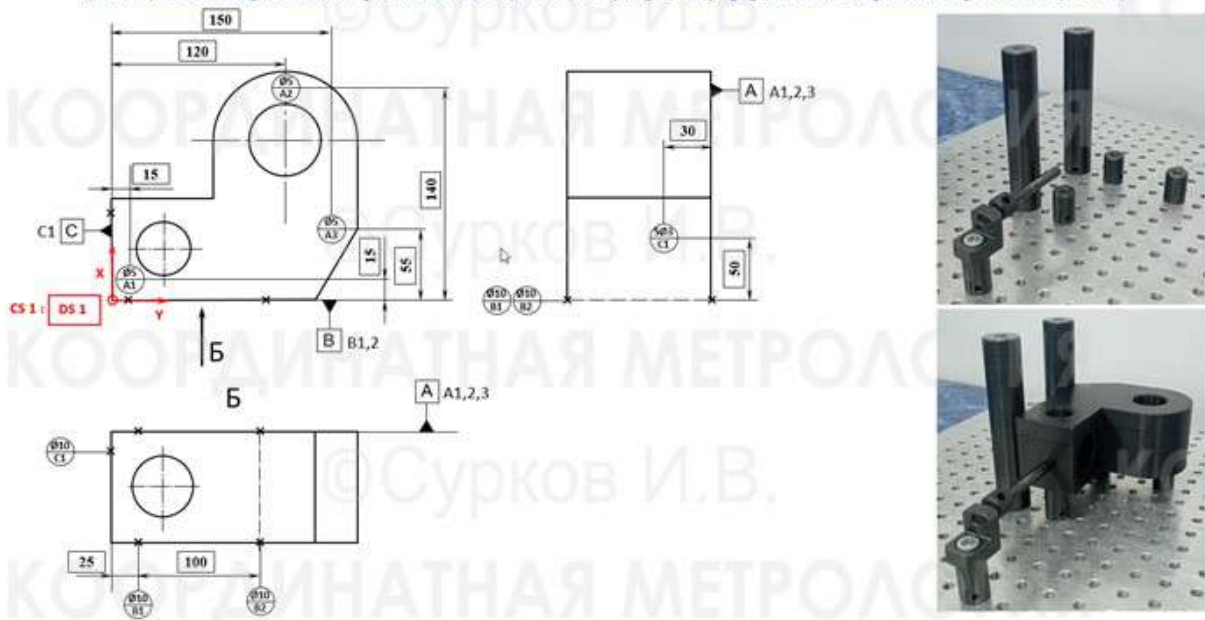
СКД № 1 сформированная по правилу 3-2-1 контрольным приспособлением, конструкция которого имеет 3 плоские опоры (база А) и 3 упора с полусферическими опорными поверхностями (базы В и С)





Разработка новых положений теории базирования для координатной метрологии в условиях цифрового производства

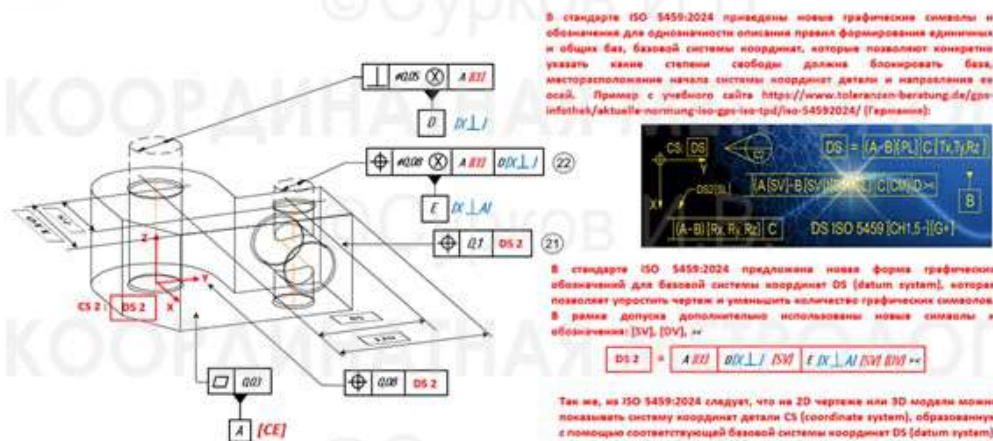
СКД № 1 сформированная по правилу 3-2-1 контрольным приспособлением, конструкция которого имеет 3 плоские опоры (база А), 2 цилиндрических опорных элемента (база В) и 1 упор с полусферической опорной поверхностью (база С)





Разработка новых положений теории базирования для координатной метрологии в условиях цифрового производства

Пример оформления требований к формированию системы координат детали № 2 (плоскость и 2 отверстия) на 3D моделях (операционных эскизах) с использованием обозначений из ISO 5459:2024 и новой версии ПО «ТехноКoord»



В стандарте ISO 5459:2024 приведены новые графические символы и обозначения для однозначности описания правил формирования единичных и общих баз, базовой системы координат, которые позволяют конкретно указать какие степени свободы должны блокировать база, месторасположение начала системы координат детали и направления ее осей. Пример с учебного сайта <https://www.toleranzen-beratung.de/gpr-infothek/aktuelle-normung-iso-gps-iso-tpd/iso-54592024/> (Германия):



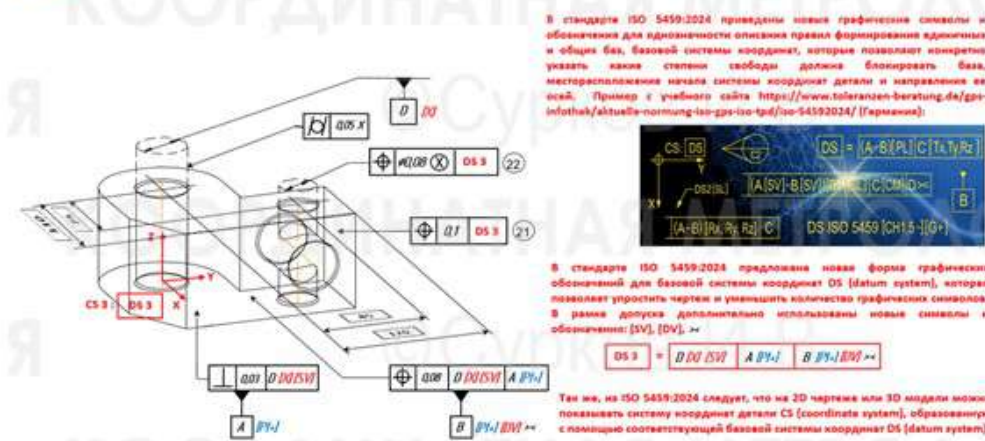
В стандарте ISO 5459:2024 предложена новая форма графических обозначений для базовой системы координат DS (datum system), которая позволяет упростить чертеж и уменьшить количество графических символов. В рамках допуска дополнительно использованы новые символы и обозначения: [SV], [DV].

$$DS 2 = A [X] [Y] [Z] \quad DS 1 = A [X] [Y] [Z]$$

Так же, по ISO 5459:2024 следует, что на 2D чертеже или 3D модели можно показывать систему координат детали CS (coordinate system), образованную с помощью соответствующей базовой системы координат DS (datum system).

[X], [Y], [Z] - синим цветом на схемах и в ПО «ТехноКoord» выделены символы модификаторов, которые не стандартизированы в ISO GPS, но по мнению разработчиков ПО «ТехноКoord» необходимы для однозначного описания особенностей применяемой расчетно-математической модели.

Пример оформления требований к формированию системы координат детали № 3 (главное отверстие (двойная направляющая база) и 2 плоскости (опорные базы)) на 3D моделях (операционных эскизах) с использованием обозначений из ISO 5459:2024 и новой версии ПО «ТехноКoord»



В стандарте ISO 5459:2024 приведены новые графические символы и обозначения для однозначности описания правил формирования единичных и общих баз, базовой системы координат, которые позволяют конкретно указать какие степени свободы должны блокировать база, месторасположение начала системы координат детали и направления ее осей. Пример с учебного сайта <https://www.toleranzen-beratung.de/gpr-infothek/aktuelle-normung-iso-gps-iso-tpd/iso-54592024/> (Германия):



В стандарте ISO 5459:2024 предложена новая форма графических обозначений для базовой системы координат DS (datum system), которая позволяет упростить чертеж и уменьшить количество графических символов. В рамках допуска дополнительно использованы новые символы и обозначения: [SV], [DV].

$$DS 2 = D [X] [Y] [Z] \quad DS 1 = A [X] [Y] [Z]$$

Так же, по ISO 5459:2024 следует, что на 2D чертеже или 3D модели можно показывать систему координат детали CS (coordinate system), образованную с помощью соответствующей базовой системы координат DS (datum system).

[X], [Y], [Z] - синим цветом на схемах и в ПО «ТехноКoord» выделены символы модификаторов, которые не стандартизированы в ISO GPS, но по мнению разработчиков ПО «ТехноКoord» необходимы для однозначного описания особенностей применяемой расчетно-математической модели.

Table 5—Example systems datum or datum system taken from a cylinder and a plane

Reference datum Datum datum	Feature of datum on tolerance feature	Measuring process	Coordinate datum Datum datum
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
21	21	21	21
22	22	22	22
23	23	23	23
24	24	24	24
25	25	25	25
26	26	26	26
27	27	27	27
28	28	28	28
29	29	29	29
30	30	30	30
31	31	31	31
32	32	32	32
33	33	33	33
34	34	34	34
35	35	35	35
36	36	36	36
37	37	37	37
38	38	38	38
39	39	39	39
40	40	40	40
41	41	41	41
42	42	42	42
43	43	43	43
44	44	44	44
45	45	45	45
46	46	46	46
47	47	47	47
48	48	48	48
49	49	49	49
50	50	50	50
51	51	51	51
52	52	52	52
53	53	53	53
54	54	54	54
55	55	55	55
56	56	56	56
57	57	57	57
58	58	58	58
59	59	59	59
60	60	60	60
61	61	61	61
62	62	62	62
63	63	63	63
64	64	64	64
65	65	65	65
66	66	66	66
67	67	67	67
68	68	68	68
69	69	69	69
70	70	70	70
71	71	71	71
72	72	72	72
73	73	73	73
74	74	74	74
75	75	75	75
76	76	76	76
77	77	77	77
78	78	78	78
79	79	79	79
80	80	80	80
81	81	81	81
82	82	82	82
83	83	83	83
84	84	84	84
85	85	85	85
86	86	86	86
87	87	87	87
88	88	88	88
89	89	89	89
90	90	90	90
91	91	91	91
92	92	92	92
93	93	93	93
94	94	94	94
95	95	95	95
96	96	96	96
97	97	97	97
98	98	98	98
99	99	99	99
100	100	100	100

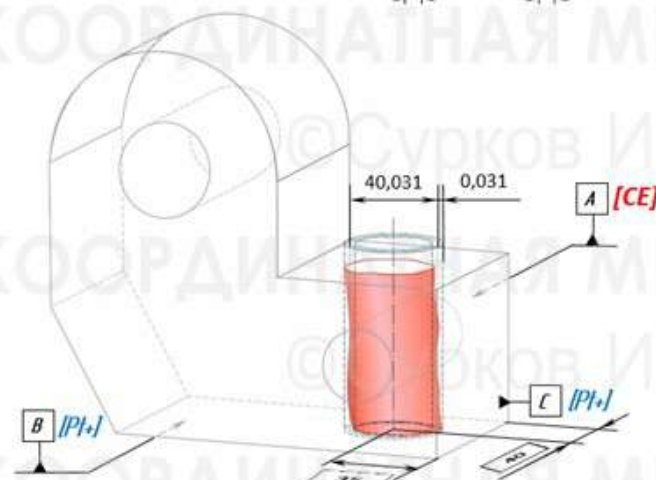
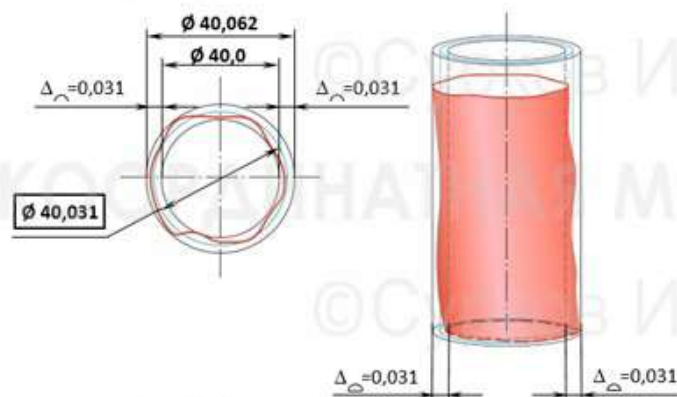
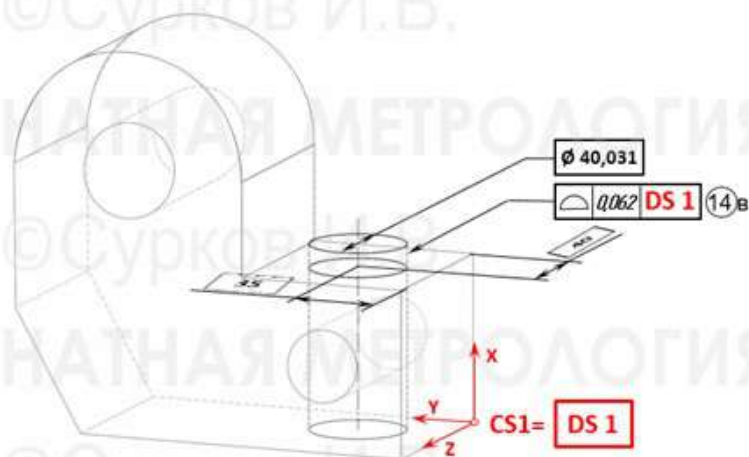
NOTES:
1 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
2 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
3 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
4 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
5 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
6 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
7 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
8 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
9 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
10 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
11 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
12 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
13 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
14 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
15 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
16 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
17 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
18 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
19 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
20 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
21 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
22 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
23 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
24 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
25 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
26 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
27 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
28 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
29 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
30 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
31 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
32 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
33 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
34 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
35 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
36 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
37 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
38 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
39 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
40 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
41 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
42 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
43 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
44 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
45 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
46 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
47 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
48 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
49 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
50 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
51 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
52 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
53 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
54 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
55 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
56 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
57 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
58 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
59 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
60 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
61 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
62 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
63 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
64 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
65 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
66 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
67 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
68 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
69 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
70 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
71 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
72 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
73 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
74 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
75 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
76 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
77 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
78 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
79 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
80 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
81 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
82 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
83 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
84 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
85 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
86 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
87 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
88 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
89 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
90 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
91 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
92 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
93 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
94 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
95 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
96 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
97 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
98 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
99 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature
100 = Datum datum feature with datum system taken from the datum datum feature

Примеры влияния смены последовательности указания базовых элементов (плоскость и ось цилиндра) на формирование системы координат.



Расчетная модель (РММ) для анализа результатов координатных измерений Разработка графических шаблонов для визуализации структурно-геометрических схем РММ различных GD&T параметров с учетом новых положений теории базирования.

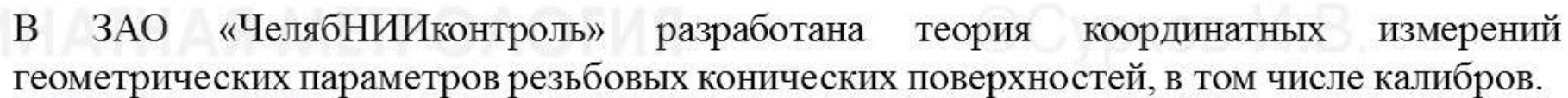
СТС 2 Параметр (14) в : Нормирование допуска профиля поверхности Цилиндра 4 (в 3D пространстве), связанные с системой баз DS1 (СКД № 1)





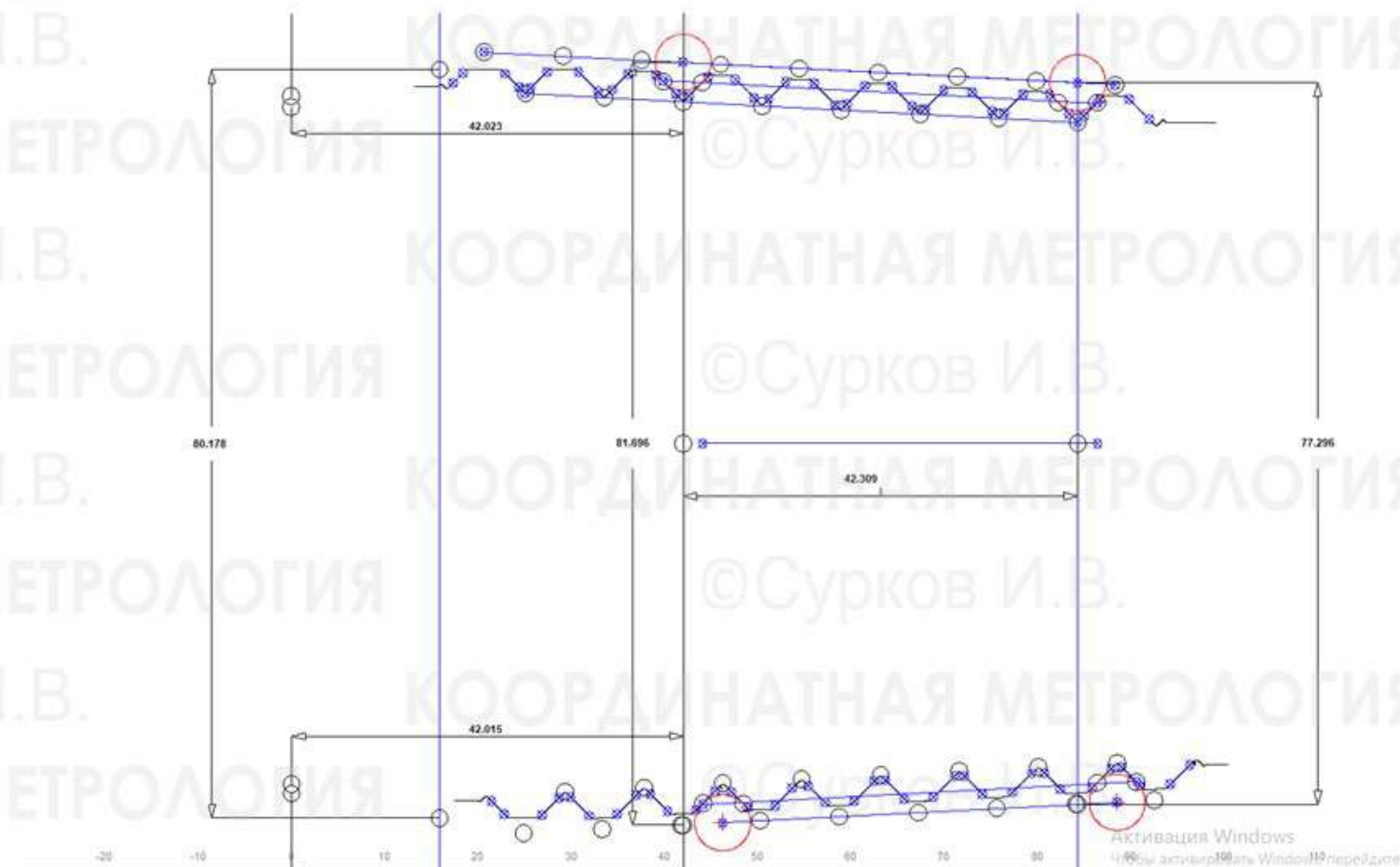
Единое информационное пространство машиностроительного производства







В ЗАО «ЧелябНИИконтроль» разработана теория координатных измерений геометрических параметров резьбовых конических поверхностей, в том числе калибров.





Разработка новых стандартов и методик выполнения измерений, утверждение в органах

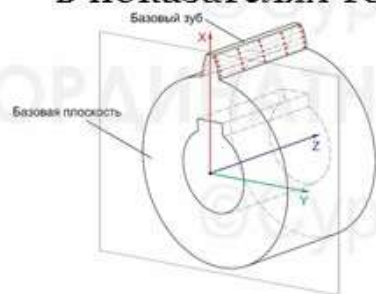


Разработка новой методики и ПО для контроля зубчатых колес

Большие сложности при разработке оптимальных МКИ **зубчатых колес** возникают у российских специалистов. Это вызвано устарелостью отечественной нормативной научно-технической документации и её несоответствиями с современными рекомендациям ISO. ГОСТ 1643-81 (распространяется на эвольвентные цилиндрические зубчатые колёса и зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления) не перерабатывался уже более 30 лет. Зарубежная нормативная база постоянно обновляется, в новые редакции стандартов добавляют описание современных средств и методик измерений, в т. ч. особенности применения КИМ и КИС.

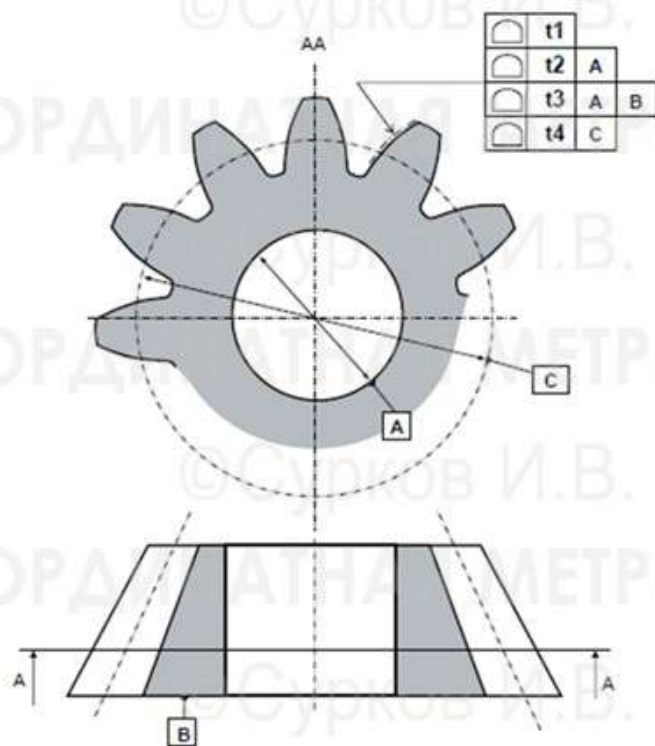
На возникающие периодически предложения отменить **ГОСТ 1643-81** и ввести в действие гармонизированный с ISO 1328 (ч.1 и 2) новый стандарт можно обосновано возразить:

Принудительный перевод Российской промышленности на международную нормативную базу приведет к потере преимуществ, заложенных в структуру ГОСТ 1643-81, введет в список обязательных дорогостоящие средства измерения (эвольвентомеры, специализированные КИМ и КИС), а главное, обяжет всех производителей в России провести переработку десятков миллионов чертежей зубчатых колес, технологических процессов их изготовления и контроля (из-за различий в показателях точности и значений допусков).

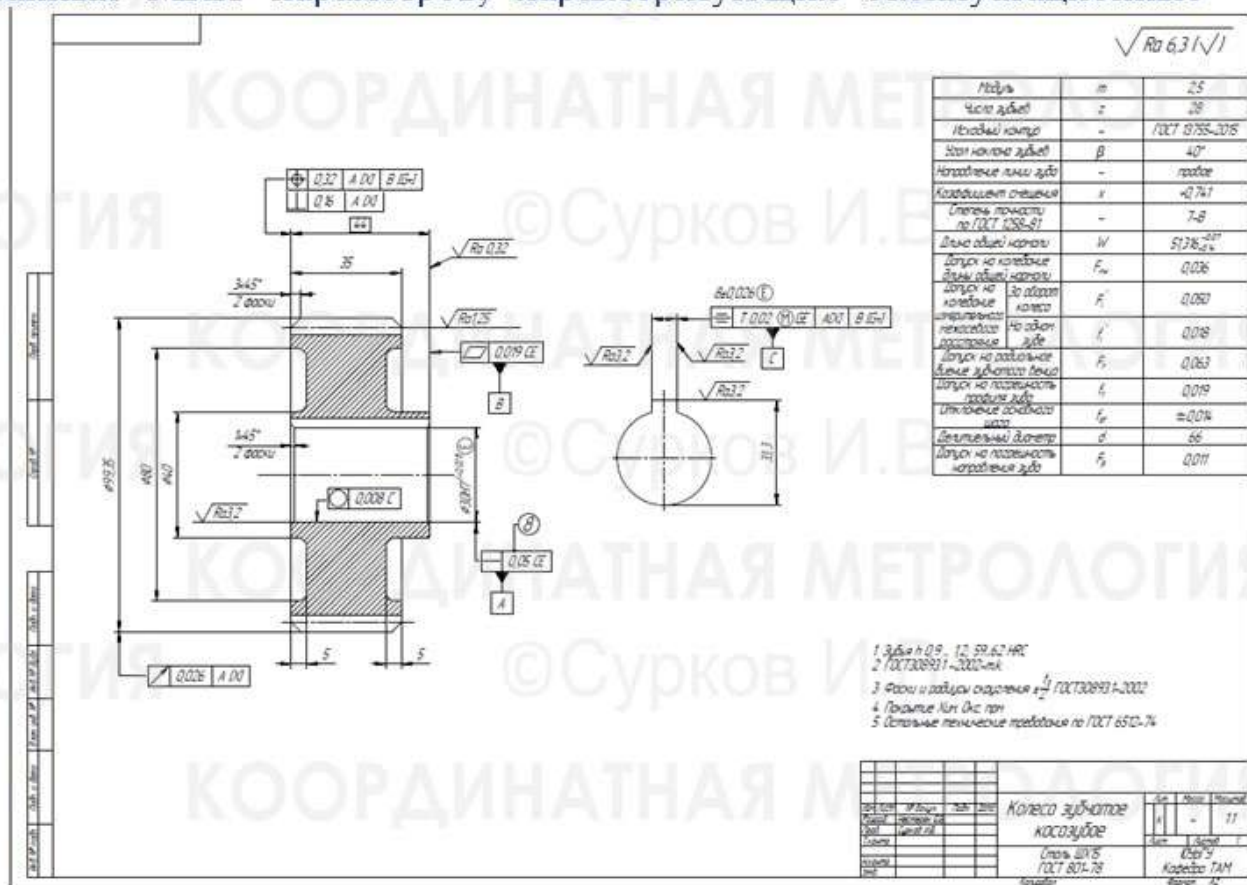


2.2. Типовые методики координатных измерений геометрических параметров зубчатых колес

При контроле зубчатых колес помимо универсальных методик координатных измерений (МКИ – включает в себя стратегию измерения и математические модели и алгоритмы для обработки результатов) типовых геометрических параметров (размеров элементов: диаметра и отклонения от цилиндричности базового отверстия, шеек под подшипники вала-шестерни; расстояний между торцами; отклонений от перпендикулярности или параллельности и т.д.) применяют большое число специализированных МКИ параметров, характеризующих эксплуатационные показатели зубчатого колеса или зацепления.



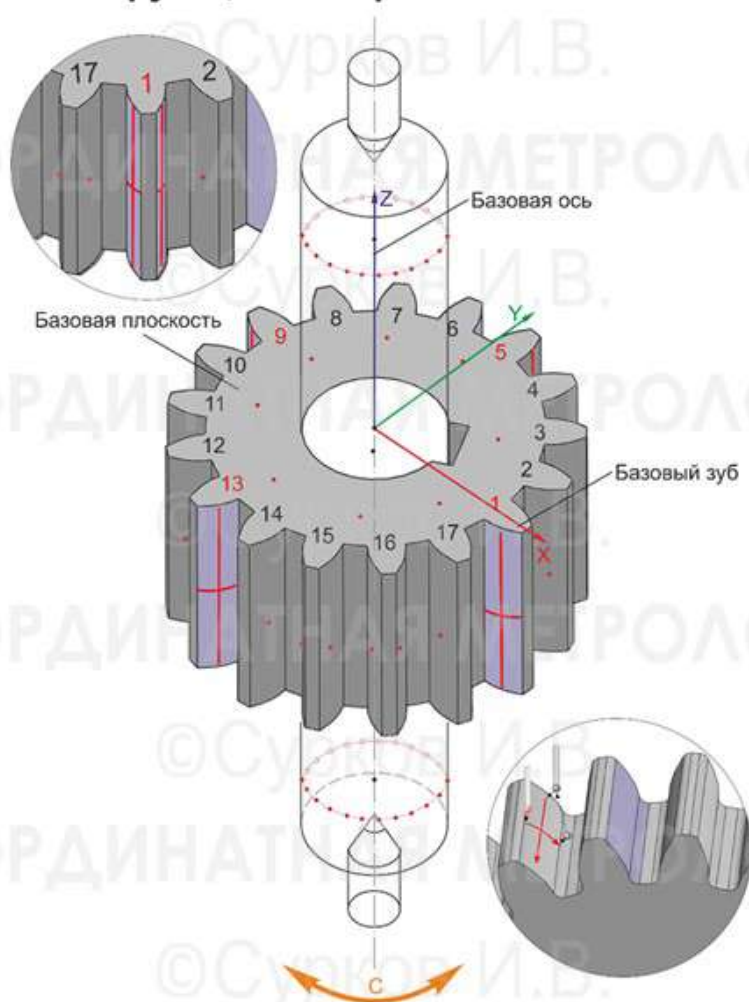
© Сурков И.В.



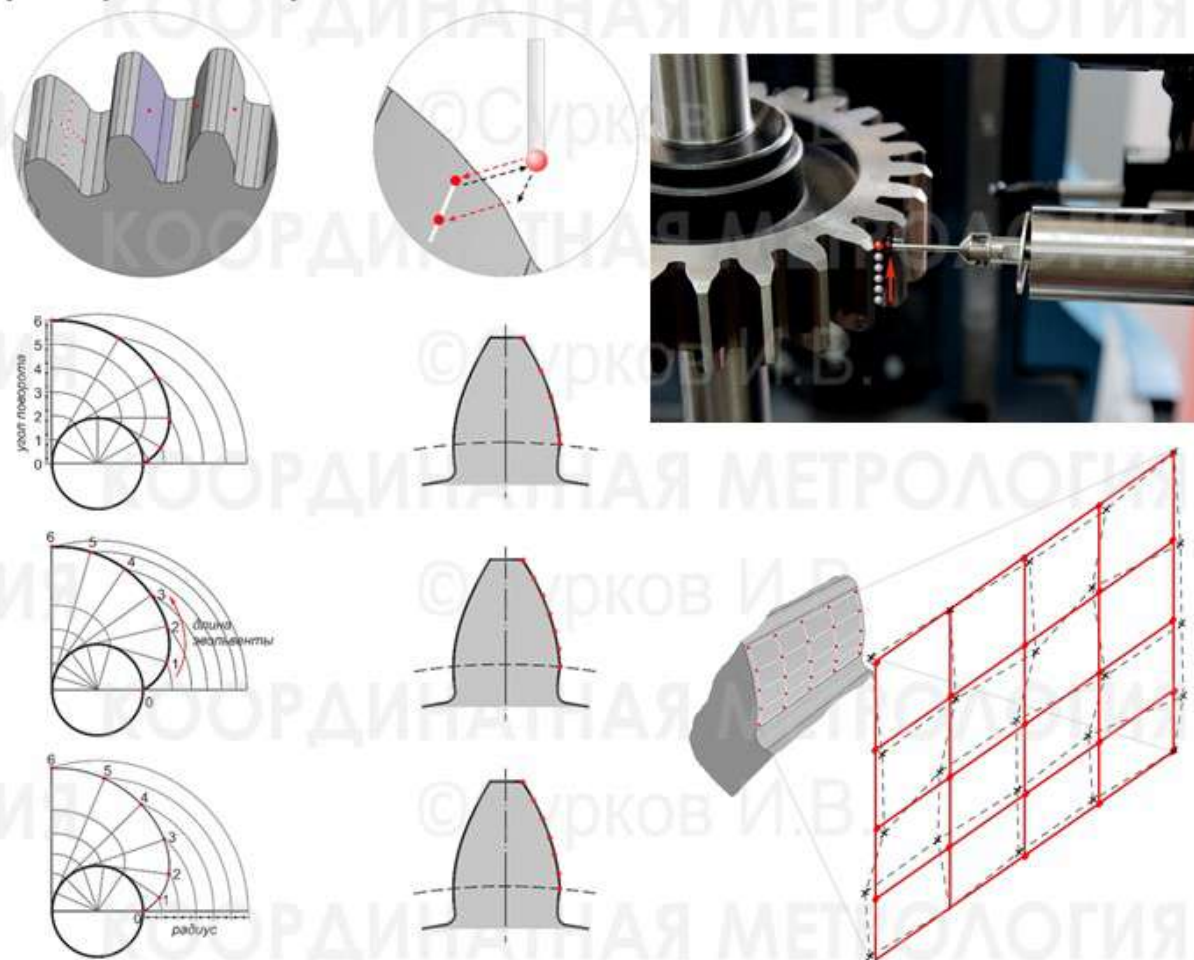


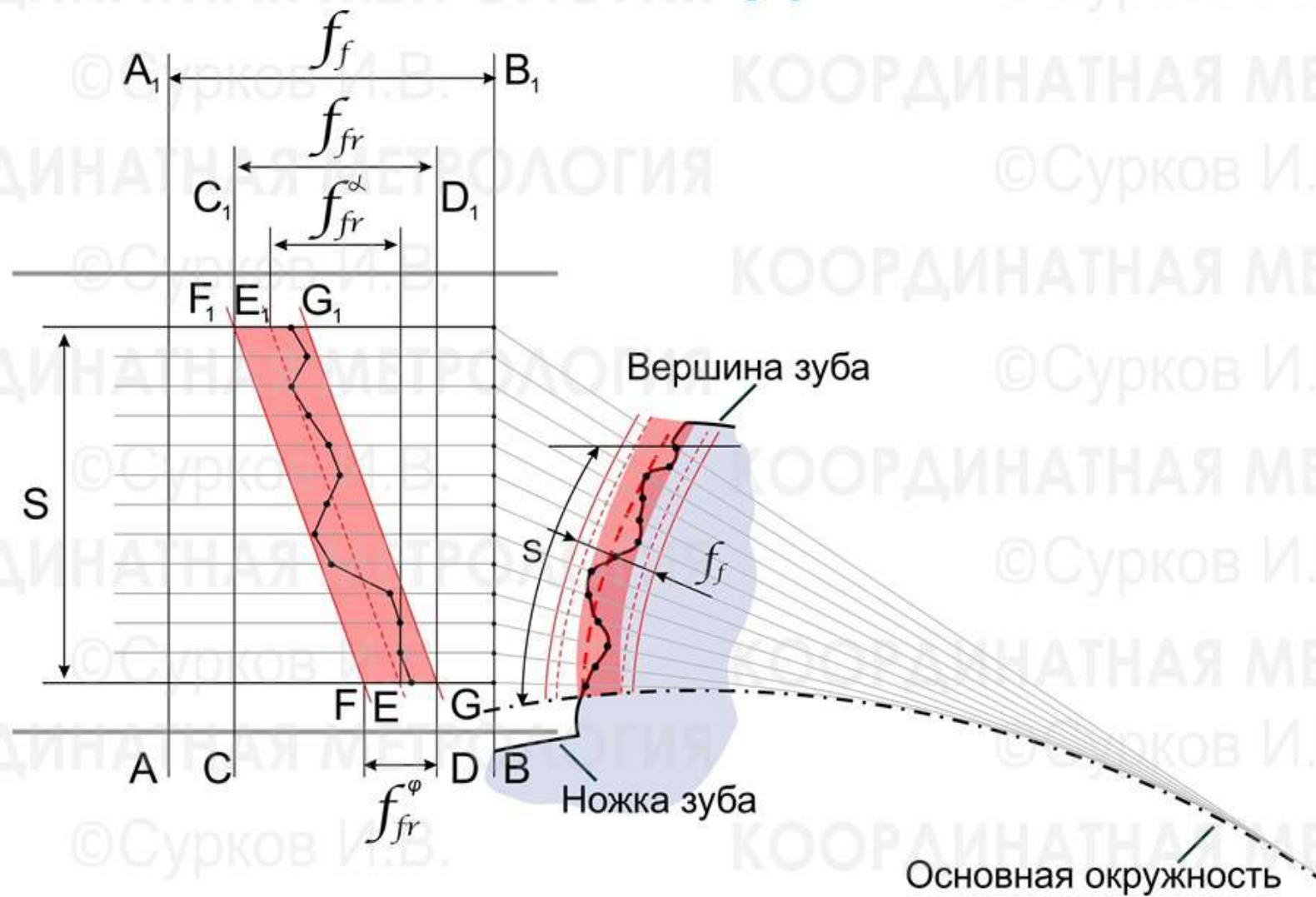
Разработка новой методики и ПО для контроля зубчатых колес

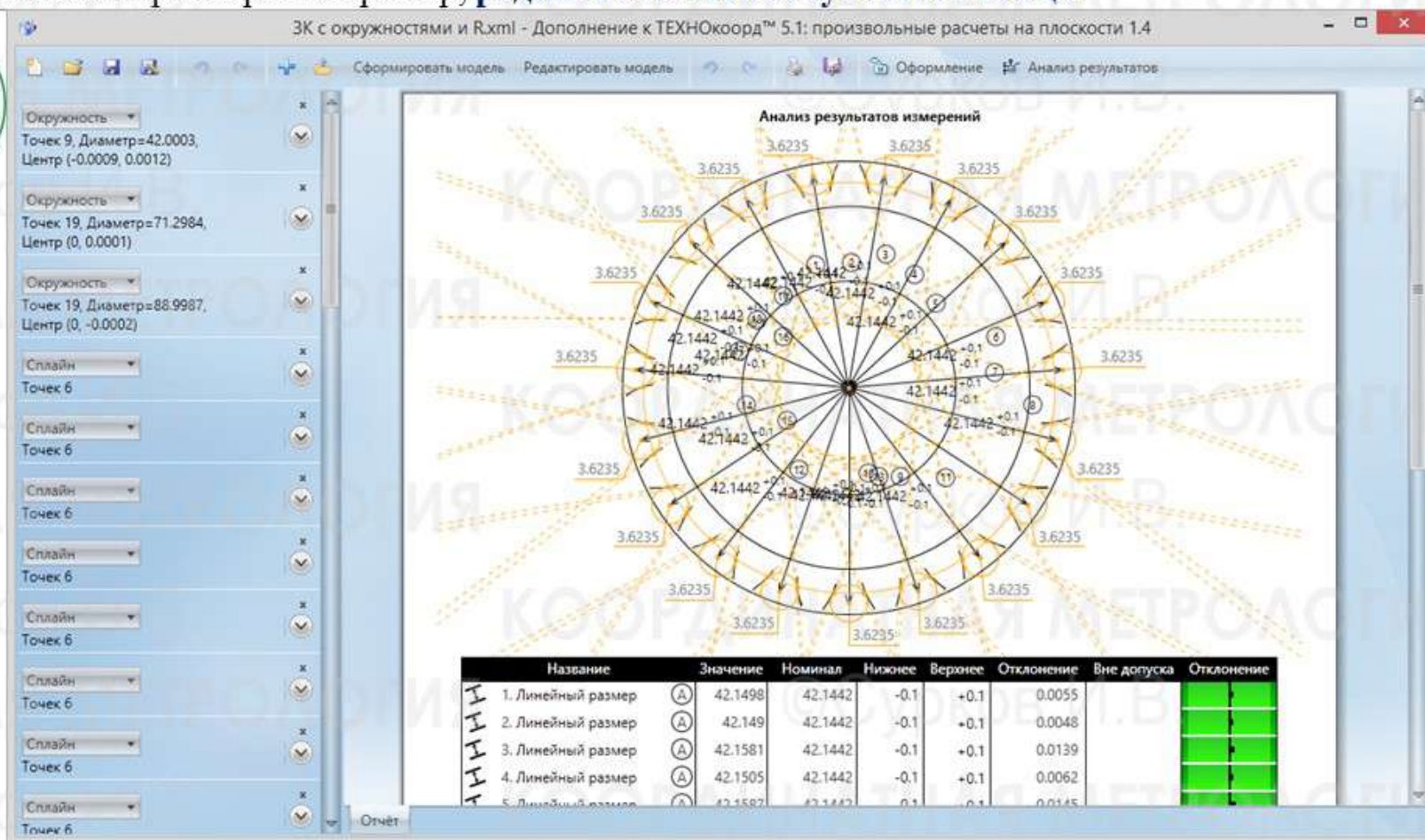
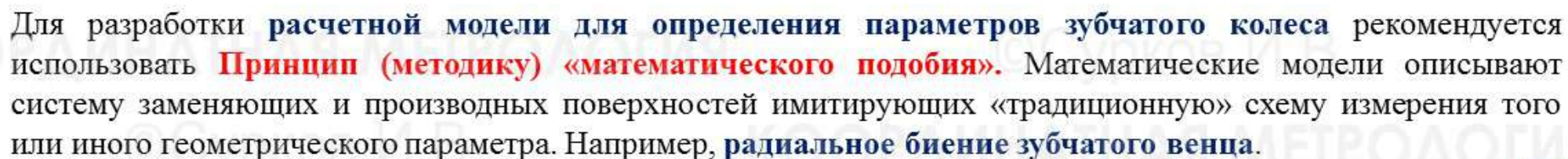
Стратегия измерения зубчатого колеса
сканирующей измерительной головкой



Варианты стратегий измерения
зубчатого колеса
триггерной измерительной головкой



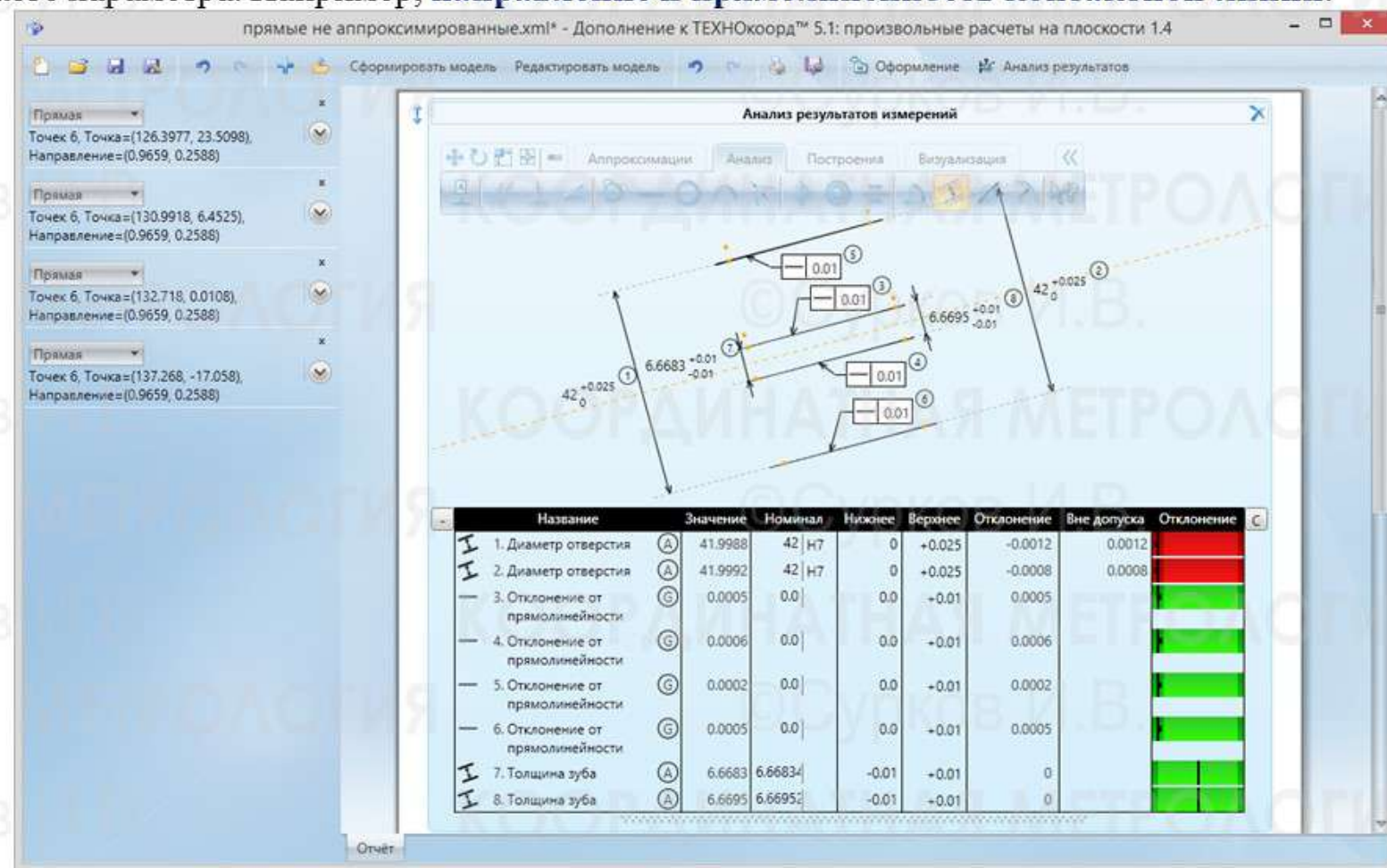
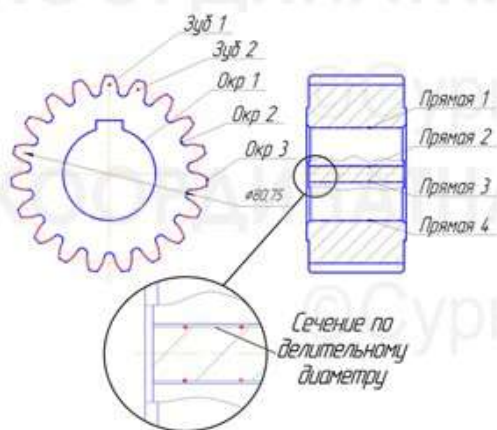
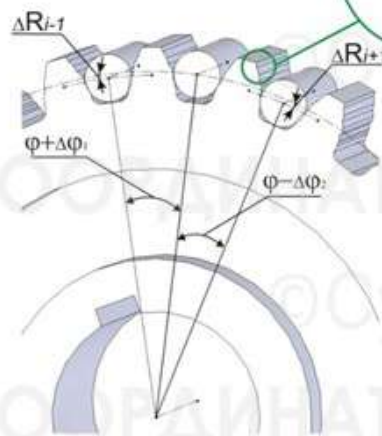
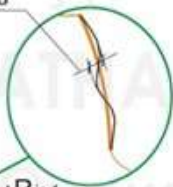






Для разработки **расчетной модели для определения параметров зубчатого колеса** рекомендуется использовать **Принцип (методику) «математического подобия»**. Математические модели описывают систему заменяющих и производных поверхностей имитирующих «традиционную» схему измерения того или иного геометрического параметра. Например, **направление и прямолинейность контактной линии**.

Погрешность
профиля





Учебное ПО «ТЕХНОкоорд-2D (расчеты на плоскости)»

Разработка методов анализа результатов координатных измерений деталей и инструментов со сложнопрофильными поверхностями.

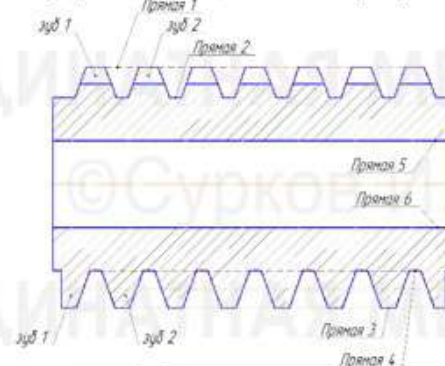
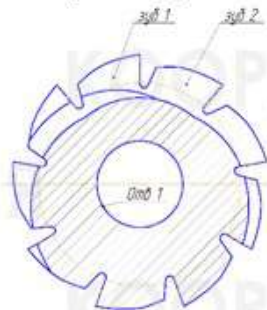
3К поперечное с углами - Дополнение к ТЕХНОкоорд™ 5.2: произвольные расчеты на плоскости 1.5



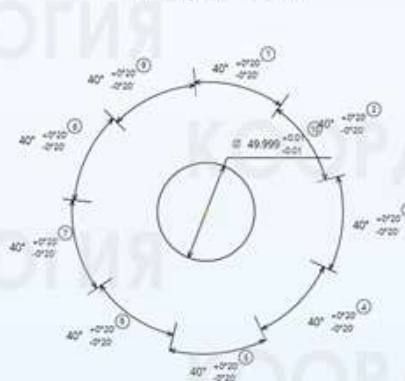
Анализ результатов измерений



Название	Значение	Номинал	Нижнее	Верхнее	Отклонение	Вне допуска	Отклонение
1. Угловой размер	18°56'47"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'3.5676"		
2. Угловой размер	18°56'34"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'16.7232"		
3. Угловой размер	18°57'12"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	0°0'21.132"		
4. Угловой размер	18°57'5"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	0°0'14.4792"		
5. Угловой размер	18°56'34"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'16.8048"		
6. Угловой размер	18°56'48"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'3.2256"		
7. Угловой размер	18°56'48"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'2.9688"		
8. Угловой размер	18°56'50"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'1.3752"		
9. Угловой размер	18°57'10"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	0°0'18.612"		
10. Угловой размер	18°56'27"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'24.1128"		
11. Угловой размер	18°56'16"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'14.5872"		
12. Угловой размер	18°57'2"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	0°0'10.8576"		
13. Угловой размер	18°56'55"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'3.8412"		
14. Угловой размер	18°56'53"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'1.9008"		
15. Угловой размер	18°56'48"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'3.4632"		
16. Угловой размер	18°57'23"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	0°0'32.2596"		
17. Угловой размер	18°56'21"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	-0°0'30.2796"		
18. Угловой размер	18°57'7"	18°56'5"	-0°20'	-0°20'	0°0'18.2432"		



Анализ результатов измерений



Название	Значение	Номинал	Нижнее	Верхнее	Отклонение	Вне допуска	Отклонение
1. Угловой размер	40°0'4"	40°	-0°20'	+0°20'	0°0'3.9564"		
2. Угловой размер	40°0'7"	40°	-0°20'	+0°20'	0°0'7.2972"		
3. Угловой размер	39°59'58"	40°	-0°20'	+0°20'	-0°0'5.7636"		
4. Угловой размер	39°59'56"	40°	-0°20'	+0°20'	-0°0'1.818"		
5. Угловой размер	38°18'16"	40°	-0°20'	+0°20'	-1°41'44.124"	1°21'44.124"	
6. Угловой размер	41°41'46"	40°	-0°20'	+0°20'	1°41'45.6576"	1°21'45.6576"	
7. Угловой размер	40°0'4"	40°	-0°20'	+0°20'	0°0'3.9564"		
8. Угловой размер	39°59'55"	40°	-0°20'	+0°20'	-0°0'4.5628"		
9. Угловой размер	39°59'55"	40°	-0°20'	+0°20'	-0°0'4.5628"		
10. Диаметральный размер	49.999	49.999	-0.01	+0.01	0		

Анализ результатов измерений

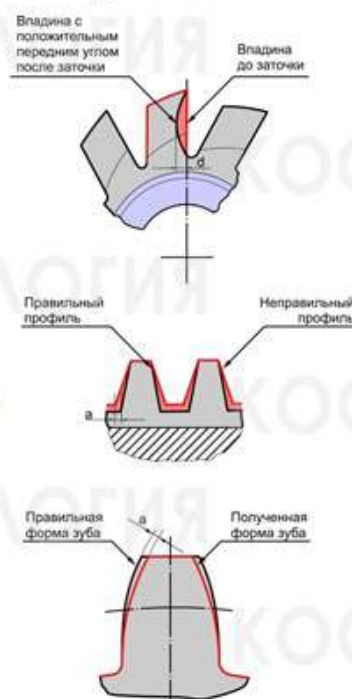


Название	Значение	Номинал	Нижнее	Верхнее	Отклонение	Вне допуска	Отклонение
1. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
2. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
3. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
4. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
5. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
6. Диаметральный размер	31.001	31.001	-0.01	+0.01	0		
7. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
8. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
9. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
10. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
11. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
12. Диаметральный размер	30.9	30.9	-0.01	+0.01	0		
13. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
14. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
15. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
16. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
17. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
18. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
19. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
20. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
21. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
22. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
23. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		
24. Диаметральный размер	30.999	30.999	-0.01	+0.01	0		

Коррекция настроек технологической системы зубофрезерных станков

Новые направления исследований: Результаты измерений на КИС (вне станка) геометрических параметров зубчатого колеса используются для адаптивного управления обработкой следующих заготовок за счет коррекции настроек технологической системы. За счет предискажений параметров установки на станок новой или перезаточенной червячной фрезы компенсируются ее погрешности (рассчитываются по результатам предварительных измерений).

Станки для
зубообработки



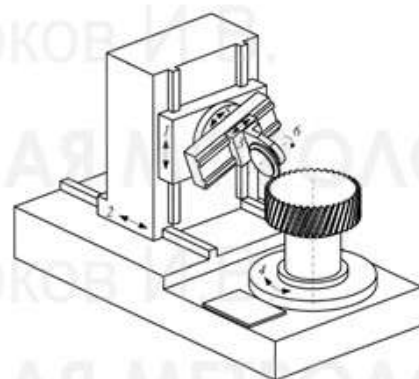
НИИК-483 (485)
ПО Технокоорд-4К



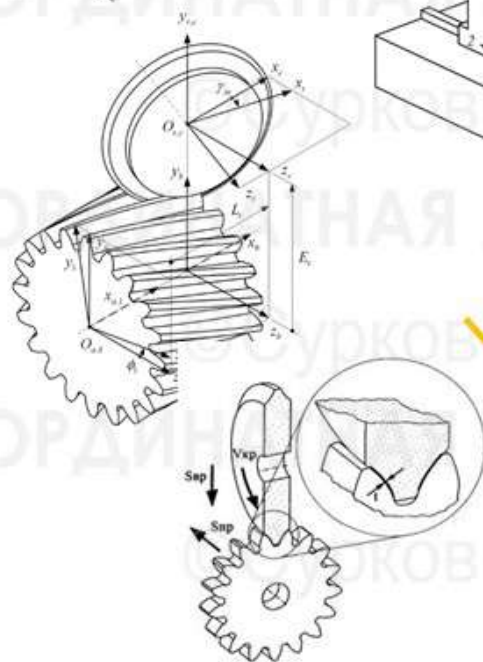
Коррекция настроек технологической системы зубошлифовальных станков

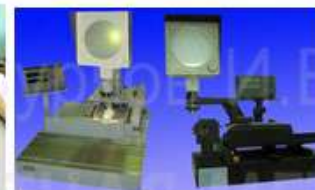
Результаты измерений на КИС (вне станка) геометрических параметров **первого** обработанного зубчатого колеса используются для коррекции профиля шлифовального круга в процессе правки. Эффект достигается при обработке **следующих ЗК**.

Станки для
зубообработки

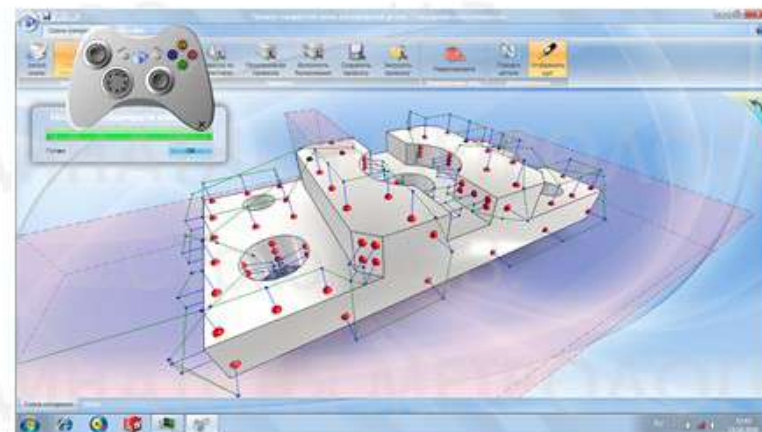
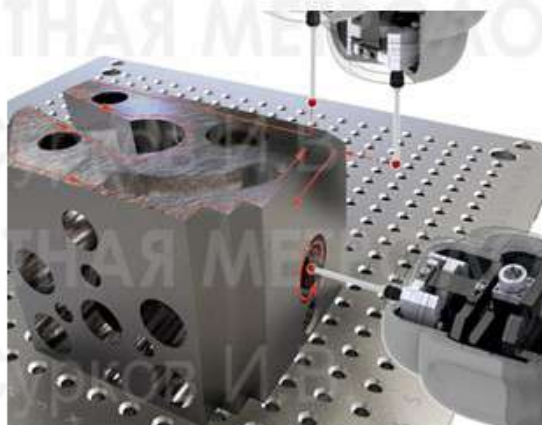


НИИК-483 (485)
ПО Технокоорд-4К

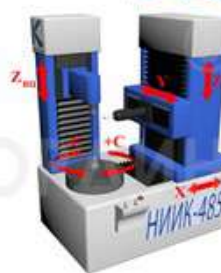




Одним из важнейших элементов обеспечения качества продукции предприятий машиностроения и приборостроения является эффективная работа служб и подразделений, выполняющих технический контроль на всех этапах производства. Учитывая большой объем необходимых высокоточных измерений и сокращение кадров квалифицированных метрологов и контролеров важной задачей является **повышение качества подготовки дипломированных специалистов по машиностроительным специальностям** в высших, средних и начальных профессиональных учебных заведениях, на курсах повышения квалификации, в центрах профессиональной переподготовки.



© Сурков И.В.





Южно-Уральский
государственный
университет
Национальный
исследовательский
университет

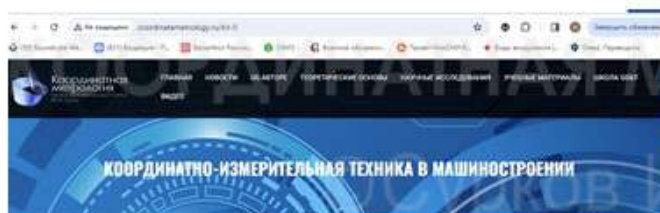
Для метрологического обеспечения металлообрабатывающего производства есть потребность в специалистах, имеющих расширенный набор профессиональных компетенций: базовый в области технологии машиностроения (получаемый, например, при обучении в бакалавриате) и дополнительный в области метрологического обеспечения (обучение в магистратуре по новому направлению **«Метрологическое обеспечение машиностроительных производств»**). Нет необходимости в подготовке простых исполнителей («кнопочнонажимателей»), требуются разработчики нового метрологического оборудования и программно-методического обеспечения для измерения и контроля геометрических параметров деталей, управления точностью в процессе обработки, диагностики состояния элементов технологической системы, испытаний технологического и метрологического оборудования. Вряд ли таких специалистов нужно выпускать массово, но потребность в них есть.

На кафедре технологии автоматизированного машиностроения Южно-Уральского государственного университета (ТАМ ЮУрГУ) в программу обучения по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» введены специальные дисциплины, обеспечивающие получение компетенций в области метрологического обеспечения процессов измерения и контроля геометрических параметров типовых деталей в современном автоматизированном металлообрабатывающем производстве. В бакалавриате (спец. 15.03.05) студенты изучают две дисциплины по выбору: «Цифровой контроль изделий машиностроения» или «Координатно-измерительная техника в машиностроении». В магистратуре (спец. 15.04.05) студентам преподают дисциплину «Информационно-измерительные и управляющие системы в машиностроении».



Южно-Уральский
государственный
университет
Национальный
исследовательский
университет

Для удобства системного изучения материала автором был создан Научно-образовательный портал «Координатная метрология». В разделе «Учебные материалы» для каждой учебной дисциплины создана страница с оглавлением, в котором рядом с названием перечисленных в необходимой последовательности основных изучаемых тем (разделов) приведена одна или несколько гиперссылок на текстовые файлы, расположенные в "облачном хранилище" автора. В большинстве тем так же есть ссылки на видео презентации соответствующих лекционных, практических и лабораторных занятий, проведенных в дистанционном режиме (начиная с весны 2020 года) для студентов ЮУрГУ. Эти и другие полезные видеофайлы расположены на авторских каналах «Координатная метрология» (Rutube) и «ЧелябНИИконтроль» (Rutube, Youtube).



Учебная дисциплина для студентов-бакалавров и магистрантов, обучающихся по направлениям «Инженерно-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и «Управление качеством». Предоставленные материалы являются для студентов, проходящих практику в АО «АДСН» (интегрированный вариант «теоретическая и практическая части»).

Координатно-измерительная техника в машиностроении (КИТ в МС)

Информационно-измерительные и управляющие системы в машиностроении (ИИУС в МС)

Цифровой контроль изделий машиностроения

Информационно-измерительные и управляющие системы в машиностроении





Разработка учебных лабораторных комплексов и программно-методического обеспечения





Подробная и постоянно обновляемая информация
на САЙТЕ по адресам:

www.toolmaker.ru, челябнииконтроль.рф

www.technocoord.ru

Научно-образовательный портал Координатная метрология:
www.coordinatemetrology.ru, координатнаяметрология.рф

Youtube-канал: Челябинский контроль

Rutube-каналы: Координатная метрология, Челябинский контроль