Вебинар

«Метрологическое обеспечение процессов контроля геометрических параметров зубчатых колес и передач»

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

ЧЕЛЯБНИИКОНТРОЛЬ.РФ

Mahr
EXACTLY

«Метрологическое обеспечение процессов контроля геометрических параметров зубчатых колес и передач»

Часть 1. Традиционные средства и методы измерения геометрических параметров зубчатых колес и передач. Повышение степени автоматизации процессов контроля.

1.1. Теоретические основы измерения параметров зубчатых колес.

1.2. Базовые стандарты для нормирования точности геометрических параметров зубчатых колес и передач. Сравнительный анализ российских и международных стандартов.

1.3. Обзор традиционных средств и методов измерения геометрических параметров зубчатых колес.

1.4. Основные направления автоматизации процессов контроля. Учет положений концепции «Индустрия 4.0», «цифровизация измерений» для единого информационного пространства машиностроительного производства.

Часть 2. Координатные измерения геометрических параметров зубчатых колес.

2.1. Основные положения координатной метрологии.

2.2. Типовые методики координатных измерений геометрических параметров зубчатых колес (ГП ЗК).

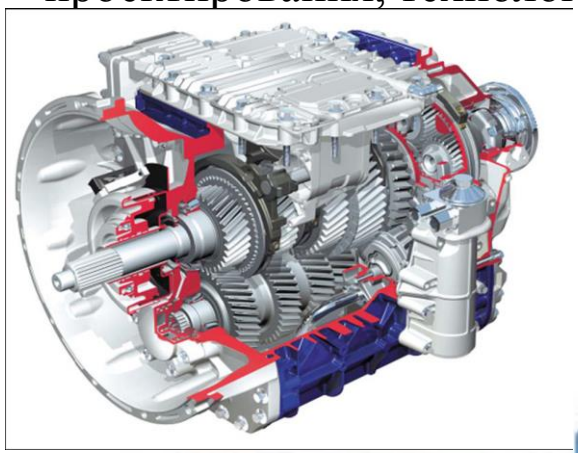
2.3. Оборудование для координатных измерений ГП ЗК и зуборезного инструмента (ЗИ).

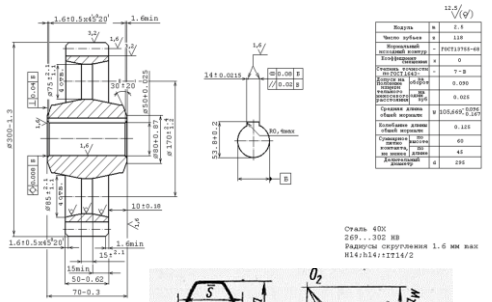
2.4. Специальное программное обеспечение для координатных измерений ГП ЗК и ЗИ.

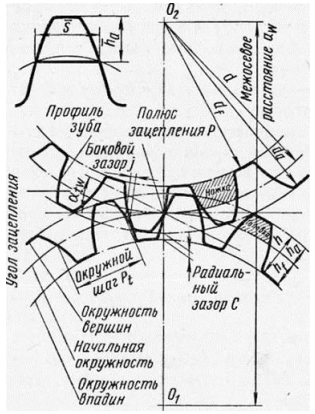
2.5. Обеспечение точности измерений ГП ЗК.

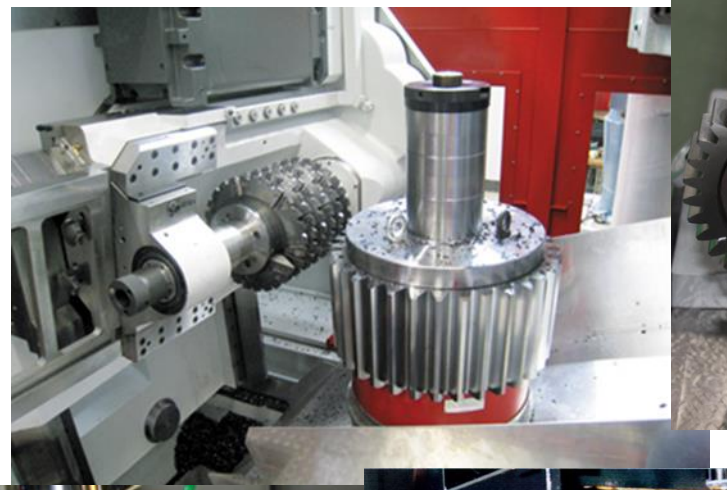
Часть 1. Традиционные средства и методы измерения геометрических параметров зубчатых колес и передач. Повышение степени автоматизации процессов контроля.

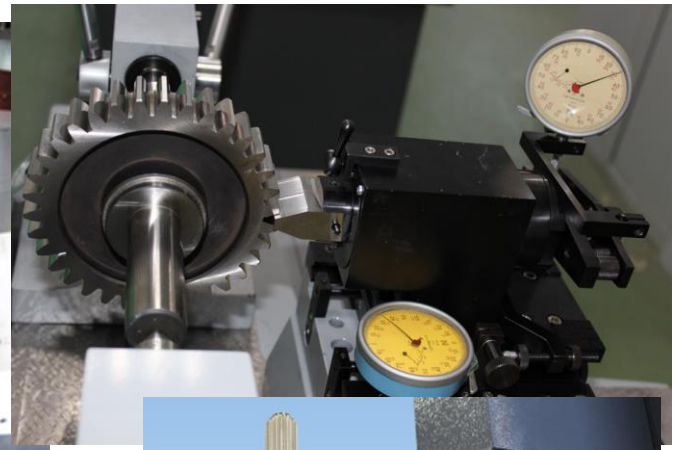
В большинстве современных изделий, выпускаемых предприятиями машиностроения и приборостроения, используются зубчатые передачи, которые в **конструктивном, технологическом и метрологическом отношении** являются одними из наиболее сложных элементов машин и механизмов. Рост требований к качеству зубчатых колес приводит к непрерывному совершенствованию и усложнению методов их проектирования, технологий изготовления, **средств и методов контроля**.

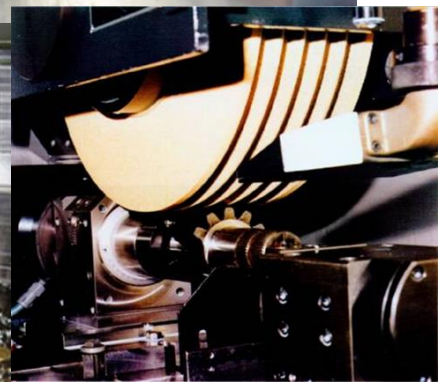












© Сурков И.В.

Общие принципы технического проектирования в машиностроении

Опыт обучения (переподготовка, повышение квалификации) сотрудников метрологических подразделений (в том числе в зубообработке) показал, что наилучшее усвоение материала по темам связанным с **«метрологическим обеспечением процессов измерения и контроля геометрических параметров типовых деталей»** было у имеющих **базовую подготовку по машиностроительной специальности («инженер-механик»).**

[По материалам публикаций проф., д.т.н. Глухова В.И., Омский государственный технический университет]

Принцип инверсии, согласно которому каждая деталь конструкции превращается из объекта проектирования при разработке конструкторского проекта, в объект изготовления при разработке технологических процессов и производстве продукции, затем в объект измерения при контроле качества и, наконец, в деталь изделия при эксплуатации. Для сохранения преемственности между этими превращениями, условия работы каждой детали в проекте, условия изготовления и условия измерения должны соответствовать условиям эксплуатации.

Следствием принципа инверсии (с учетом требований принципа приоритета прав потребителя) является то, что три взаимно дополняющих друг друга специалиста: **конструктор, технолог и метролог** – должны помимо собственных инженерных компетенций дополнительно обладать базовыми инженерными знаниями своих коллег. В частности, **специалист-метролог** должен четко понимать требования **служебного назначения,** реализованные в конструкции детали и заданных размерно-точностных параметрах, разбираться в особенностях и возможностях технологического процесса изготовления и осознавать влияние примененных методов обработки на образование **доминирующих погрешностей**. Это позволит ему спроектировать новую или правильно подобрать типовую **методику (выполнения) измерений** заданных геометрических параметров, а также обеспечит разработку эффективных **процессов или операций технического контроля.**

© Сурков И.В.

Общие принципы технического проектирования в машиностроении

[По материалам публикаций проф., д.т.н. Глухова В.И., Омский государственный технический университет]

Принцип системности, согласно которому каждая деталь представляет собой систему (множество) геометрических элементов, внутренние взаимосвязи которых обуславливают целостные свойства детали как единого целого. В свою очередь множество деталей образует более сложную систему сборочной единицы или изделия, взаимоотношения между деталями которой являются внешними связями каждой детали с окружающей средой.

В публикациях и учебно-методических материалах автора используется адаптированная для процессов технических измерений и контроля формулировка:

При разработке операций и технологий технического контроля любую деталь необходимо рассматривать как определённый **геометрический комплекс (систему) взаимосвязанных геометрических элементов (поверхностей)**, расположенных в **единой конструкторской системе координат в соответствии со своим служебным назначением**. Геометрические размеры каждого элемента, его отклонения формы и расположения могут быть определены с помощью стандартных или специальных методик измерения и операций контроля. Формируемая при этом **общая технология контроля представляет собой комплексное сочетание операций, переходов и приемов, выполняемых на одном или нескольких рабочих местах** (в цеховых контрольно-измерительных пунктах или в метрологических лабораториях) с использованием разнообразных средств измерительной техники, контрольного и испытательного оборудования.

Аналогично, в **координатной метрологии** общая методика координатных измерений (МКИ) – это система взаимосвязанных МКИ заданных геометрических элементов (поверхностей), расположенных в единой конструкторской системе координат в соответствии со своим **служебным назначением**.

© Сурков И.В.

1.1. Теоретические основы измерения параметров зубчатых колес

В большинстве современных изделий, выпускаемых предприятиями машиностроения и приборостроения, используются зубчатые передачи, которые в **конструктивном**, **технологическом** и **метрологическом** отношении являются одними из наиболее сложных элементов машин и механизмов. Рост требований к **качеству зубчатых колес** приводит к непрерывному совершенствованию и усложнению методов их **проектирования, технологий изготовления, средств и методов контроля**.

Специалист-метролог должен четко понимать требования **служебного назначения контролируемого зубчатого колеса**, реализованные в конструкции детали и в заданных размерно-точностных параметрах, разбираться в особенностях и возможностях технологического процесса изготовления и осознавать влияние примененных методов обработки на образование **доминирующих погрешностей**. Это позволит ему спроектировать новую или правильно подобрать типовую **методику (выполнения) измерений** заданных геометрических параметров, а также обеспечит разработку эффективных **процессов или операций технического контроля**.

Сотрудник метрологического подразделения в зубообрабатывающем производстве имеющий **базовую инженерную подготовку по машиностроительной специальности** должен был (**в идеале**) получить в процессе обучения необходимый **комплекс взаимосвязанных компетенций**.

В этой презентации раздел «1.1. Теоретические основы измерения параметров зубчатых колес» является кратким изложением системы необходимых компетенций в области **конструкторского проектирования** («Детали машин», «Теория машин и механизмов», «Нормирование точности» («ВСТИ», «Метрология, стандартизация, технические измерения»)), **технологий изготовления** («Основы технологии машиностроения», «Технология автоматизированного машиностроения», «Металлорежущие станки (в т.ч. для обработки зубчатых колес)», «Проектирование режущего инструмента (в т.ч. зуборезного)»), **метрологического обеспечения производства зубчатых колес** («Нормирование точности» («ВСТИ», «Метрология, стандартизация, технические измерения»), «Автоматизация производственных процессов в машиностроении»).

© Сурков И.В.

Особенности процессов конструкторского проектирования зубчатых колес и передач

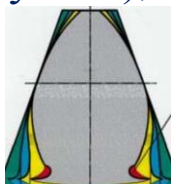
[Д.Т. Бабичев, А.Э. Волков. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ. Вестник научно-технического развития, №5 - 2015]

Фундаментальные исследования в области проектирования зубчатых передач:

В настоящее время завершается формирование основ компьютерно-ориентированной **теории зацеплений**. Главное предназначение такой теории – стать основой для методов компьютерного анализа, синтеза, проектирования и изготовления зубчатых деталей для передач зацеплением. Развитие теории зубчатых зацеплений отличается высоким уровнем теоретических исследований, основанных на введении новых геометрических, геометро-кинематических и иных понятий, и разработке на их основе новых математических моделей, методик и алгоритмов анализа и синтеза рабочих и технологических зацеплений.

Для решения задач анализа и синтеза передач используются:

- математические методы классической теории зацеплений (при компьютерном проектировании геометрии передач любого вида): теория огибающих, теория приближенных зацеплений, дифференциальные и недифференциальные методы анализа геометрии зацеплений, методики нахождения огибающей и обволакивающей семейства поверхностей;
- недифференциальные методы анализа процессов формообразования с использованием, как универсальных пакетов прикладных программ, так и специально создаваемых;
- методы граничных и конечных элементов (при анализе контактного взаимодействия рабочих поверхностей зубьев);
- методы конечных элементов и интегральных уравнений (при анализе напряженно-деформированного состояния зубьев);



- численные методы оптимизации (при синтезе геометрии рабочих и переходных поверхностей зубьев);
- расширенный перечень качественных показателей работы зацеплений, в том числе, новых: расчетной толщины масляной плёнки; критериев горячего и холодного заедания; критериев, оценивающих условия для образования масляного клина; показателей виброактивности зацепления и других.

© Сурков И.В.

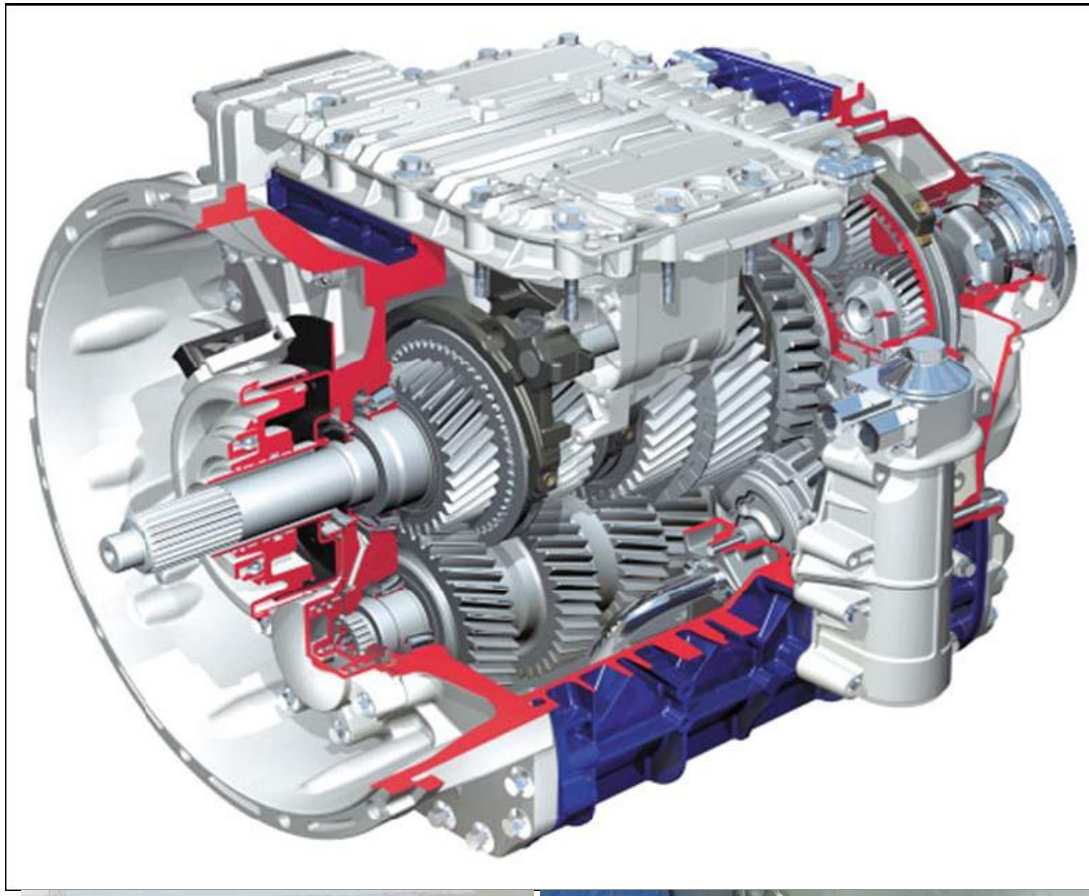
Инженерные задачи в процессах проектирования зубчатых колес и передач

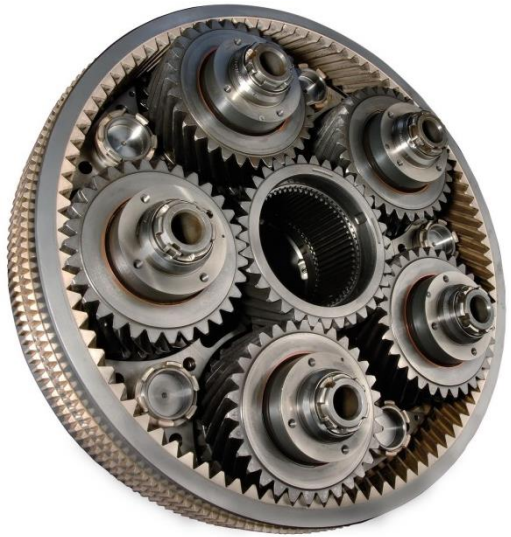
Конструкторское проектирование зубчатых передач включает в себя согласованные решения группы взаимосвязанных инженерных задач:

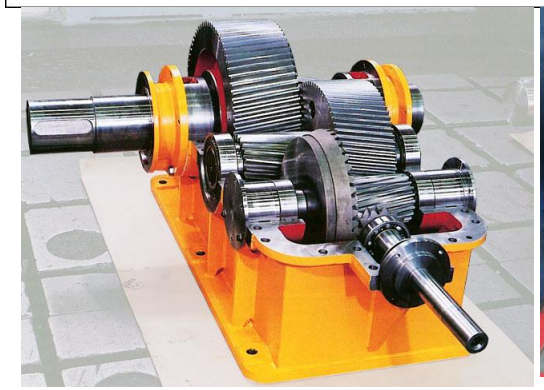
- выбор схемы конструкции передачи (**классификация типов зубчатых колес и компоновок зубчатых передач, область применения (служебное назначение)**);
- синтез допустимой геометрии (**теоретические расчеты и практические методики для получения эвольвентного профиля боковой поверхности зуба**);
- оптимизация геометрии;
- **конструктивная компоновка (классификация элементов деталей по служебному назначению)** и оценка её эксплуатационных и **качественных** показателей;
- **выбор комплекса показателей точности, нормирование точности зубчатых колес и передач**;
- анализ прочностных показателей, **размерно-точностной анализ**, выявление и устранение слабых мест;
- **оформление конструкторской документации;**
- на всех этапах необходимо умение грамотного использования в документации **стандартной терминологии**.

© Сурков И.В.

Классификация типов зубчатых колес и компоновок зубчатых передач, область применения (служебное назначение). Примеры зубчатых передач.



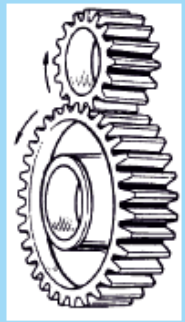




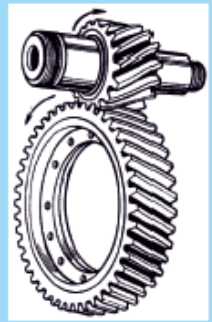
© Сурков И.В.

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ
С ПОСТОЯННЫМ ПЕРЕДАТОЧНЫМ ЧИСЛОМ

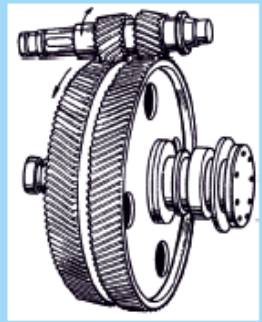
ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ОСЯМИ ВАЛОВ



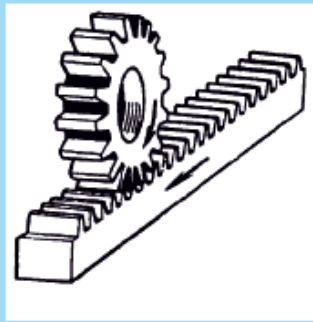
ПРЯМОЗУБЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОЛЕСА



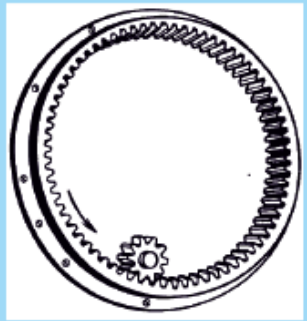
КОСОЗУБЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОЛЕСА



ШЕВРОННЫЕ ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА



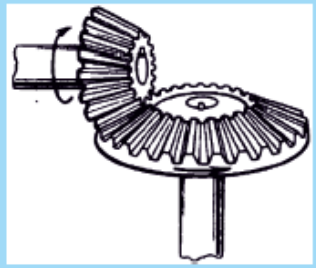
РЕЕЧНАЯ ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА



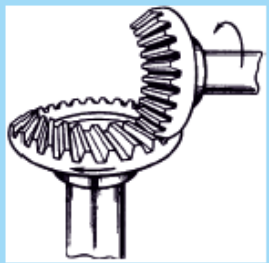
ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОЛЕСА С ЗАЦЕПЛЕНИЕМ НОВИКОВА

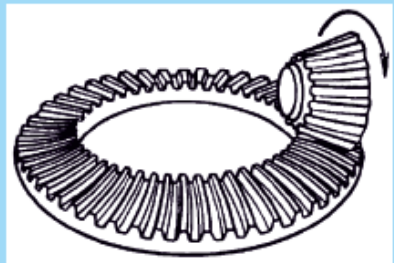
ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА С ПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ВАЛОВ



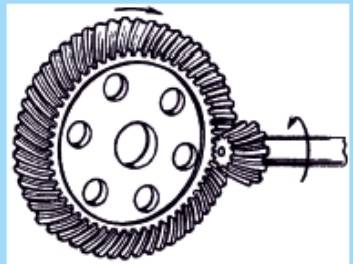
ПРЯМОЗУБЫЕ КОНИЧЕСКИЕ КОЛЕСА



КОНИЧЕСКИЕ КОЛЕСА С КОСЫМИ ЗУБЬЯМИ

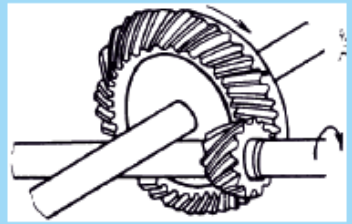


КОНИЧЕСКИЕ КОЛЕСА С НУЛЕВЫМ УГЛОМ НАКЛОНА ЗУБЬЕВ



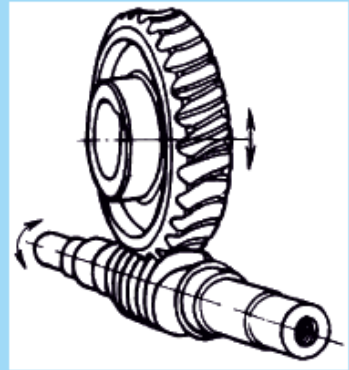
КОНИЧЕСКИЕ КОЛЕСА С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ ЗУБЬЯМИ

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ВАЛОВ



ГИПОИДНЫЕ КОЛЕСА

ВИНТОВЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОЛЕСА



ЧЕРВЯЧНАЯ ПЕРЕДАЧА

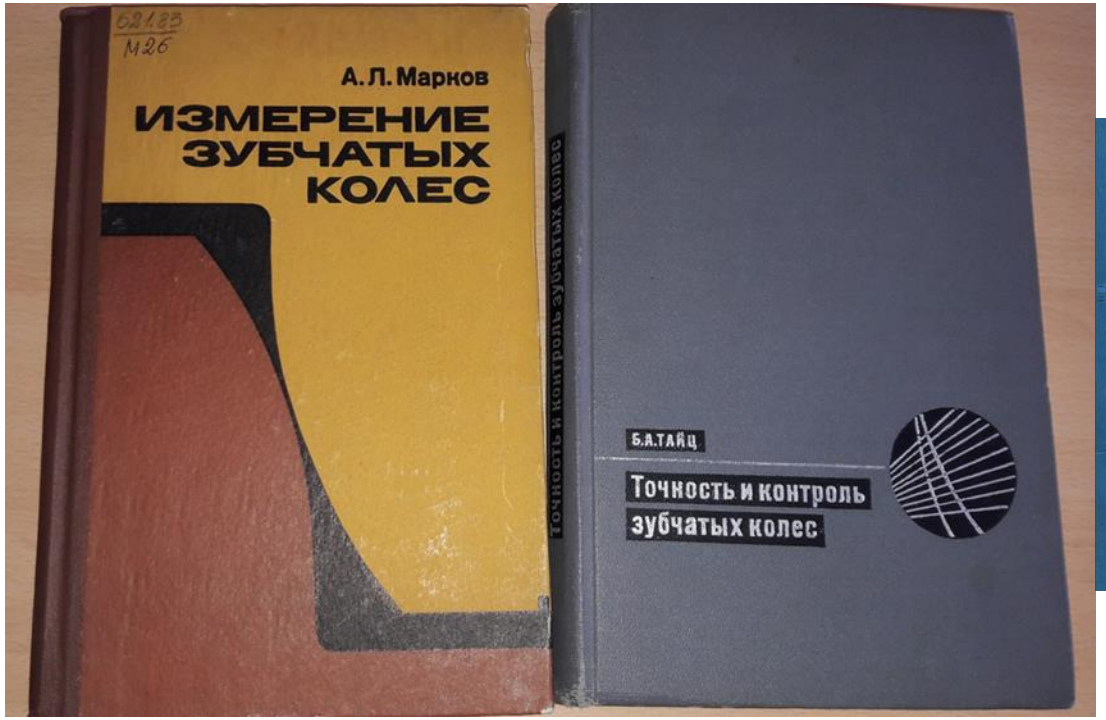
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра "Технология машиностроения"

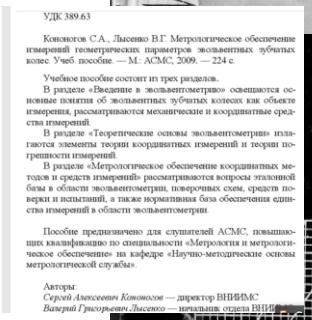
© Сурков И.В.

Классификация типов зубчатых колес и компоновок зубчатых передач, область применения (служебное назначение).

Использование зубчатых колес по видам передач в технической литературе примерно оценивается так [Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей: Произв.-практ. издание/ Ю.С.Елисеев, В.В.Крымов, И.П.Нежурин и др.; Под ред. Ю.С.Елисеева. – М.: Высш. шк., 2001. – 493 с.]:

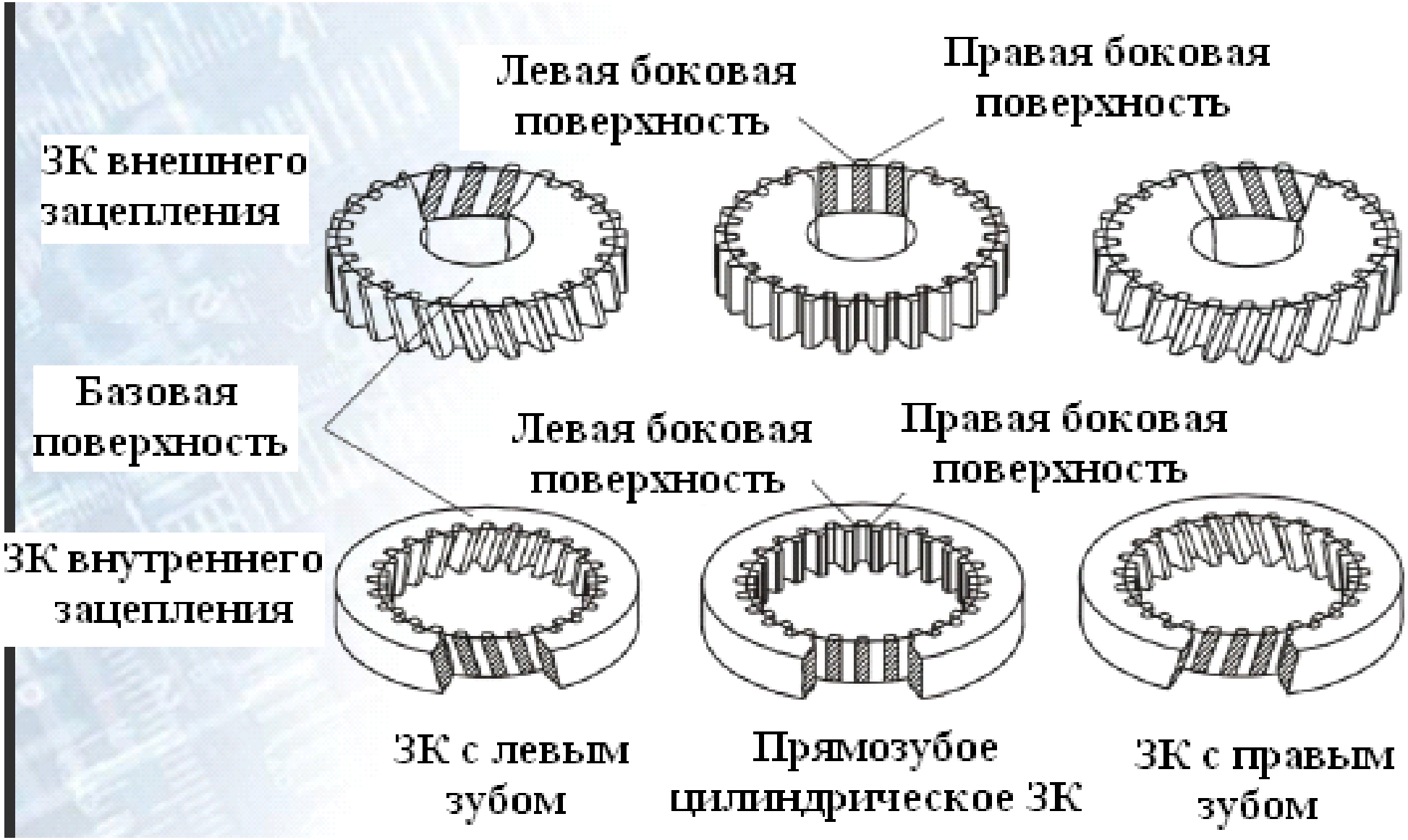
- **цилиндрические зубчатые колеса с внешними зубьями** составляют **85-90%** от общего количества, из них около **97%** - прямозубые;
- цилиндрические колеса с внутренними зубьями, в основном прямозубые, составляют 3-4%;
- конические прямозубые – 6-7%;
- конические с круговыми зубьями – около 1%.





© Сурков И.В.

Типы эвольвентных зубчатых колес (ЗК)

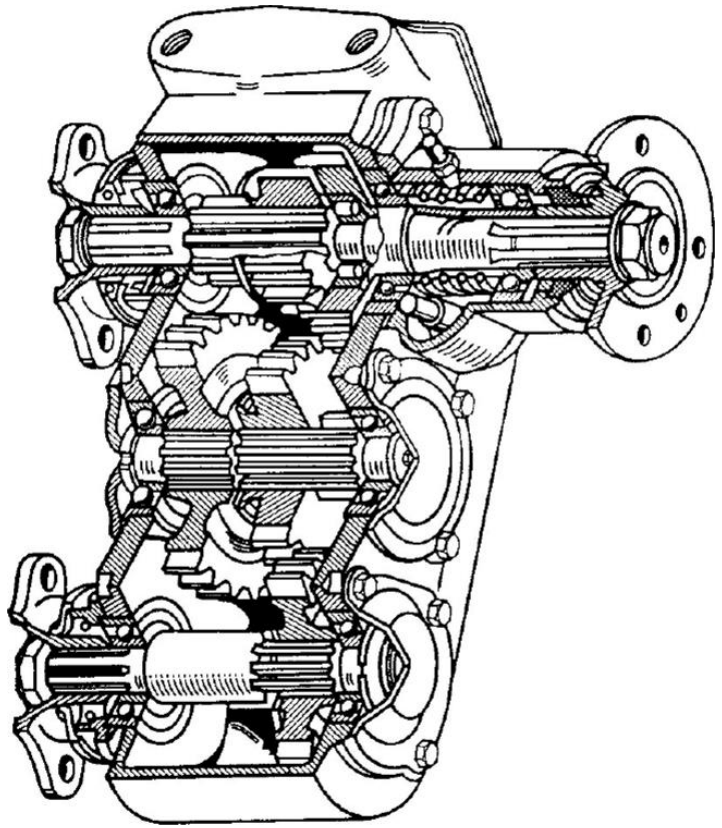


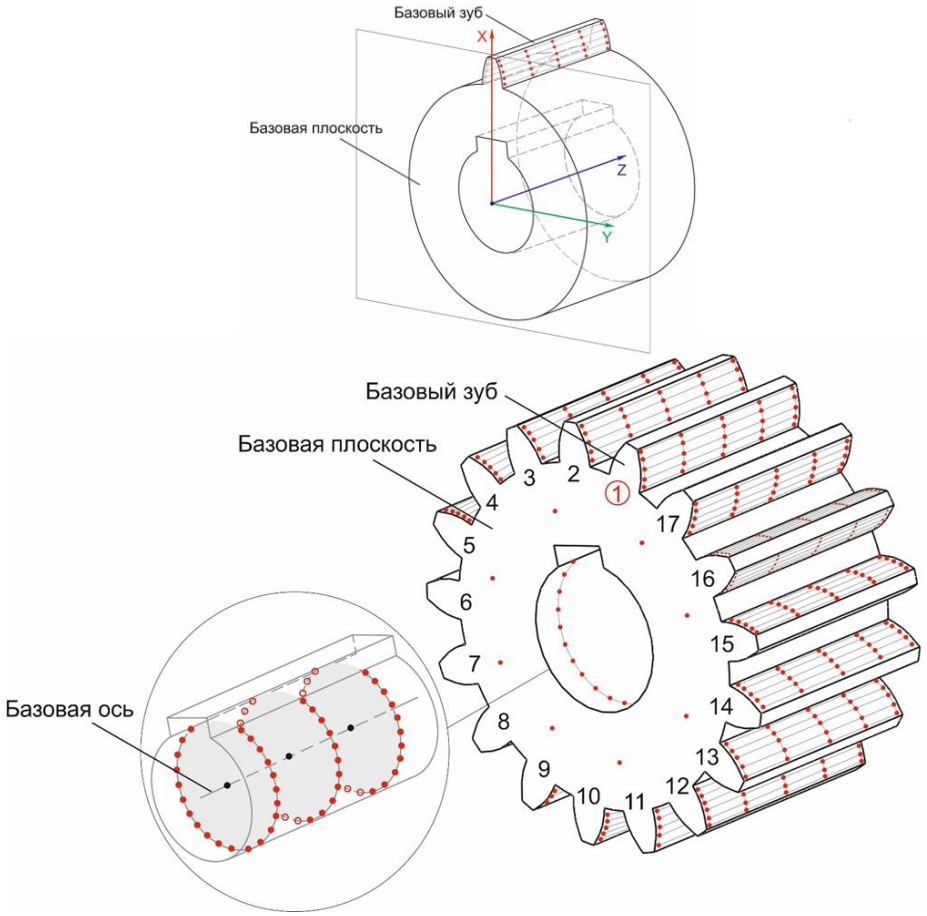
© Сурков И.В.

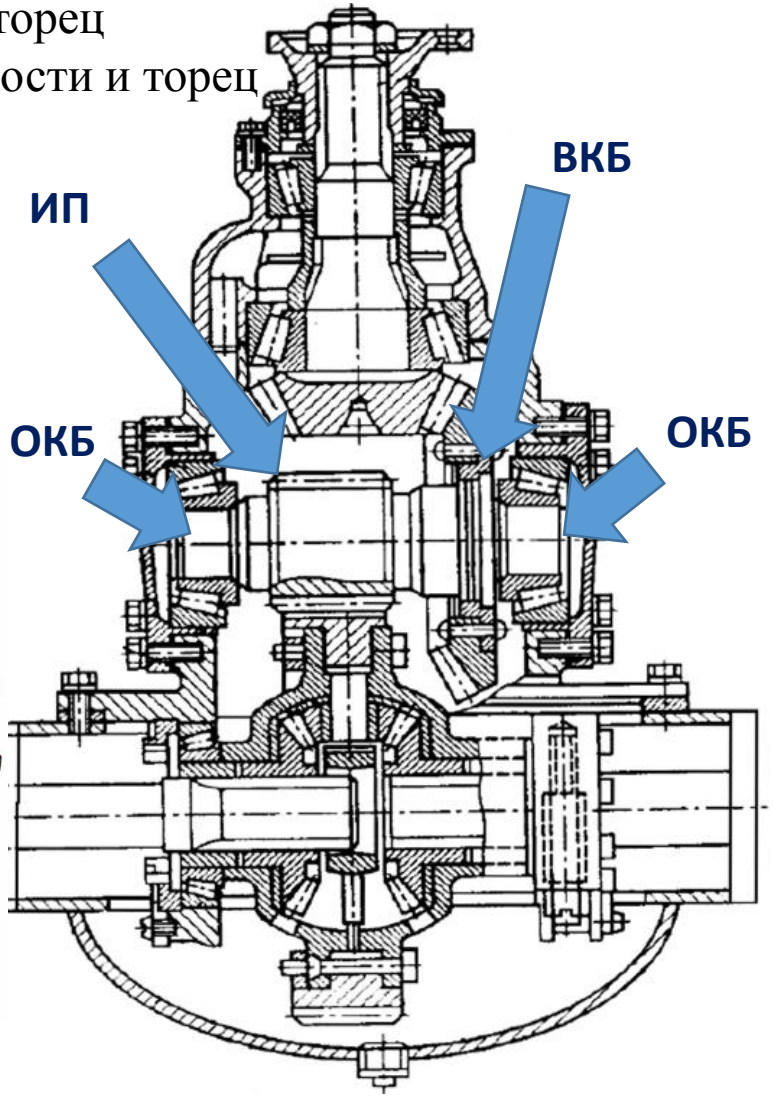
Конструктивная компоновка зубчатых колес. Классификация геометрических элементов зубчатых колес по служебному назначению

Классификация элементов деталей по служебному назначению (Б.М.Базров, В.И.Глухов):

- Исполнительные (рабочие) поверхности (ИП) – боковые поверхности зубьев
- Основные конструкторские базы (ОКБ) – ось цилиндрической поверхности и торец
- Вспомогательные конструкторские базы (ВКБ) – ось цилиндрической поверхности и торец
- Свободные поверхности (СП)

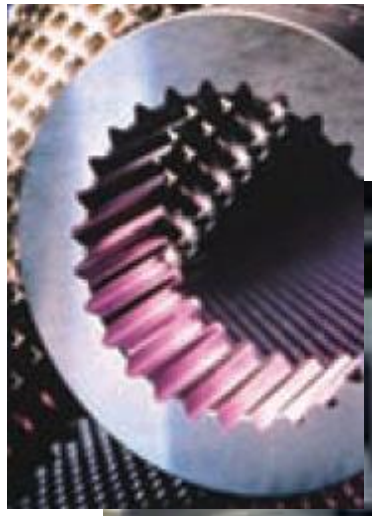






© Сурков И.В.

Конструктивная компоновка зубчатых колес. Примеры

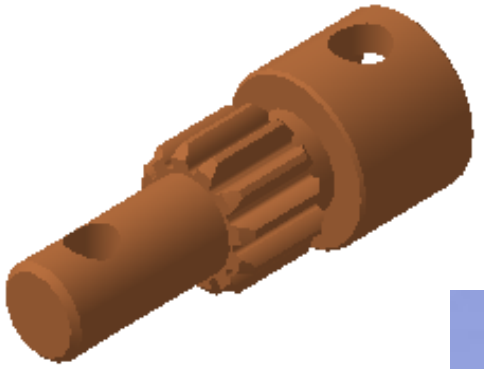


© Сурков И.В.

Конструктивная компоновка зубчатых колес. Примеры

Цилиндрические прямо- и косозубые с внешними зубьями

вал-шестерня



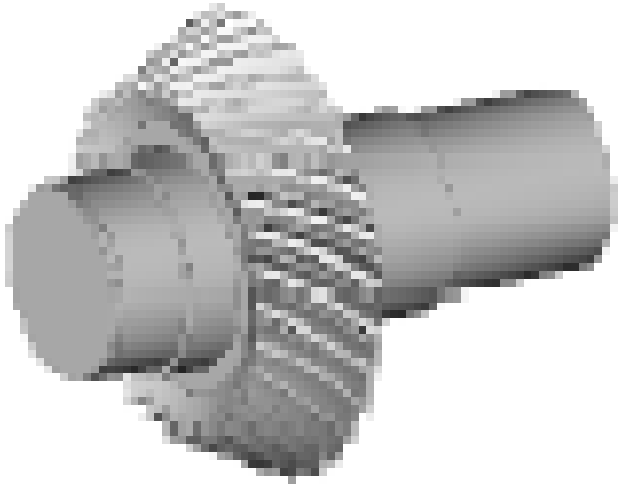
со ступицей

без ступицы

© Сурков И.В.

Конструктивная компоновка зубчатых колес. Примеры

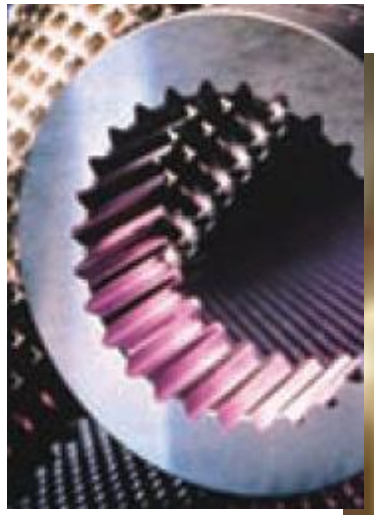
Конические с внешними зубьями



© Сурков И.В.

Конструктивная компоновка зубчатых колес. Примеры

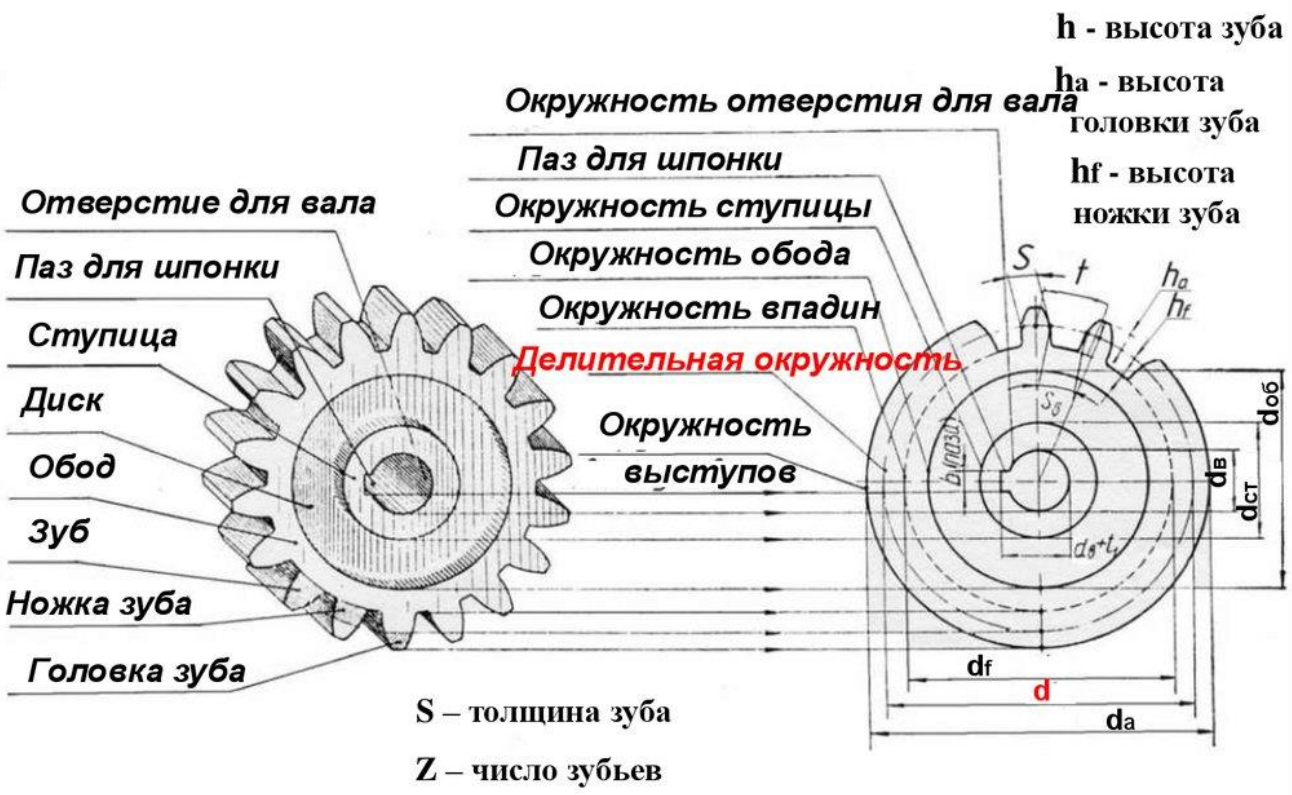
Цилиндрические с внутренними зубьями



© Сурков И.В.

Зубчатые колеса и передачи. Термины и определения конструкторских параметров

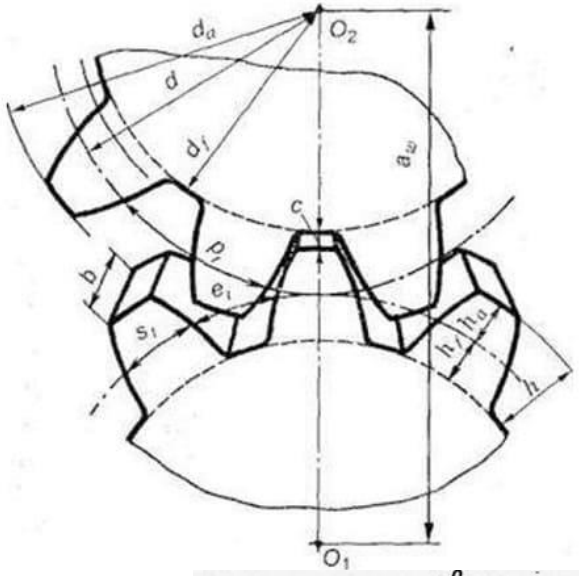
2.3 Условное изображение элементов зубчатого колеса

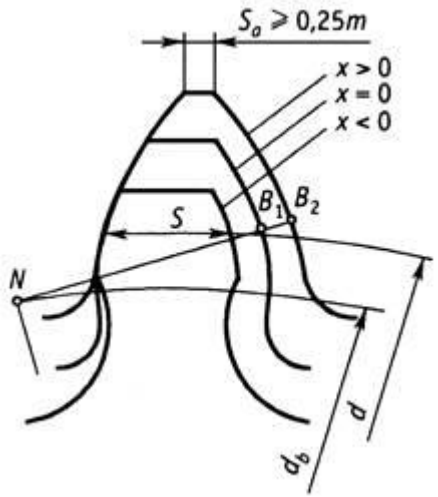


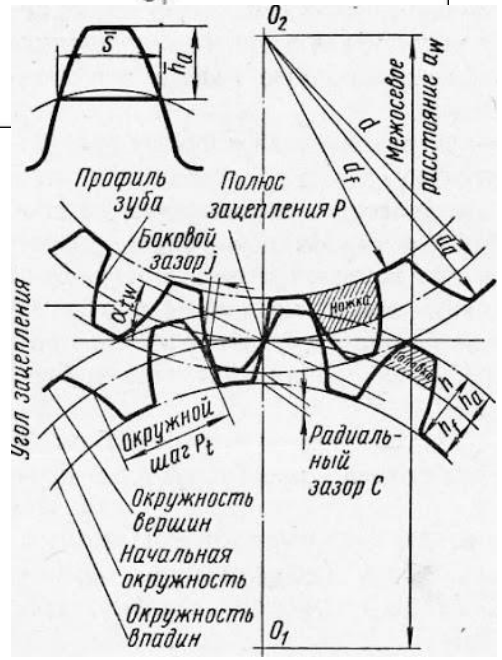
m – нормальный модуль зубьев (основной параметр зубчатого колеса)

Параметры зубчатого зацепления цилиндрических зубчатых колес.

d_a — диаметр вершин зубьев;
d_r — диаметр впадин зубьев;
d_a — начальный диаметр;
d — делительный диаметр;
p_t — окружной шаг;
h — высота зуба;
h_a — высота ножки зуба;
c — радиальный зазор;
b — ширина венца (длина зуба);
e_t — окружная ширина впадины зуба;
s_t — окружная толщина зуба;
— межосевое расстояние;
a — делительное межосевое расстояние;
Z — число зубьев.



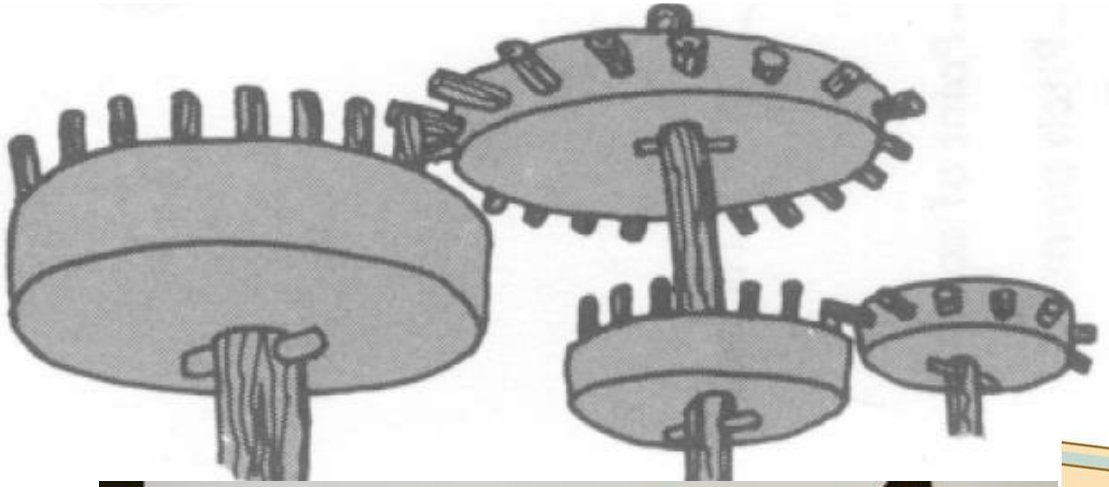


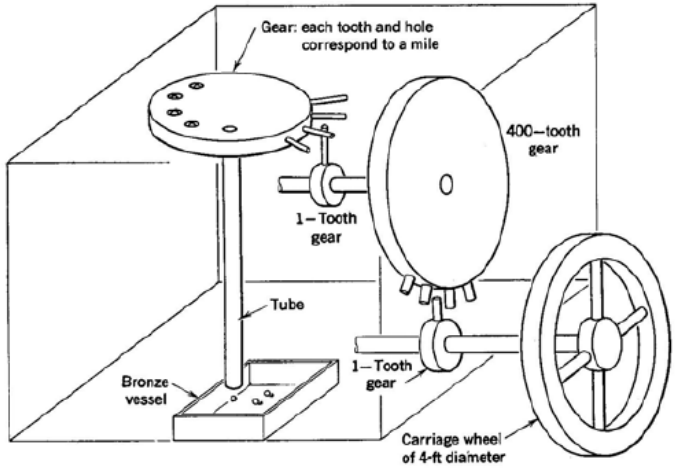


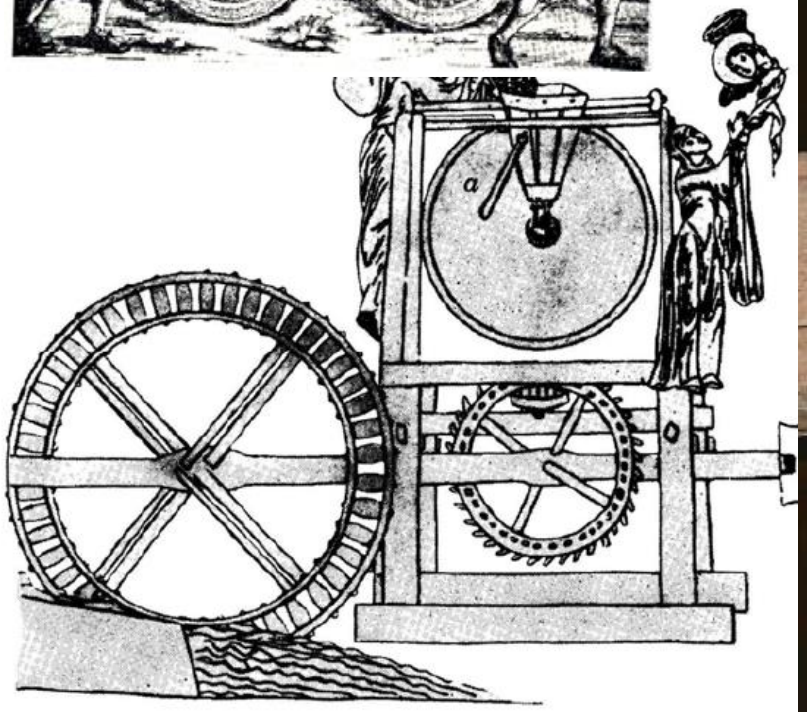
ГОСТ 16530-83 Передачи зубчатые. Общие термины, определения и обозначения.
ГОСТ 16531-83 Передачи зубчатые цилиндрические. Термины, определения и обозначения
Справочники конструктора-машиностроителя, учебные пособия «Детали машин», «ТММ»

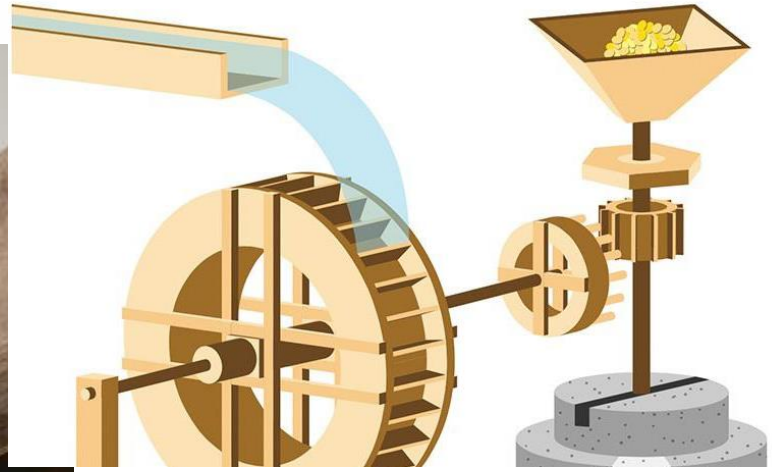
© Сурков И.В.

История развития зубчатых колес и передач.



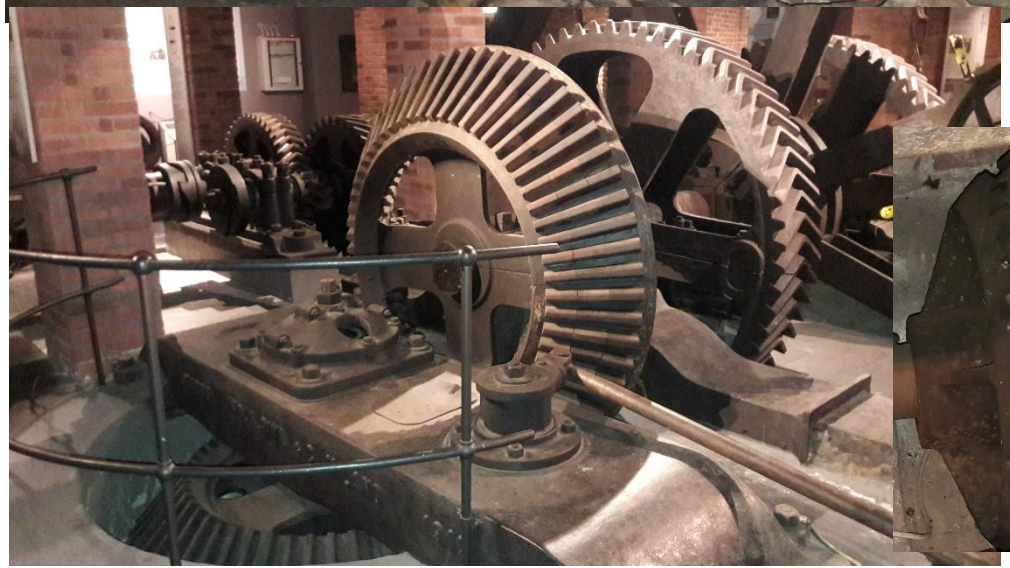






© Сурков И.В.

Примеры традиционных зубчатых колес и передач. Музей техники и технологии им.Леонардо да Винчи (Милан, Италия)



© Сурков И.В.

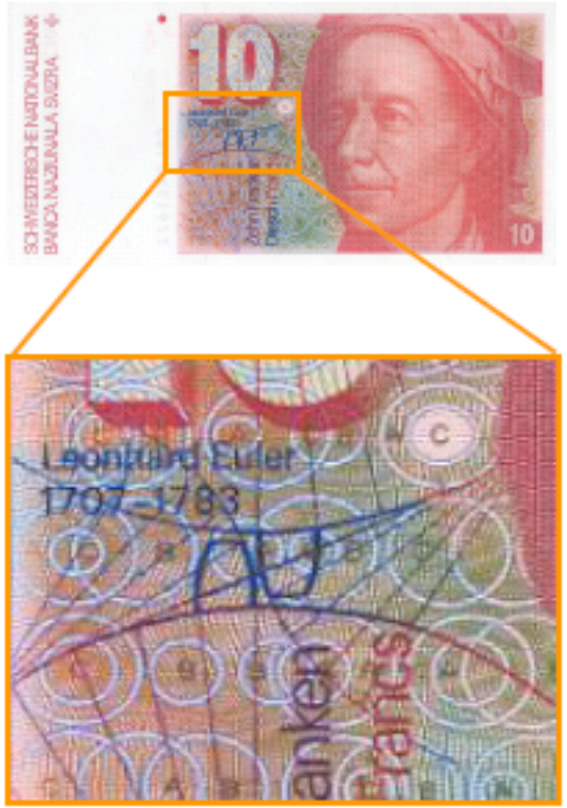
Основные законы и связи между базовыми понятиями теории зацеплений были выявлены математиками и механиками еще в XVIII-XIX веках (Л. Эйлер, Л. Камус, Ф. Савари, Э. Бобилье, Р. Виллис, Т. Оливье, Х.И. Гохман). Член Российский Академии Наук Леонард Эйлер (1707-1783) выявил уникальные свойства эвольвент круга и предложил использовать их в передачах. В настоящее время более 80% всех передач в мире являются эвольвентными.

Основной закон зубчатых передач

PTB

- Основной закон зубчатых передач Леонард Эйлер, 18-й век
- Форма зубьев, получаемая при практическом применении -> эвольвента

У пары ЗК погрешности будут отсутствовать в том случае, если ведущее ЗК с постоянной угловой скоростью приводит в движение ведомое ЗК также с постоянной угловой скоростью.

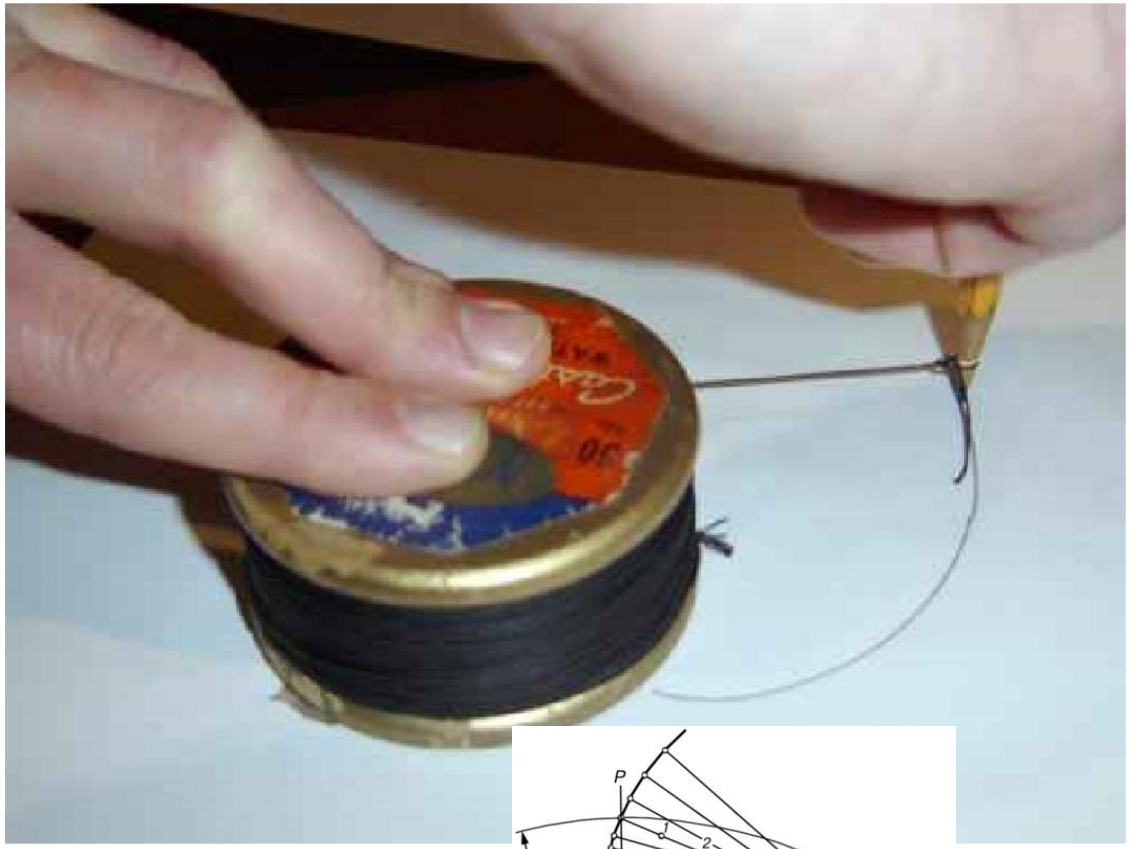


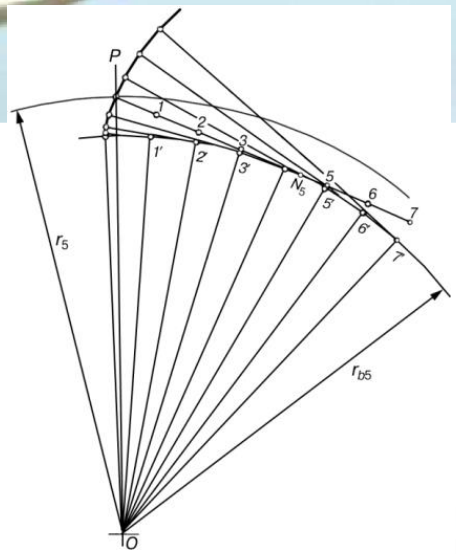
Ранее используемая в Швейцарии банкнота номиналом в 10 франков

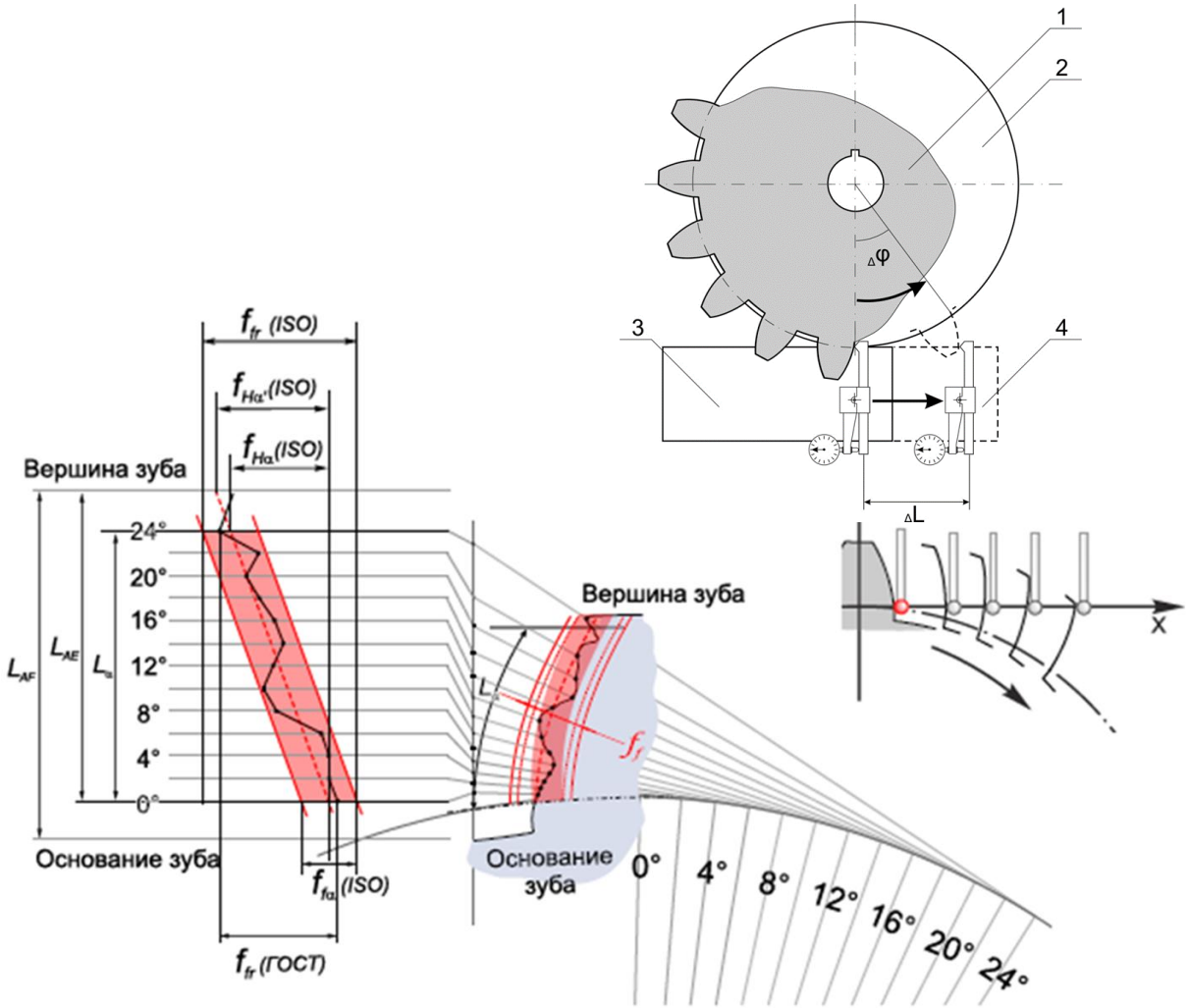
CENAM NACMA-3 - 3 -

© Сурков И.В.

Примеры построения эвольвентного профиля зубчатых колес.





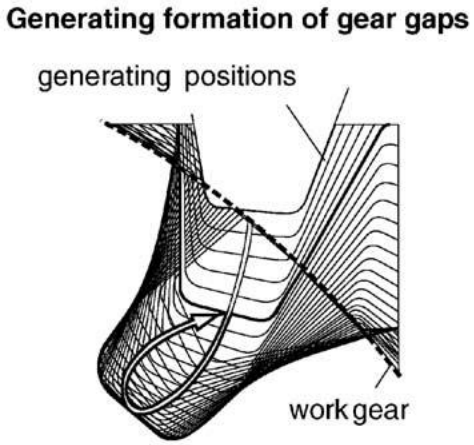


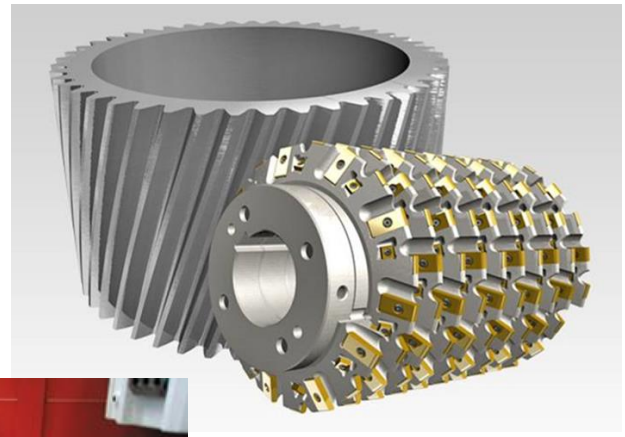
[Принципы работы эвольвентного зацепления]

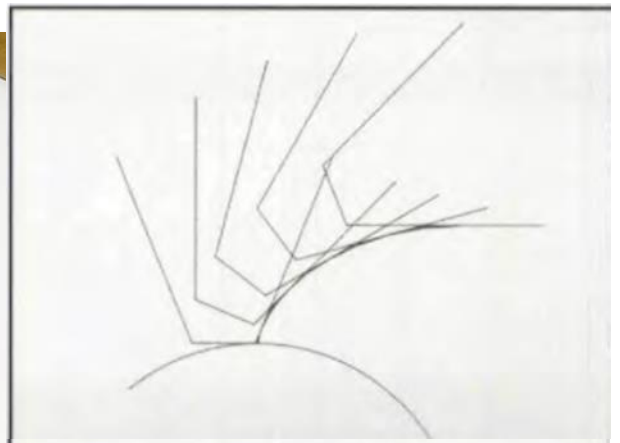
[Построение эвольвенты в CAD-системе]

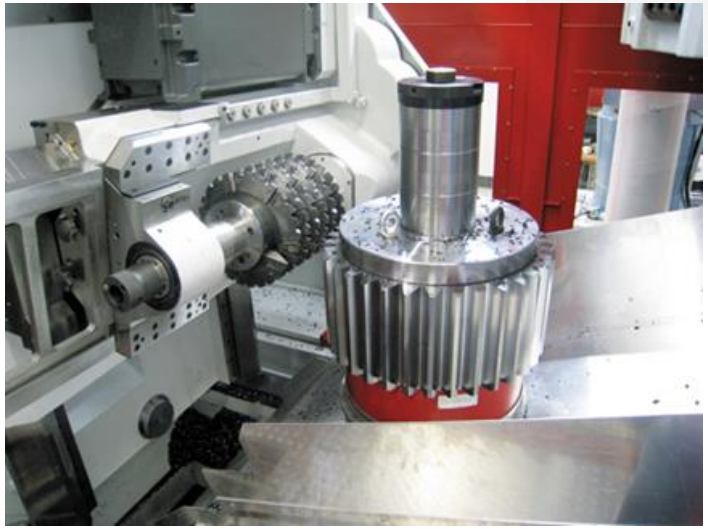
© Сурков И.В.

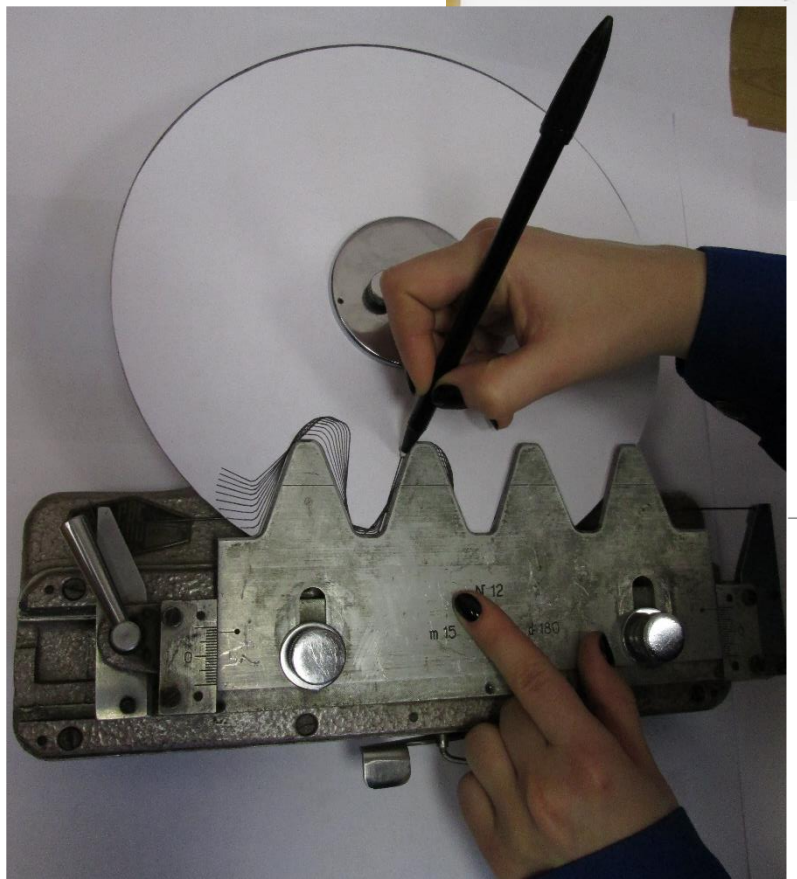
Примеры построения эвольвентного профиля зубчатых колес.

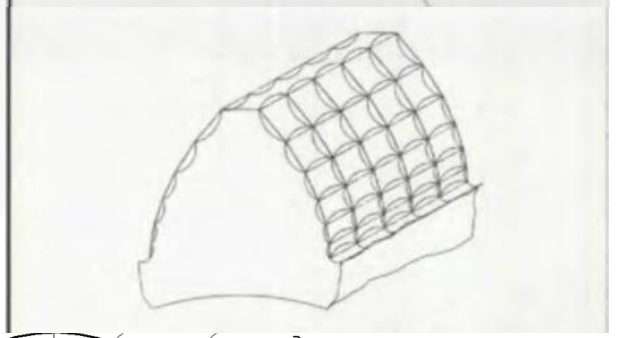


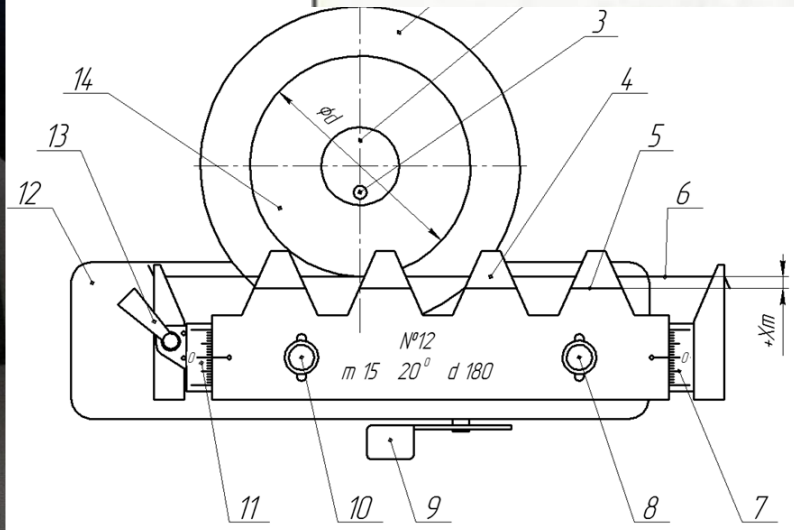












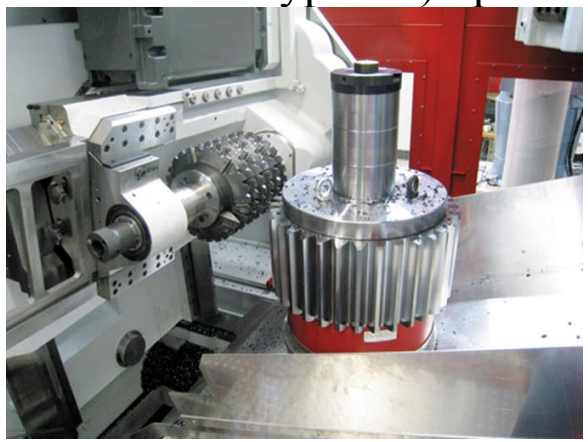
Особенности технологических процессов изготовления зубчатых колес

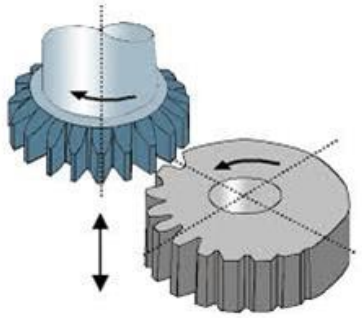
В машиностроении заданная форма деталей с требуемой точностью и качеством их поверхностей достигается в основном путем **механической обработки**. В процессе механической обработки деталей машин возникает наибольшее число вопросов, связанных с выполнением технических требований, поставленных конструкторами перед производством.

Зубчатые колеса являются наиболее сложными и трудоемкими деталями в машиностроении. От качества **обработки** зубчатых колес и **сборки** зубчатых передач в огромной степени зависят эксплуатационные характеристики, надежность машин и механизмов, в которых они используются.

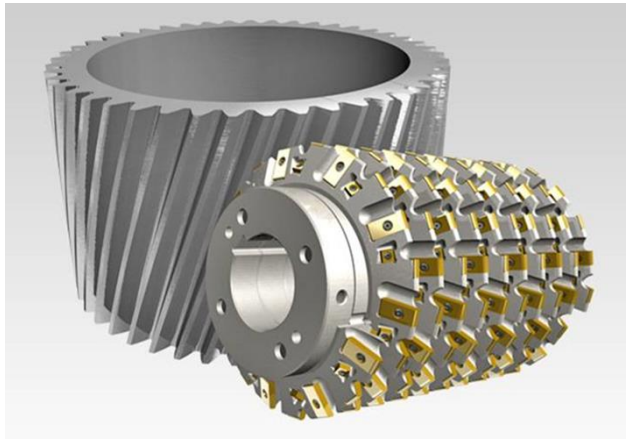
Технологическое обеспечение производства зубчатых колес и передач по аналогии с рассмотренными выше проблемами конструкторского проектирования включает в себя перспективные **научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы** (НИОКР) и ежедневное решение **комплекса инженерно-производственных задач** по разработке и совершенствованию технологических процессов механической обработки зубчатых колес и сборки (монтажа) узлов и изделий с зубчатыми передачами.

При выполнении **НИОКР** разрабатываются новые методы процессов формообразования рабочих поверхностей зубчатых колес, высокопроизводительное технологическое оборудование для автоматизированного (в том числе многономенклатурного) производства, прогрессивные режущие инструменты.





© Сурков И.В.

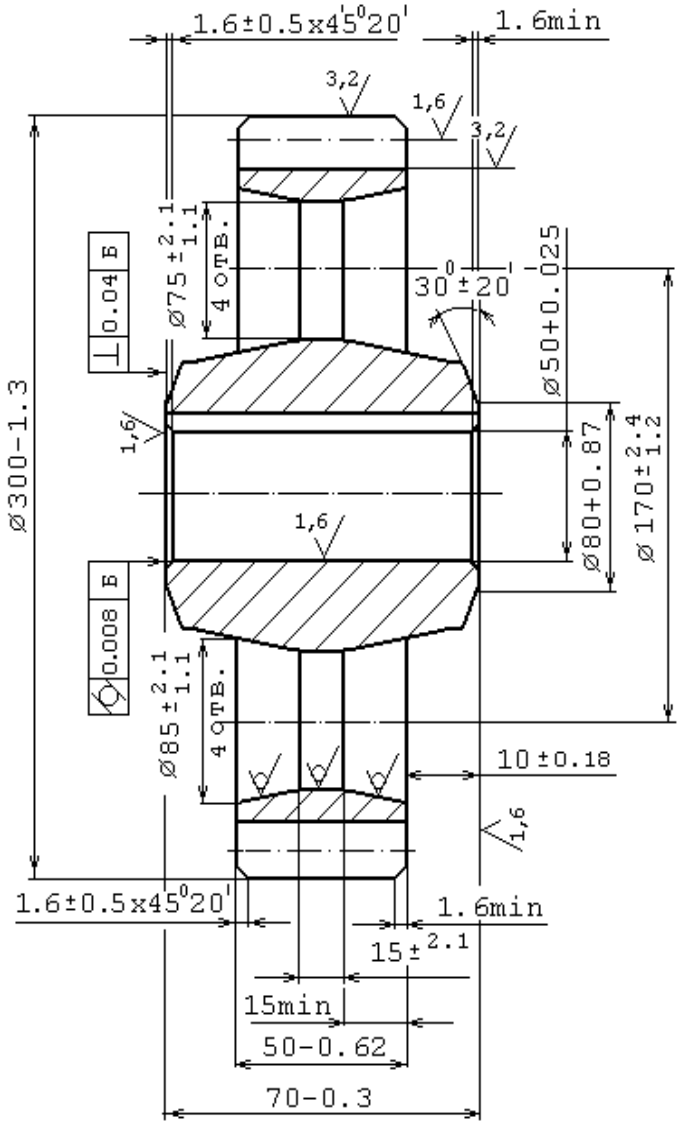


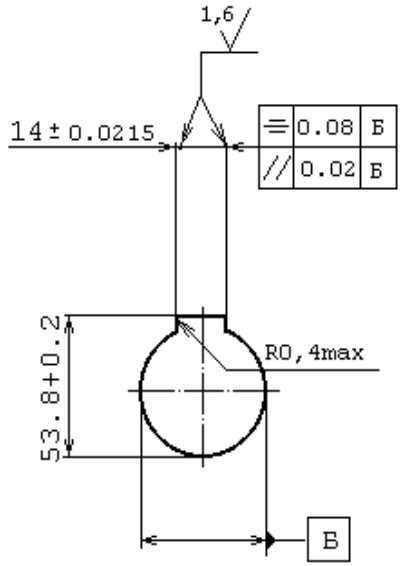
Традиционная последовательность проектирования технологического процесса (ТП):

1. Анализ рабочего чертежа детали, служебного назначения.
2. Анализ технологичности конструкции детали
3. Определение типа производства
4. Выбор метода получения исходной заготовки. Оформление эскиза заготовки.
5. Выбор оборудования.
6. Выбор маршрута и методов обработки каждой поверхности. Разработка маршрута ТП и схем базирования на каждой операции. Оформление операционных эскизов. Определение последовательности технологических и вспомогательных переходов. Размерный анализ спроектированного варианта ТП.
7. Выбор режущих и вспомогательных инструментов. Расчет режимов резания. Разработка эскизов расчетно-технологических карт (схем механической обработки, карт наладок). Нормирование операций.
8. Проектирование станочных приспособлений или схем сборки УСП. Силовые и точностные расчеты.
9. **Выбор средств измерения. Разработка методики для технологического и приемочного контроля, технологических инструкций.**
10. Оформление комплекта технологической документации (маршрутные и операционные карты, карты эскизов, наладок, **контрольные** и т.д.), ведомостей оснастки и комплектующих.
11. Разработка программного обеспечения: УП для станков, роботов, складских и транспортных систем (расписание работы), **средств автоматизированного контроля**.

© Сурков И.В.

Фрагмент чертежа зубчатого колеса





12.5

Модуль		m	2.5
Число зубьев		z	118
Нормальный исходный контур		-	ГОСТ13755-68
Коэффициент смещения		x	0
Степень точности по ГОСТ 1643-		-	7-В
Допуск на половине измерительного межосевого расстояния	за оборот		0.090
	на один зуб		0.025
Средняя длина общей нормали		W	$105.669^{-0.096}_{-0.167}$
Колебание длины общей нормали			0.125
Суммарное пятно контакта, не менее	по высоте		60
	по длине		45
Делительный диаметр		d	295

Сталь 40Х
269...302 НВ
Радиусы скругления 1.6 мм max
H14;h14;±IT14/2

© Сурков И.В.

Технологический Процесс (видео)

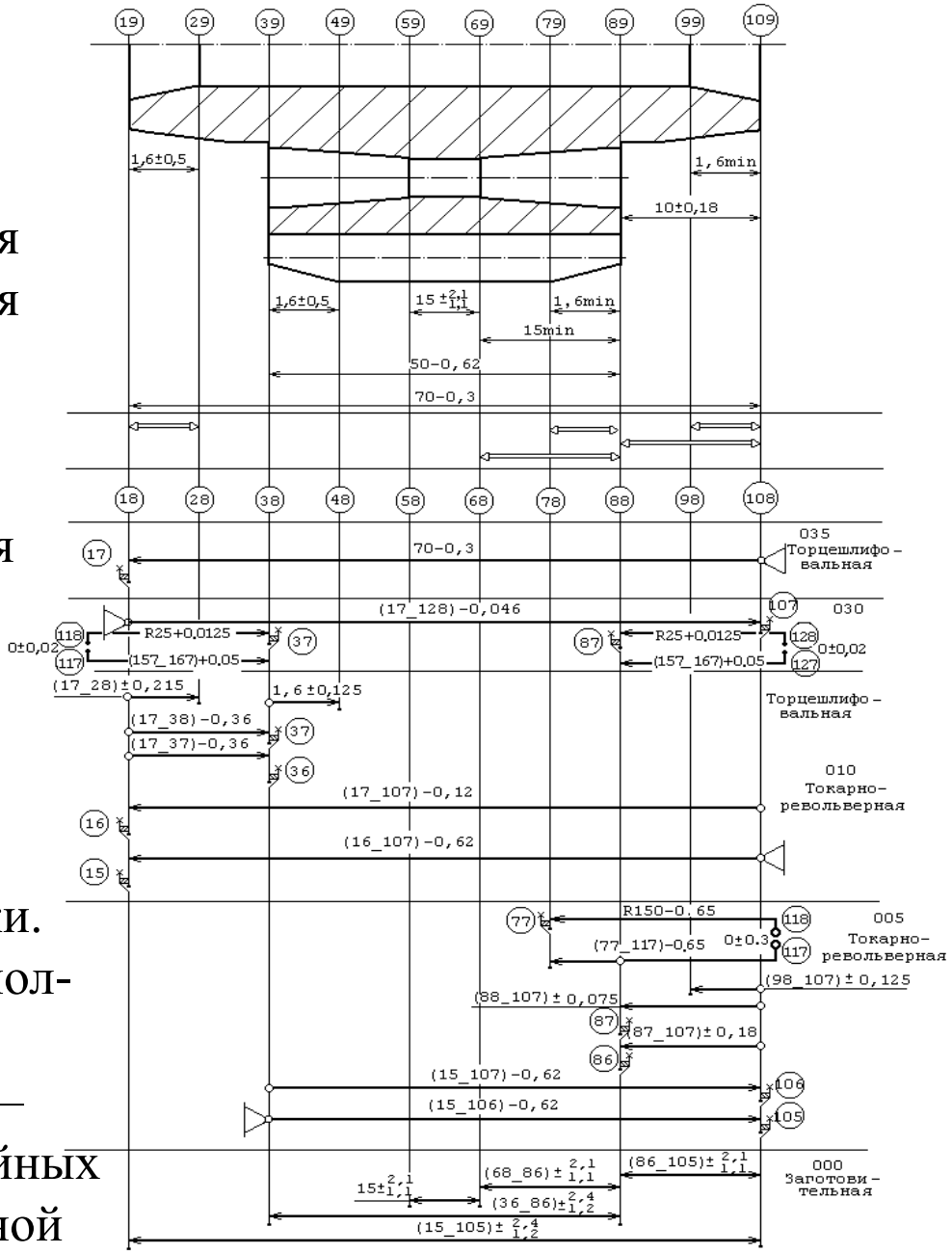
000 Заготовительная.
005 Токарно-револьверная
010 Токарно-револьверная
015 Долбежная
020 Зубофрезерная
023 Термообработка
025 Внутришлифовальная
030 Торцешлифовальная
035 Торцешлифовальная
040 Зубошлифовальная
045 **Контрольная**

Оборудование – станки традиционной компоновки.

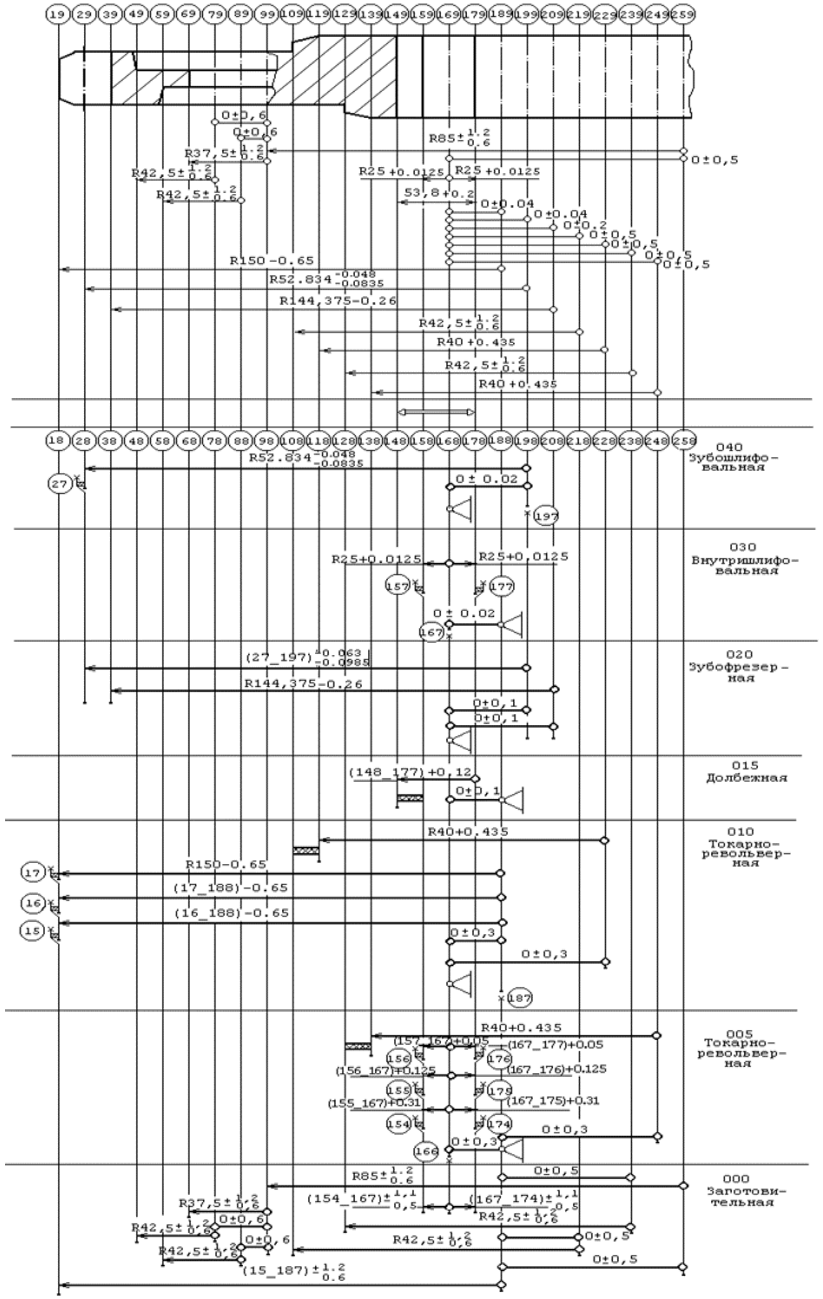
Лезвийная обработка выполняется за 4 операции.

Современные тенденции – концентрация всех лезвийных методов обработки на одной операции

Линейная цепь



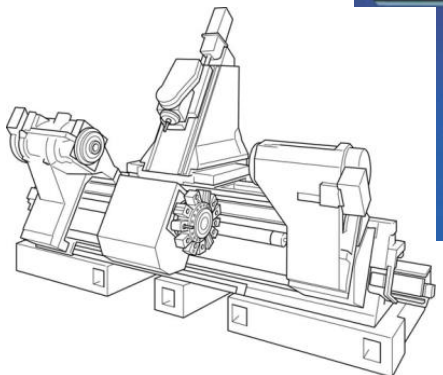
Диаметральная цепь

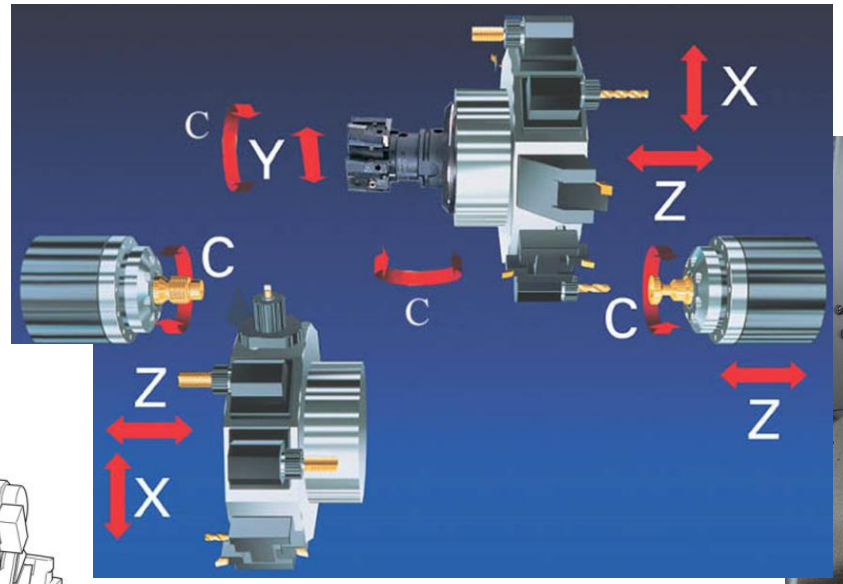


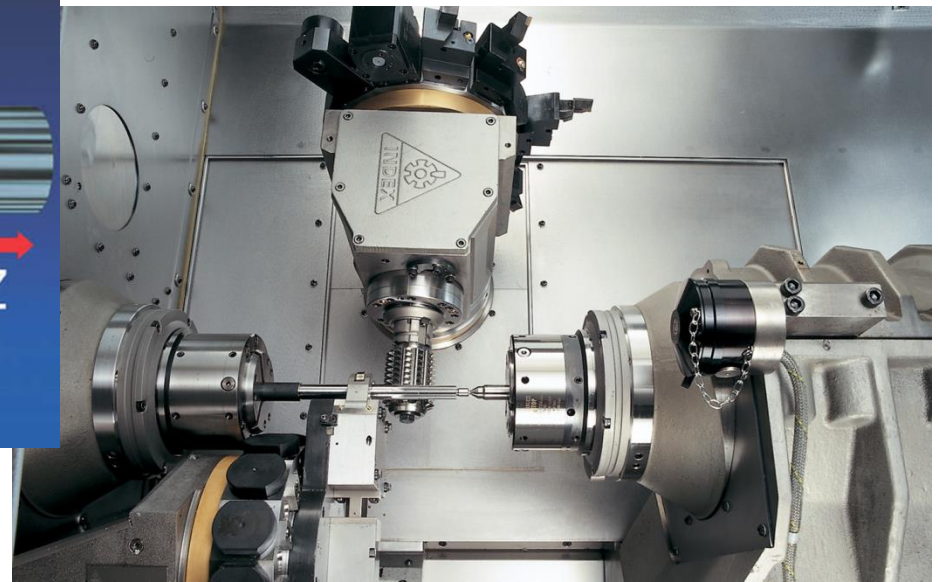
Современные тенденции автоматизации лезвийной обработки ТВ основываются на использовании различных типов многоцелевых токарных и токарно-фрезерных станков с ЧПУ. За счет концентрации различных технологических переходов токарной и сверлильно-фрезерно-расточной обработки представленные тела вращения могут быть практически полностью обработаны (исключая шлифование и термообработку) на одной операции за несколько установов. Это позволяет сократить общее число операций, повысить производительность и точность технологических процессов.

Т.е. практически все технологические переходы лезвийной обработки ТВ могут быть сконцентрированы на **одной операции**, выполняемой на многоцелевом токарном или токарно-фрезерном станке с ЧПУ. Обработка на таких станках ведется в несколько установов (**операционные эскизы оформляются на каждый установ**). Автоматическая смена установов происходит за счет использования внутри станка специальных модулей: главный (левый) и контр (правый) шпиндели, люнеты, дополнительные центра и схваты, установленные в позиции револьверных головок и т.д.

- WFL комплексная обработка
- WFL 1
- Зубообработка - WFL 4 и WFL 5





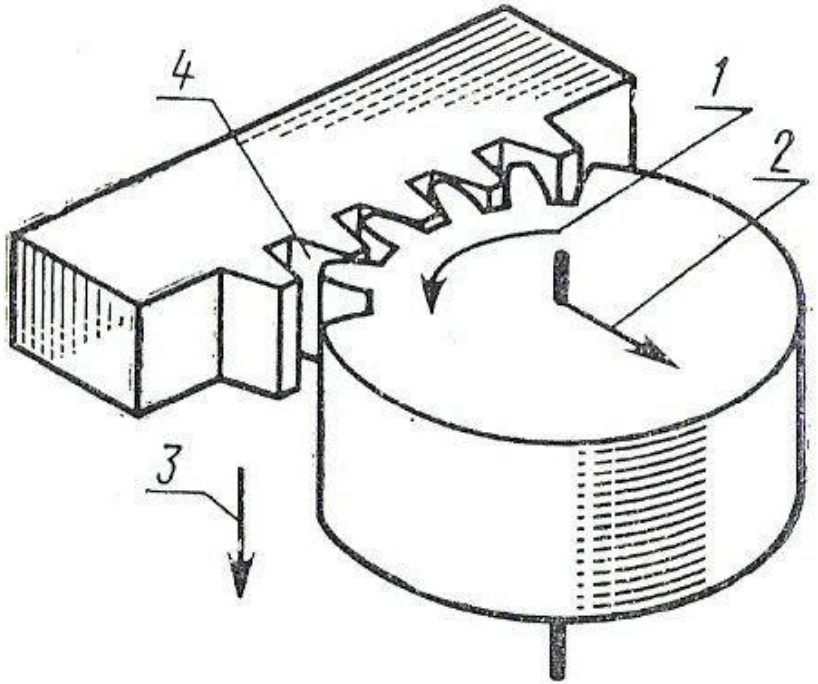


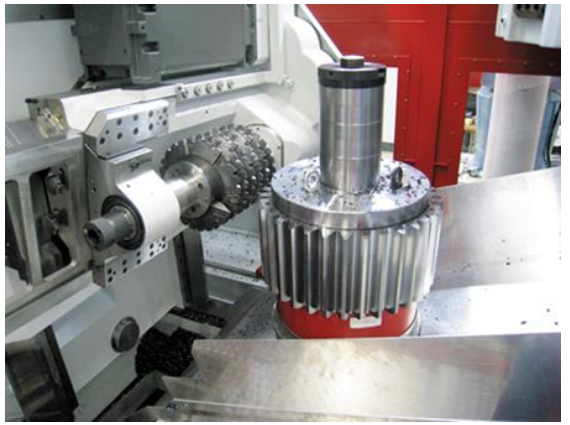
© Сурков И.В.

Анализ доминирующих погрешностей, возникающих при нарезании зубчатых колес

Погрешности, возникающие при нарезании зубчатых колес, можно свести к четырем видам: **радиальные** 2; **тангенциальные** 1; **осевые** погрешности обработки 3 и погрешности **производящей поверхности инструмента** 4

Радиальные погрешности обработки (2), обусловленные изменением радиального расстояния между инструментом и нарезаемым колесом, возникают из-за погрешностей базирования изделия на станке, радиального биения инструмента и периодических колебаний положения шпинделя изделия или инструмента. Погрешности базирования нарезаемого колеса на станке, создающие в изделии эксцентриситет, могут возникнуть вследствие наличия биения оправки стола станка относительно оси вращения, биения заготовки из-за зазора при посадке ее на оправку, биения центров станка относительно оси вращения станка и ряда других причин. Погрешности изготовления инструмента, биение оправки под инструмент и биение посадочных мест инструментального шпинделя приводят к радиальному биению инструмента. Погрешности обработки, обусловленные радиальным биением инструмента, особенно значительны при зубофрезеровании и зубодолбении. Возникшие в результате зубообработки радиальные погрешности постоянны в любом осевом сечении колеса.



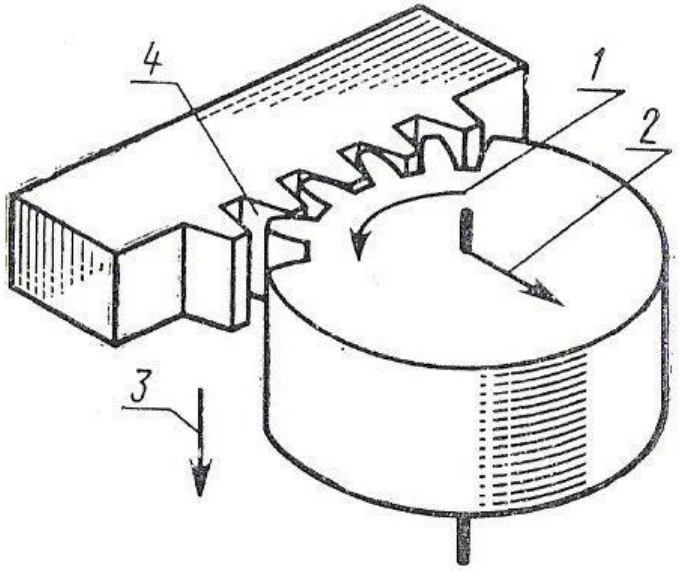


© Сурков И.В.

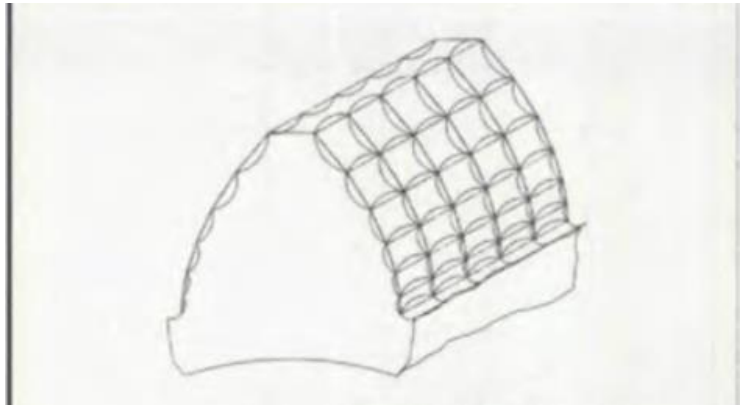
Анализ доминирующих погрешностей, возникающих при нарезании зубчатых колес

Тангенциальные погрешности (1) возникают вследствие наличия погрешностей звеньев кинематической цепи станков, особенно, конечных червячных пар, делительных дисков и ходовых винтов. Эти погрешности нарушают точное деление в станках с делительным устройством и обкат инструмента и колеса при нарезании его по методу обката. Тангенциальные погрешности постоянны по каждой контактной линии.

Осевые погрешности (3) появляются при перекосе оси изделия, неточности направляющих станка, а иногда вследствие погрешности кинематической цепи станка. Эти погрешности нарушают продольный контакт зубьев, при этом в любом торцевом сечении колеса они остаются постоянными.



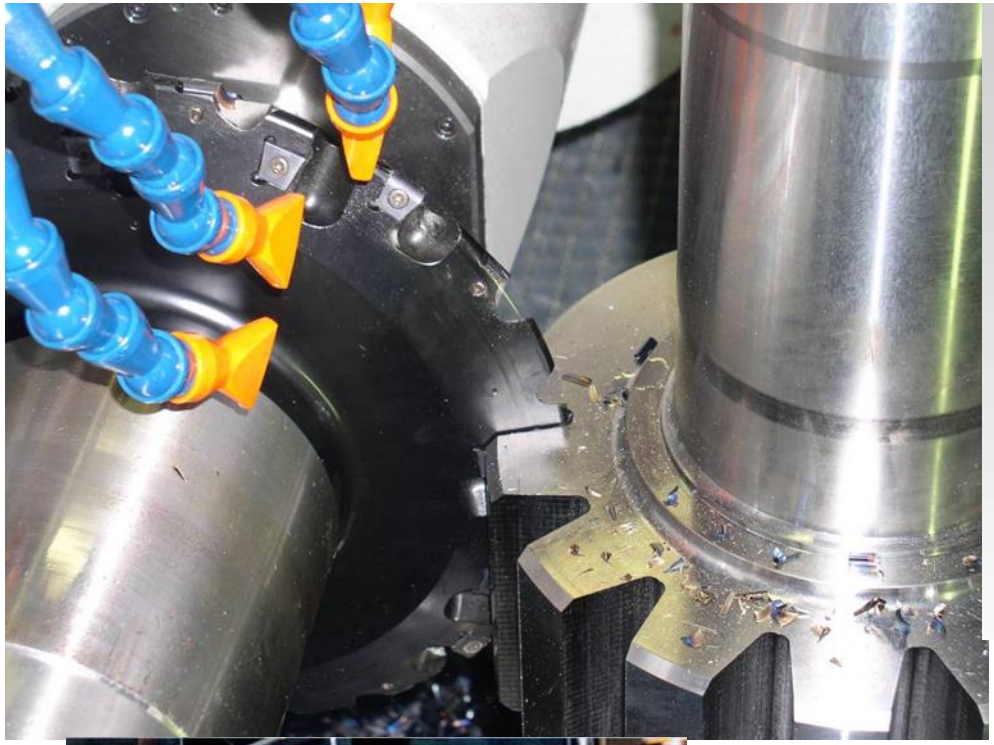
Погрешности изготовления инструмента (4), а также неточности колеса, обусловленные *дискретностью процесса резания*, вызывают погрешности производящей поверхности. Погрешности профиля и контактной линии косозубых колес могут явиться следствием неточности формы производящей поверхности инструмента, а погрешности угла профиля инструмента приводят к отклонениям основного шага и направления контактной линии.

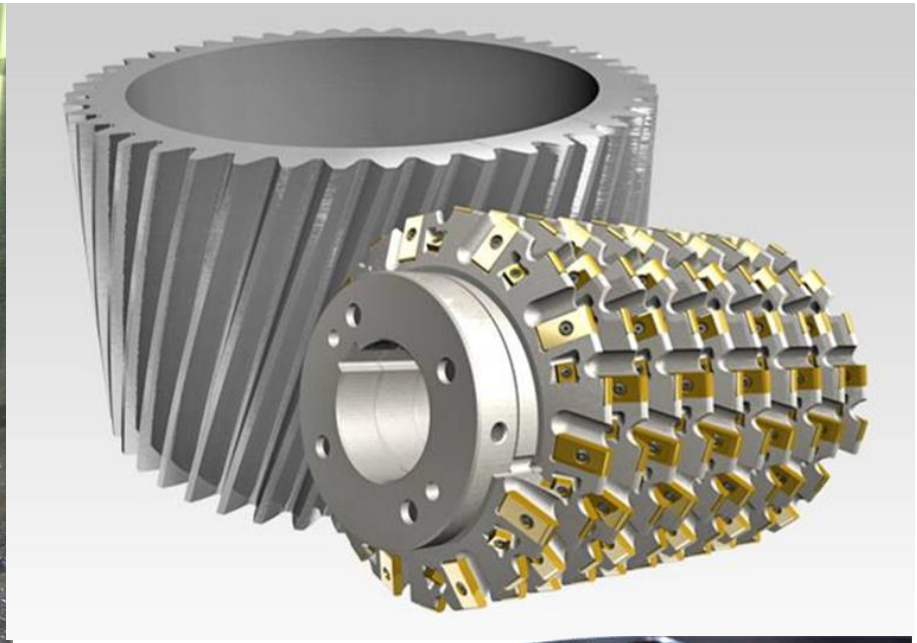


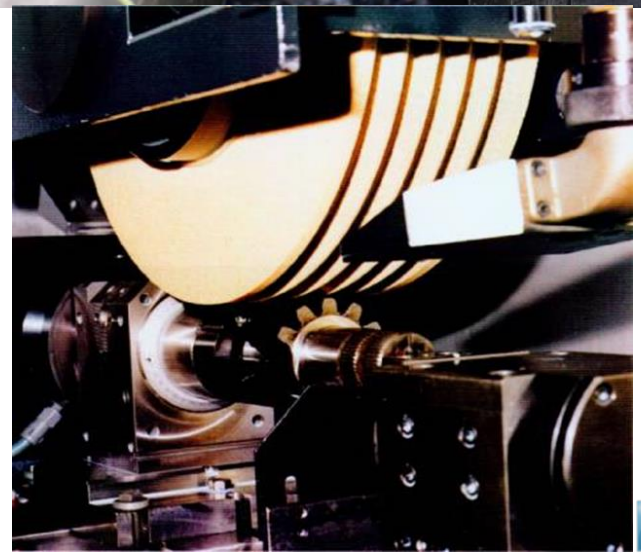
Совместное проявление перечисленных выше погрешностей зубообработки вызывает **неточности размеров, формы и расположения зубьев обрабатываемых зубчатых колес (нормируются параметрами в соответствии с ГОСТ 1643-81 или аналогичными стандартами)**. При последующей работе зубчатого колеса в качестве элемента передачи эти неточности приводят к неравномерности его вращения; неполному прилеганию поверхностей зубьев; неравномерному распределению боковых зазоров, что вызывает дополнительные динамические нагрузки, нагрев, вибрации и шум в передаче.

© Сурков И.В.

Примеры методов обработки эвольвентного профиля зубчатых колес.

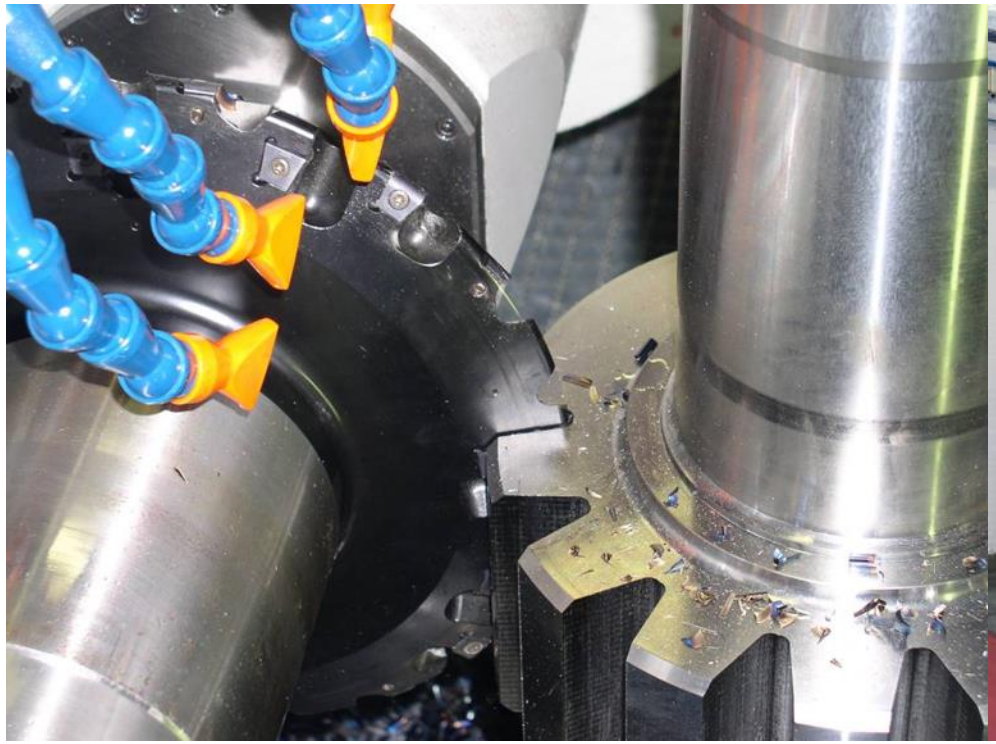






© Сурков И.В.

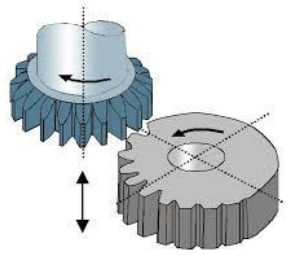
Примеры методов обработки эвольвентного профиля зубчатых колес:
- Метод копирования и деления

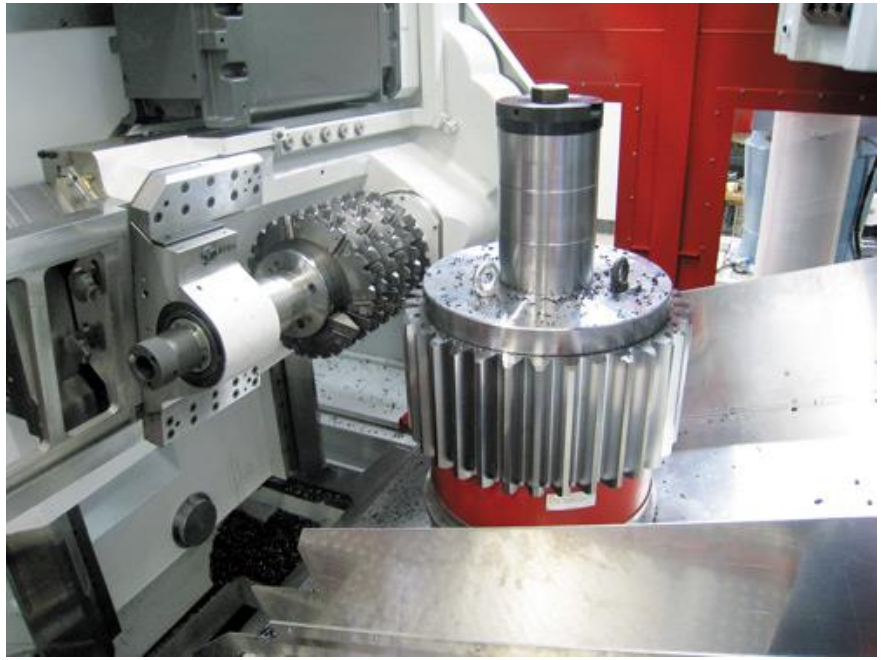


Дисковая модульная фреза, обработка на универс.фрез.станке с делит.головкой
Концевая модульная фреза, обработка на фрез.станке с ЧПУ
Обработка зубчатых секторов (2-х проходная дисковая модульная фреза)
Шлифование шлиц методом копирования и деления
Зубошлифование на станке Gleason 1500G Titan (черв.и двухпроф.круги)

© Сурков И.В.

Примеры методов обработки эвольвентного профиля зубчатых колес:
- Метод обкатки (червячные фрезы и шлиф.круги, долбяки)





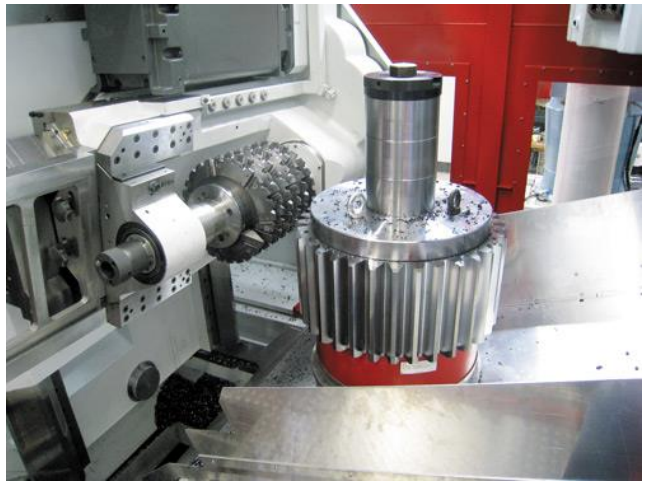
[Зубофрезерование червячной фрезой]
[Зубофрезерный ГПМ]
[Фрезерование крупномодульных ЗК]
[Зубодолбление]
[Зубошлифование червячным кругом (выставка)]
[Зубошлифование червячным кругом с правкой круга (выставка)]
[Зубошлифование червячным кругом и контроль ЗК на станке]
[Зубошлифование на станке Gleason 1500G Titan (черв.и двухпроф.круги)]

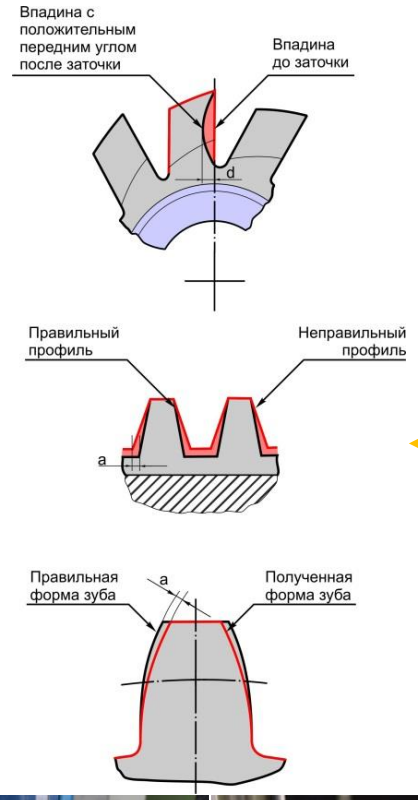
© Сурков И.В.

Коррекция настроек технологической системы зубофрезерных станков

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 перезаточеной червячной фрезы компенсируются ее погрешности (рассчитываются по результатам предварительных измерений).

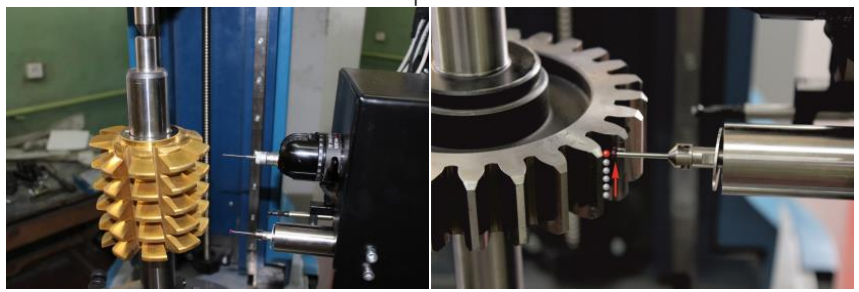
Станки для зубообработки





НИИК-483 (485)
ПО Технокоорд-4К

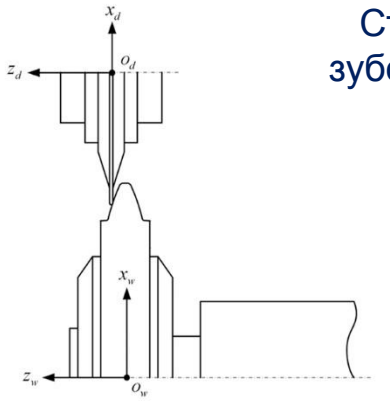
MarGear
ПО MarWin

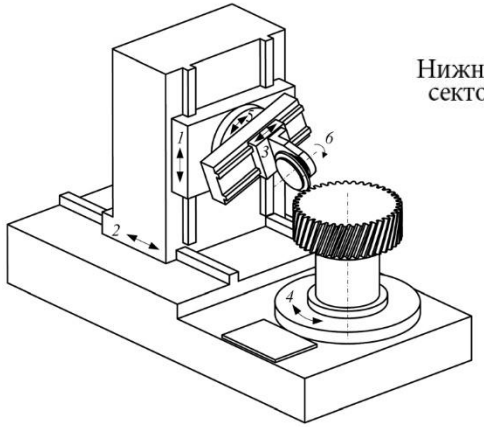


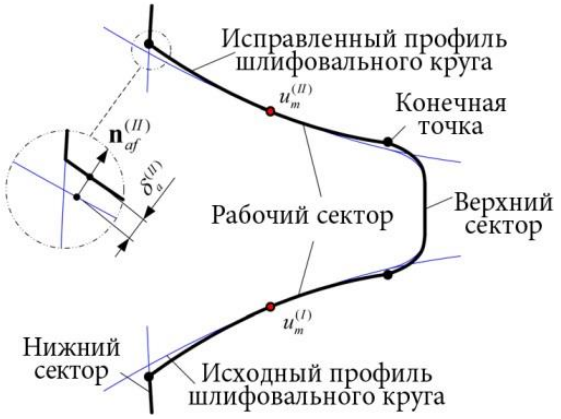
Коррекция настроек технологической системы зубошлифовальных станков

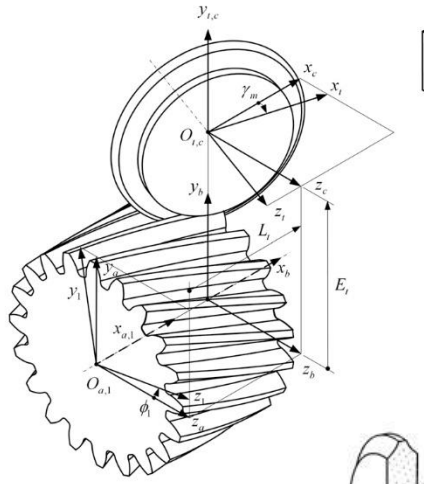
Результаты измерений **встроенным датчиком на станке** геометрических параметров первой обработанной впадины зубчатого колеса используются для коррекции профиля шлифовального круга в процессе правки. Эффект достигается при обработке **этого же ЗК**.

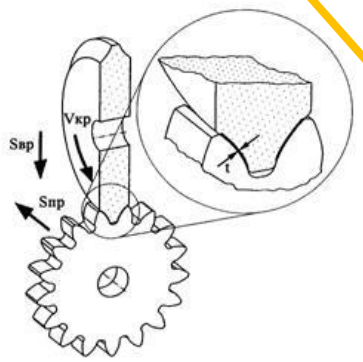
Станки для зубообработки

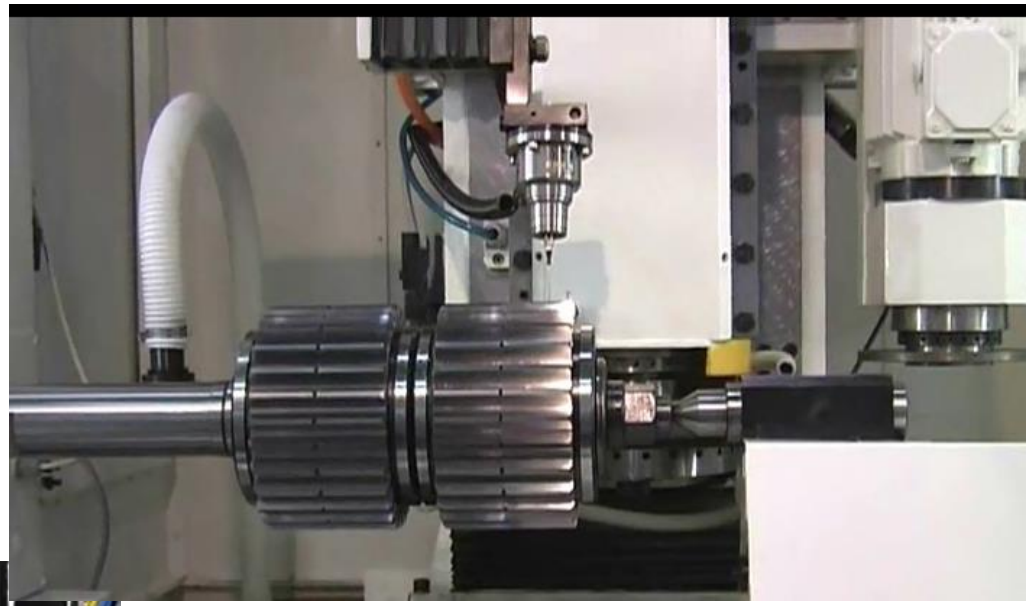


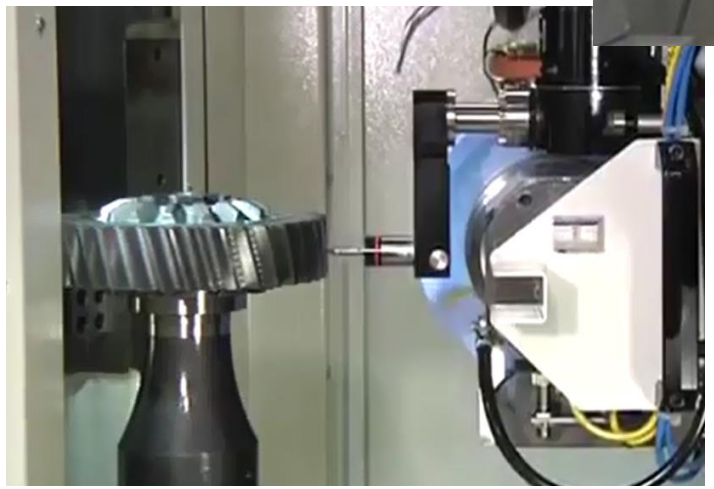








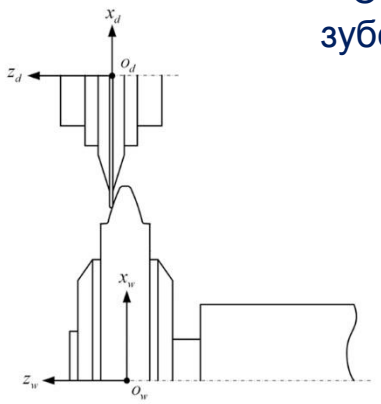


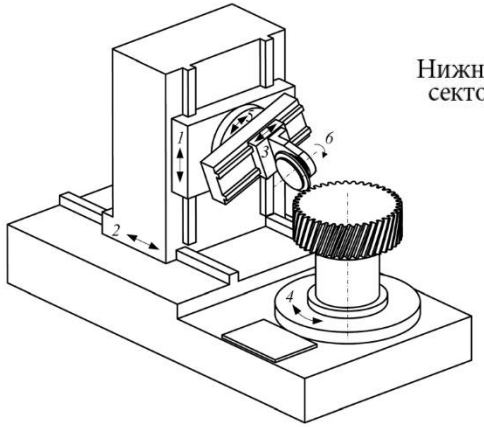


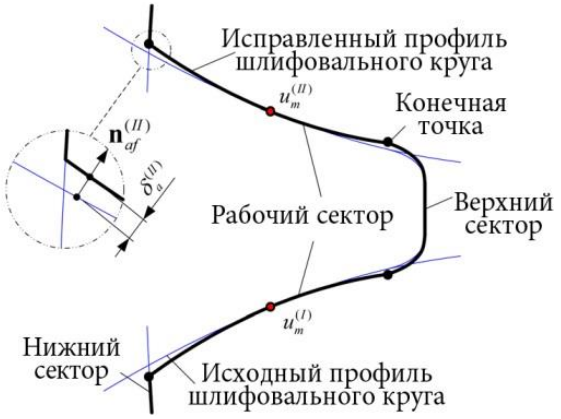
Коррекция настроек технологической системы зубошлифовальных станков

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

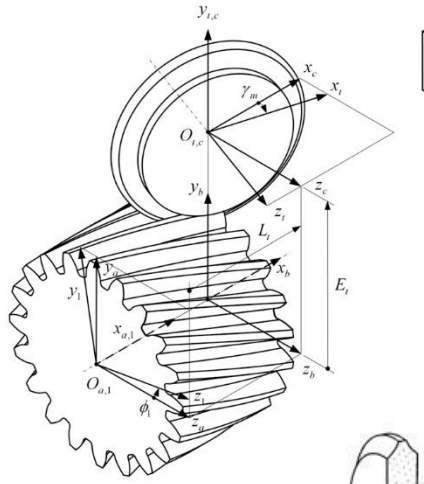


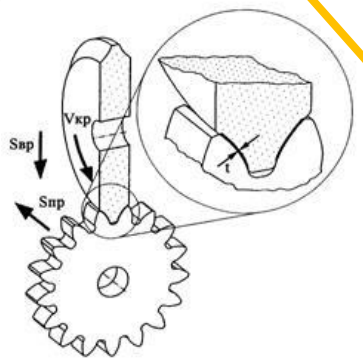


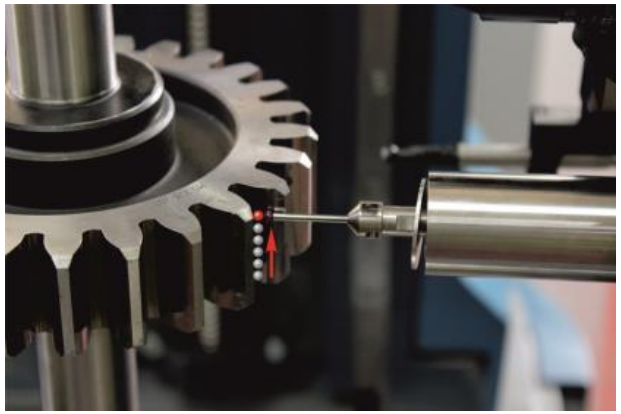


НИИК-483 (485)
ПО Технокоорд-4К

MarGear
ПО MarWin







Метрологическое обеспечение производства зубчатых колес

Метрологическое обеспечение производства (зубчатых колес) – это установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства измерений и требуемой точности изготовления деталей (зубчатых колес) и сборки изделий (зубчатых передач).

Научной основой метрологического обеспечения производства является *метрология*.

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности (РМГ 29-2013).

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

Законодательная метрология – раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимости точности измерений в интересах общества.

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

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

Необходимо обратить внимание на 5 основных терминов, особенности их взаимосвязи друг с другом в области металлообработки:

- **Измерение (техническое измерение).**
- **Технический контроль.**
- **Технологическое управление.**
- **Техническая диагностика.**
- **Испытания**

© Сурков И.В.

Измерение — нахождение значения *физической величины опытным путем* с помощью *специальных технических средств*.

РМГ 29-2013: *Измерение (величины)* - процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине.

Величина - свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

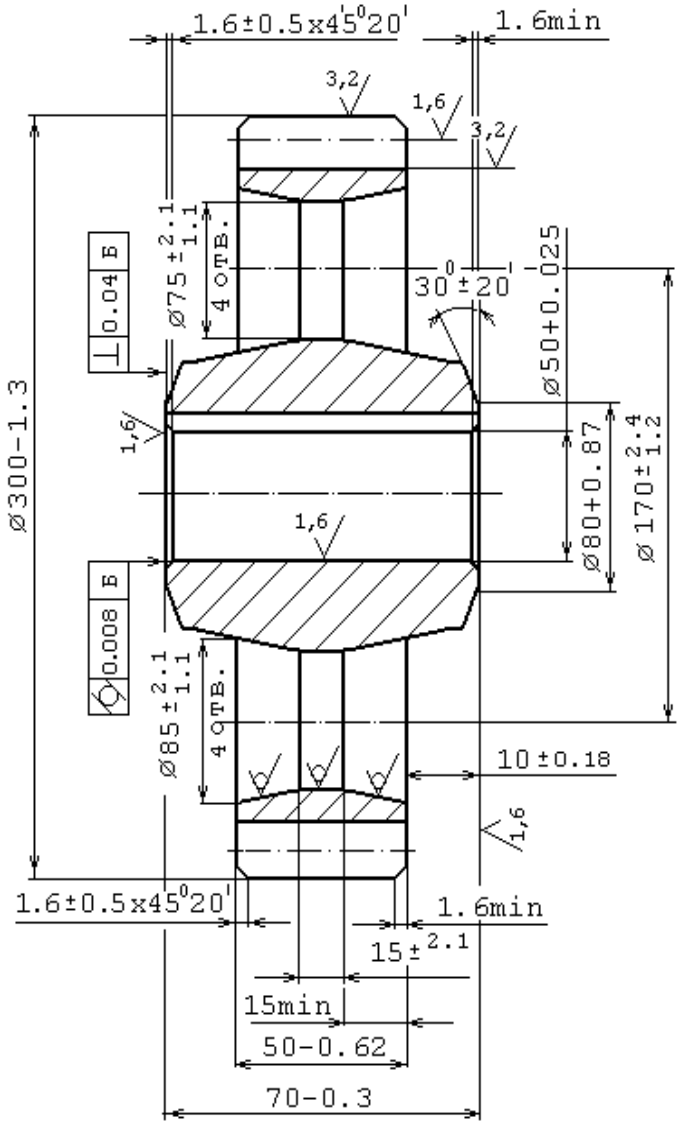
Выделяют *измерения максимально возможной точности*, *контрольно-поверочные измерения* и ***технические измерения***, в которых погрешность результата определяется характеристиками применяемых средств и методов измерений.

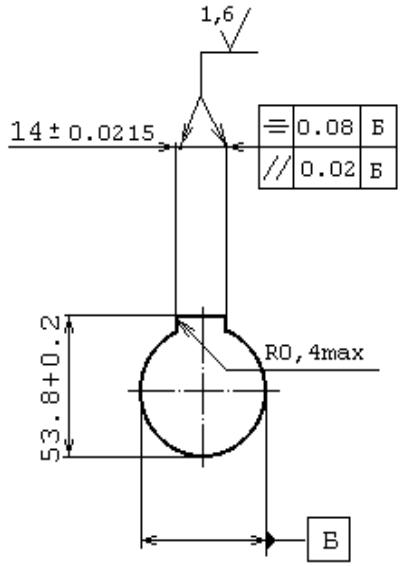
Технические измерения в машиностроении являются частью большого комплекса вопросов, которыми занимается метрология. Для машиностроения наибольшее значение имеют технические измерения длин и углов (терминология: *линейно-угловые параметры*, *размерные параметры*, *геометрические параметры детали или изделия*). Примерно 90-95% всех операций контроля в машиностроении и 80-85% в приборостроении связано с линейно-угловыми измерениями. Оставшиеся проценты приходятся на измерения твердости, структурный и химический анализ материалов. Поэтому де-факто под терминами «технические измерения» и «технический контроль» в машиностроении понимают именно измерения или контроль линейно-угловых параметров детали или изделия.

При контроле зубчатых колес помимо универсальных методик измерений 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 методик измерений параметров, характеризующих эксплуатационные показатели зубчатого колеса или зацепления. Эти геометрические параметры и допуска (предельные отклонения) на них записаны в таблице, расположенной в правом верхнем углу чертежа.

© Сурков И.В.

Фрагмент чертежа зубчатого колеса





12.5

Модуль		m	2.5
Число зубьев		z	118
Нормальный исходный контур		-	ГОСТ13755-68
Коэффициент смещения		x	0
Степень точности по ГОСТ 1643-		-	7-В
Допуск на половине измерительного межосевого расстояния	за оборот		0.090
	на один зуб		0.025
Средняя длина общей нормали		W	$105.669^{-0.096}_{-0.167}$
Колебание длины общей нормали			0.125
Суммарное пятно контакта, не менее	по высоте		60
	по длине		45
Делительный диаметр		d	295

Сталь 40Х
269...302 НВ
Радиусы скругления 1.6 мм max
H14;h14;±IT14/2

© Сурков И.В.

Методика (метод) измерений - совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности (ФЗ ЕИ 2008).

РМГ 29-2013:

4.5. **метод измерений:** Прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или соотнесения со шкалой в соответствии с реализованным принципом измерений.

4.11. **методика (выполнения) измерений:** Установленная логическая последовательность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений в соответствии с принятым методом измерений.

Примечание — Обычно методика измерений регламентируется каким- либо нормативным документом.

В машиностроении используют термины «технология измерений» и «технология контроля».

Технический контроль — это проверка соответствия объекта или процесса установленным техническим требованиям. Технический контроль дает информацию о **качественном** состоянии объекта контроля (**годно**/**брак**).

В общем случае технический контроль состоит из двух этапов:

1. Получение информации о фактическом состоянии некоторого объекта или процесса, о признаках и показателях его свойств. Эту информацию называю первичной и фактически это процесс измерения. В машиностроении – это измерение величины размерных параметров.

2. Сопоставление первичной информации с заранее установленными требованиями, нормами, критериями, т.е. обнаружение соответствия или несоответствия фактических данных требуемым.

В машиностроении под техническим контролем понимают контроль линейно-угловых размеров, т.е. это совокупность операций и приемов, конечный итог которых - сопоставление действительных (измеренных) геометрических параметров деталей или изделий с параметрами, указанными в технической документации (в чертежах). По результатам сопоставления делается вывод о годности деталей, изделия или технологического процесса (разбраковка) или производится сортировка по размерным группам (например, для последующей селективной сборки).

© Сурков И.В.

Особенности проектирования методики (выполнения) измерений (МВИ) и операций технического контроля

В соответствии с государственным стандартом (ГОСТ Р 8.563-96. ГСИ. Методики выполнения измерений) методика выполнения измерений (МВИ), выполняемая стандартными средствами измерений (СИ) утвержденного типа, должна быть приведена в соответствующих инструкциях по эксплуатации (паспорте), методиках поверки или технических условиях. Эта документация разрабатывается проектными организациями, производителями СИ или органами метрологии и стандартизации.

Для СИ не включенных в Госреестр СИ производителями так же разрабатываются МВИ, которые приводятся в сопроводительной технической документации. Для таких СИ можно провести метрологическую аттестацию, в этом случае за ними осуществляется метрологический надзор. Выполняют метрологическую экспертизу конструкторской и технологической документации, в которой содержится МВИ. Отдельно можно провести метрологическое подтверждение пригодности МВИ.

Метрологическое подразделение машиностроительного предприятия может самостоятельно разработать МВИ и утвердить в качестве стандарта предприятия. Или воспользоваться готовой нормативной документацией, разработать на ее основе внутризаводские инструкции (**МВИ**, **Технологическая инструкция**) и использовать их в качестве дополнительной технологической документации.

© Сурков И.В.

Особенности проектирования методики (выполнения) измерений (МВИ) и операций технического контроля

МВИ должна содержать следующие основные разделы:

- назначение МВИ с перечнем измеряемых величин:
- характеристики объекта измерения и требования к нему;
- модель объекта измерений;
- стандартизованные определения измеряемых величин;
- допускаемые погрешности (неопределенности) измерений;
- условия измерений;
- методы измерений;
- схемы измерений;
- средства измерений и их метрологические характеристики;
- вспомогательные устройства и материалы;
- операции при подготовке к выполнению измерений;
- операции при выполнении измерений;
- операции обработки и вычислений результатов измерений;
- нормативы, процедуры и периодичность контроля погрешностей результатов выполняемых измерений;
- требования к оформлению результатов измерений;
- требования к квалификации операторов;
- требования к обеспечению безопасности выполняемых работ;
- требования к обеспечению экологической безопасности;
- аттестат МВИ, подтверждающий возможность измерения по данной МВИ с погрешностями (неопределенностями) измерений, не превышающими допускаемые.

© Сурков И.В.

Особенности проектирования методики (выполнения) измерений (МВИ) и операций технического контроля

Процесс контроля включает совокупность операций технического контроля, выполняемых при изготовлении и ремонте изделия или его составной части. Процессы технического контроля разрабатываются для следующих видов контроля:

- входного контроля материалов, заготовок, полуфабрикатов, а также комплектующих деталей и сборочных единиц;
- операционного контроля деталей и сборочных единиц;
- приемочного контроля изделий.

Порядок разработки процессов технического контроля включает последовательное выполнение этапов разработки, объединенных в следующие группы:

- совокупность этапов анализа объектов контроля (классификация, выбор, группирование, оценка, объем контроля, выбор контролируемых параметров объекта контроля);
- составление технического маршрута процесса технического контроля (выбор организационных форм, действующих типового, группового процесса или поиск аналога единичного процесса технического контроля);
- разработка технологических операций технического контроля (выбор схем контроля, метода контроля, средств контроля; разработка режимов контроля);
- оформление документации на процессы технологического контроля.

© Сурков И.В.

Особенности проектирования методики (выполнения) измерений (МВИ) и операций технического контроля

К последовательности задач, решаемых на основных этапах построения контрольных операций, относятся:
- изучение технологического маршрута процесса технического контроля;
- выбор операции контроля;
- определение номенклатуры контролируемых параметров и признаков у объекта контроля;
- выбор методов контроля и определение относительных погрешностей методов измерения и контроля для основных параметров и признаков продукции;
- выбор средств контроля;
- установление норм времени на контроль;
- установление оптимальной последовательности выполнения контрольных переходов;
- построение структуры контрольной операции в текстовой или операторной форме.

Инв.№ подл. | Подп. и дата | Взам. инв.№

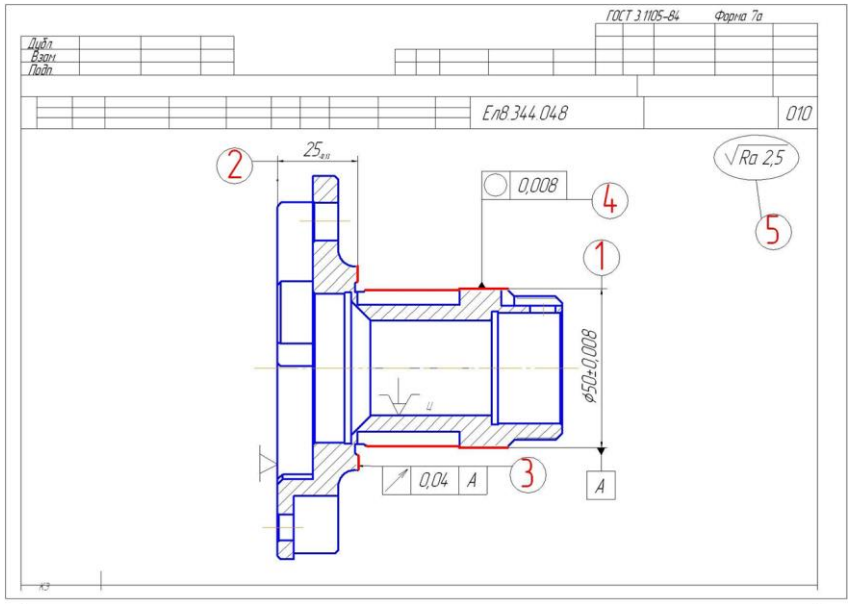
Разраб. | Проверил | Нормир. | Утв. | Н.контр. | ЮУрГУ | Е/18.344.048 | 020

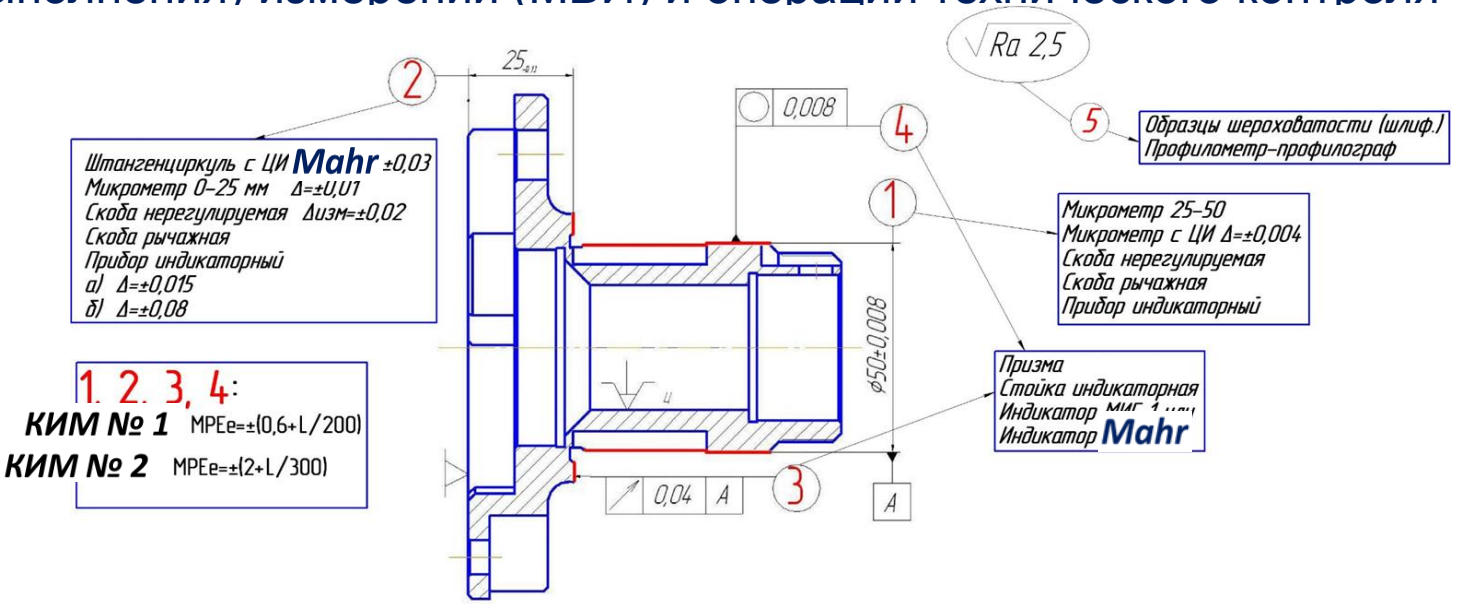
Наименование операции			Наименование, марка материала		МД
Контрольная			40Х ГОСТ 4543-71		1.1
Наименование оборудования	Тo	Тв			Обозначение УОТ
Контрольный стол	3.08	0.89			

Р	Контролируемые параметры	Код средств ТО	Наименование средств ТО	Объем ПК	To/Tв
01	1. Отсутствие заусенчев		Визуально	100	
02	и острых кромок				0.37
03					
04	2. Шероховатость		Образец шероховатости ??????????????	100	
05	обработанных поверхностей		ГОСТ 9378-75		0.64
06					
07	3. Диаметр 44		Штангенциркуль ???????????	100	0.1
08					
09	4. Допуск цилиндричности		Контрольное приспособление??????????????	100	
10	допуск радиального и				
11	торцевого биения				1.57
12					
13	5.Допуск перпендикулярности		Пробка 12Н ГОСТ 17756-72 ??????????????	100	0.2
ОК	Технический контроль				

© Сурков И.В.

Особенности проектирования методики (выполнения) измерений (МВИ) и операций технического контроля





Наименование операции	Материал	Твердость	Ев	МД	Профиль и размеры	МЗ	КОИД
Шлифовальная с ЧПУ	Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	НВ=255...302	КГ	1	Штамповка	4,7	1

Разработал ЮУрГУ Ел8.344.048
Проверил
Нормир.
Утв.
Н. контр.
Поводок 010

Оборудование, устройство ЧПУ	Обозначение программы	$T_к$	$T_в$	$T_{оп}$	$T_{шт}$	СОЖ
STUDER S20 cnc		0,12	0,32	0,15	2,1	-

Р		ПИ	Д и Ф	L	t	i	S	N	v
О	01	1. Установить заготовку							0,30
	02	Приспособление оправка 684-3684							
О	03	2. Обработать деталь по программе, выдерживая размеры:						0,1317	0,27
	04	1, 2, 3, 4						0,1317	0,02
Т	05	Шлифовальный круг ПП 300х30х50 28А 10-П С2 35м/с А1кл.							
	06	ГОСТ 2424-83							
	07	Оправка С3-390							
Р	08	Штангенциркуль ??							
	09	**МВИ № 10**		45	0,185	1	1,2	1019	160
	10	**Технологическая инструкция № 101**							
	11								
О	12	3. Контроль рабочим 10%							(0,25)
	13								
	14								
	15								
	16								

ОК

МВИ № 10

Технологическая инструкция № 101

Разраб. Проверил Нормир. Утв. Н.контр. ЮУрГУ Ел8.344.048 020

Наименование операции	Наименование марка материала	МП
Контрольная	40Х ГОСТ 4543-71	1.1

Наименование оборудования	Тo	Тв	Обозначение НОТ
Контрольный стол	3.08	0.89	

Р	Контролируемые параметры	Код средств ТО	Наименование средств ТО	Объем и ПК	Тo / Тв
01	1. Отсутствие заусенчев		Визуально	100	
02	и острых кромок				0.37
03					
04	2. Шероховатость		Образец шероховатости ????????????????	100	
05	обработанных поверхностей		ГОСТ 9378-75		0.64
06					
07	3. Диаметр 44		Штангенциркуль ????????????	100	0.1
08					
09	4. Допуск цилиндричности		Контрольное приспособление?????????????	100	
10	допуск радиального и				
11	торцевого биения				1.57
12					
13	5.Допуск перпендикулярности		Пробка 12Н ГОСТ 17756-72 ?????????????	100	0.2

ОК Технический контроль

© Сурков И.В.

Необходимо, чтобы процессы технического контроля были не «пассивными» (только разбраковка или сортировка по линейно-угловым параметрам), а «активными», т.е. влияющими на производительность, точность и надежность выполняемых технологических процессов.

В результате, выделяют третий этап технического контроля – **технологическое управление**. Выполняется анализ текущих значений и динамики изменения контролируемых параметров, разработка и выполнение управляющих воздействий для изменения хода протекания технологического процесса или операции: замена изношенного инструмента, коррекция системы координат детали, режимов резания и т.д. Эти функции технологического управления должны быть регламентированы в виде специального документа – технологической инструкции, в которой для наладчика (оператора) станка описана заданная последовательность действий по целенаправленной коррекции настроек технологической системы. В многономенклатурном автоматизированном производстве эти же функции должны быть реализованы в виде специальных управляющих программ.

Техническое диагностирование — процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью. Результатом технического диагностирования является заключение о техническом состоянии объекта с указанием при необходимости места, вида и причин дефекта (дефектов). Необходимым условием надежного функционирования автоматизированного металлообрабатывающего производства является внедрение методов и средств технической диагностики состояния элементов технологических систем (станок-приспособление-**инструмент**-заготовка).

Испытания — это экспериментальное определение количественных и (или) качественных свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий. В металлообработке – испытания станков (точность, виброустойчивость и т.д.) приемочные у производителя или заказчика, периодические в процессе эксплуатации. В метрологии – **«поверка»** и **«калибровка»** средств измерения являются по сути частным случаем испытаний.

© Сурков И.В.

1.2. Базовые стандарты для нормирования точности геометрических параметров зубчатых колес и передач. Сравнительный анализ российских и международных стандартов.

В настоящее время в РФ действуют несколько стандартов нормирующих показатели точности зубчатых колес и передач. Традиционно применяют: **ГОСТ 1643-81** (Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски), ГОСТ 9178-81 (допуски мелкомодульных цилиндрических ЗК), ГОСТ 1758-81 (допуски конических и гипоидных ЗК), ГОСТ 9368-81 (допуски мелкомодульных конических ЗК). Изначально эти стандарты были разработаны в 1950-х гг, и с небольшими изменениями переиздавались каждые 10-15 лет. Однако, последние версии этих стандартов были опубликованы в 1981 г.

С одной стороны – это стандарты для **конструкторского проектирования** (конструктор нормирует показатели точности в чертежах), с другой стороны – это основа **метрологического обеспечения** производства (в Приложениях приведено краткое описание методов измерения нормируемых показателей).

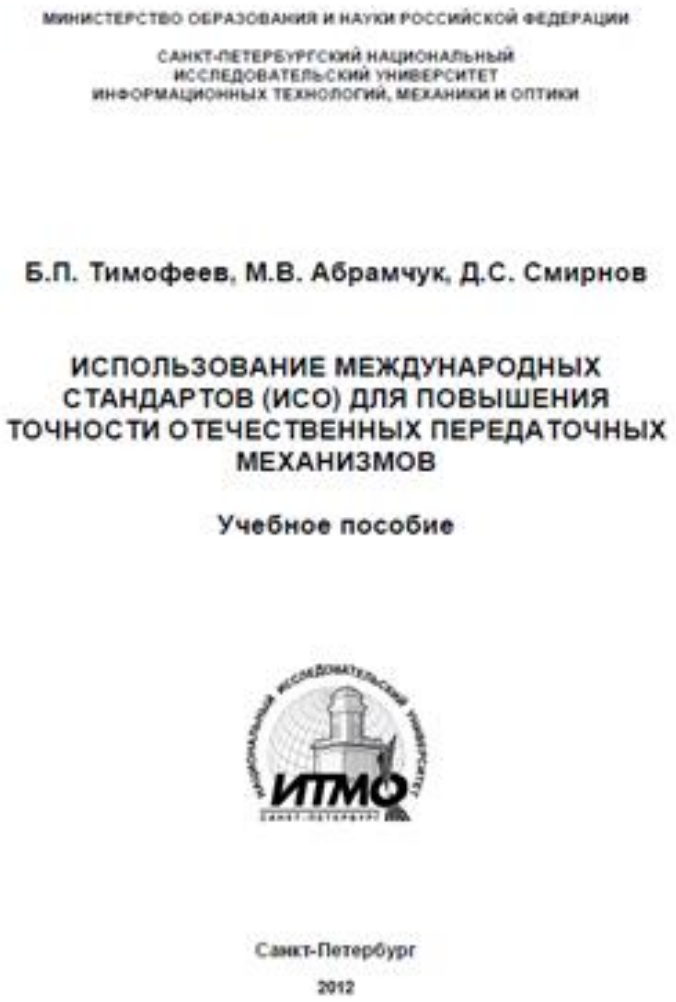
Если взять для анализа наиболее распространенный **ГОСТ 1643-81**, то он, несмотря на устарелость некоторых положений (все таки не обновлялся 40 лет) и отсутствие рекомендаций по применению современных методов измерений параметров зубчатых колес (в т. ч. координатных), обладает целым рядом достоинств:

1. Введенное в ГОСТ 1643-81 положение о разделении норм точности на 3 группы (***нормы кинематической точности, нормы плавности, нормы контакта***), дополняемых ***видами сопряжений*** (которые определяют требования к боковому зазору и по сути являются четвертой нормой точности) позволяет с высокой эффективностью учесть условия работы той или иной передачи.
2. Каждая норма точности зубчатого колеса, а также вид сопряжения по боковому зазору имеют несколько измеряемых параметров, которые являются равноправными. Нормы точности стандарта ГОСТ 1643-81 включают в себя поэлементные показатели (объединённые в комплексы) и комплексные показатели точности зубчатых колёс и передач. Завод-изготовитель может **выбирать измеряемые параметры** в зависимости от условий работы передачи, их степени точности, а главное, **исходя из имеющихся в наличие или существующих в промышленности средств контроля**. Всегда существует **вариант выбора комплекта не дорогих средств измерения**.

© Сурков И.В.

1.2. Базовые стандарты для нормирования точности геометрических параметров зубчатых колес и передач. Сравнительный анализ российских и международных стандартов.

[Б.П. Тимофеев, М.В. Абрамчук, Д.С. Смирнов. Использование международных стандартов (ИСО) для повышения точности отечественных передаточных механизмов. Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2012. - 92 с.]



3. В отличие от ГОСТ 1643-81 в ISO 1328 (ч. 1 и 2) и национальных стандартах большинства других стран нет деления на нормы точности зубчатых колес, приведены обязательные для контроля поэлементные и комплексные параметры и их степени точности, допуска которых сильно отличаются от соответствующих степеней точности ГОСТ 1643-81.

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 (части 1 и 2) новый стандарт можно обоснованно возразить: Принудительный и быстрый перевод Российской промышленности на **обязательное** применение международной нормативной базы 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. Особенно болезнено это будет для небольших машиностроительных предприятий. **Компромисс: не отменяя ГОСТ 1643-81 ввели ГОСТ ISO 1328-1-2017 (ISO 1328-1:2013).**

© Сурков И.В.

ГОСТ 1643-81. Основные измеряемые параметры цилиндрических зубчатых колес

ГОСТ 1643-81 распространяется на эвольвентные цилиндрические зубчатые колёса и зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления с прямозубыми, косозубыми и шевронными зубчатыми колёсами с делительным диаметром до 6300 мм, шириной зубчатого венца или полушеврона до 1250 мм, модулем зубьев от 1 до 55 мм.

ГОСТ 1643-81 устанавливает 12 степеней точности зубчатых колёс и передач, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12. Для степеней точности 1 и 2 допуски и предельные отклонения не даются. Эти степени предусмотрены для будущего развития. Для каждой степени точности зубчатых колёс и передач устанавливаются нормы: **кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев** зубчатых колёс в передаче.

Независимо от степеней точности устанавливают **виды сопряжений**, которые определяют требования к **боковому зазору**. ГОСТ 1643 устанавливает для зубчатых колес и передач с модулем больше 1 мм шесть видов сопряжений и восемь видов допуска гарантированного бокового зазора $j_{n\,min}$

Нормы	Измеряемый параметр	Обозначение	Степень точности	Номинальный модуль, мм
Кинематической точности	Кинематическая погрешность	F'_{ir}	3–8	1…25
	Накопленная погрешность шага колеса	F_{Pr}	3–8	1…25
	Накопленная погрешность k шагов	F_{Pkr}	3–8	1…25
	Радиальное биение зубчатого венца	F_{rr}	3–12	1…55
	Колебание длины общей нормали	F_{vWr}	3–8	1…40
	Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса	F''_{ir}	5–12	1…16
Плавности работы	Местная кинематическая погрешность колеса	f'_{ir}	3–8	1…25
	Погрешность профиля зуба	f_{fr}	3–8	1…25
	Отклонение шага зацепления	f_{Pbr}	3–12	1…55
	Отклонение шага	f_{Ptr}	3–12	1…55
	Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	f''_{ir}	5–12	1…16
Контакта зубьев	Погрешность направления зуба	$F_{\beta r}$	3–12	1…55
	Суммарное пятно контакта	–	3–11	1…55
Бокового зазора	Гарантированный боковой зазор	$j_{n_{min}}$	3–12	1…55
	Наименьшее отклонение толщины зуба	E_{CS}	3–12	1…55

© Сурков И.В.

ГОСТ 1643-81. Контрольные комплексы для зубчатых колес

Нормы точности стандарта ГОСТ 1643-81 включают в себя поэлементные показатели (объединённые в комплексы) и комплексные показатели точности зубчатых колёс и передач.

Для полной оценки точности геометрических параметров зубчатых колес необходимо обеспечить их контроль по всем нормам (с использованием показателей кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев и бокового зазора в передаче). С этой целью разработаны и регламентированы стандартом так называемые **контрольные комплексы показателей**, обеспечивающие проверку соответствия зубчатого колеса всем установленным нормам.

№ комплекса	1	2	3	4	5	6	7
Виды норм точности	Показатели, включенные в комплекс для степеней точности						
	3–8	3–8	3–8	3–8	7–12	5–12	5–12
кинематической точности	F'_i	F_p и F_{pk}	F_r и F_{vW}	F_r и F_c	F_r	F''_i и F_{vW}	F''_i и F_c
плавности работы	f'_i	f_{zk} или f_{zz} или f_{pb} и f_f или f_{pb} и f_{pt}					f''_i
контакта зубьев	F_β или F_k или ***пятно контакта***						
бокового зазора	E_{Hc} или T_H или E_{Wms} и T_{Wm} или E_{Ws} и T_W						

© Сурков И.В.

ГОСТ 1643-81. Контрольные комплексы для зубчатых колес

Каждый из контрольных комплексов устанавливает показатели, необходимые для контроля зубчатого колеса по всем назначенным нормам точности, причем все стандартные комплексы равноправны. Для контроля каждой из норм точности может быть выбран либо комплексный показатель, либо частный комплекс, характеризующий именно эту норму точности. Например, в контрольный комплекс может входить комплексный показатель кинематической точности F'_{ir}, либо частные комплексы из элементарных показателей кинематической точности F_{pr} и F_{pkr}, либо F_{rr} и F_{vWr}. Показатели точности зубчатых колес и передач есть реальные значения, получаемые в ходе измерительного контроля (об этом свидетельствует буква ***r*** в конце подстрочного индекса). Установленные стандартом нормы (предельно допустимые значения или допуски) для зубчатых колес или передач с соответствующими номинальными параметрами и определенной степени точности обозначаются такими же литерами с индексами, но без последней в индексе буквы ***r***, например, F'_i, F_p, F_{pk}, F_r, F_{vW}.

Выбор метода контроля зависит от технологии производства зубчатых колес и состояния зубообрабатывающего оборудования. Согласно положению стандарта *если изготовитель существующей системой контроля технологического процесса обеспечивает требуемую точность изготовления и сборки зубчатых колес, непосредственный их контроль, а также контроль передач по всем показателям установленного контрольного комплекса не являются обязательными.*

Если зубчатые колеса по точности соответствуют требованиям установленных норм, контроль зубчатой передачи в сборе необязателен; если собранная передача по точности отвечает требованиям назначенных норм, контроль точности зубчатых колес не является необходимым.

© Сурков И.В.

ГОСТ 1643-81. Контрольные комплексы для зубчатых колес

Главное преимущество ГОСТ 1643-81 (по сравнению со стандартами ISO, в которых приведен **обязательный** для измерения перечень параметров) это то, что завод-изготовитель может **выбирать измеряемые параметры** в зависимости от условий работы передачи, их степени точности, а главное, **исходя из имеющихся в наличие или существующих в промышленности средств контроля**. Всегда существует **вариант выбора комплекта не дорогих средств измерения**.

Каждый из контрольных комплексов устанавливает показатели, необходимые для контроля зубчатого колеса по всем назначенным нормам точности, причем все стандартные комплексы **равноправны**. Правда в технической литературе описаны случаи, когда применение разных контрольных комплексов у Изготовителя зубчатого колеса (окончательный приемочный контроль) и Заказчика (входной контроль) приводили к спорам по оценке качественных показателей: «Годно» при приемочном контроле и «Брак» при входном. Такие случаи не многочислены и могут быть решены за счет введения **согласованной** методики контроля, т.к. **приоритета** ни у одного из контрольных комплексов **нет**.

При выборе контрольного комплекса для готовых зубчатых колес (**приемочный контроль**) следует отдавать предпочтение не частным комплексам (с поэлементным измерением параметров), а **комплексным показателям**.

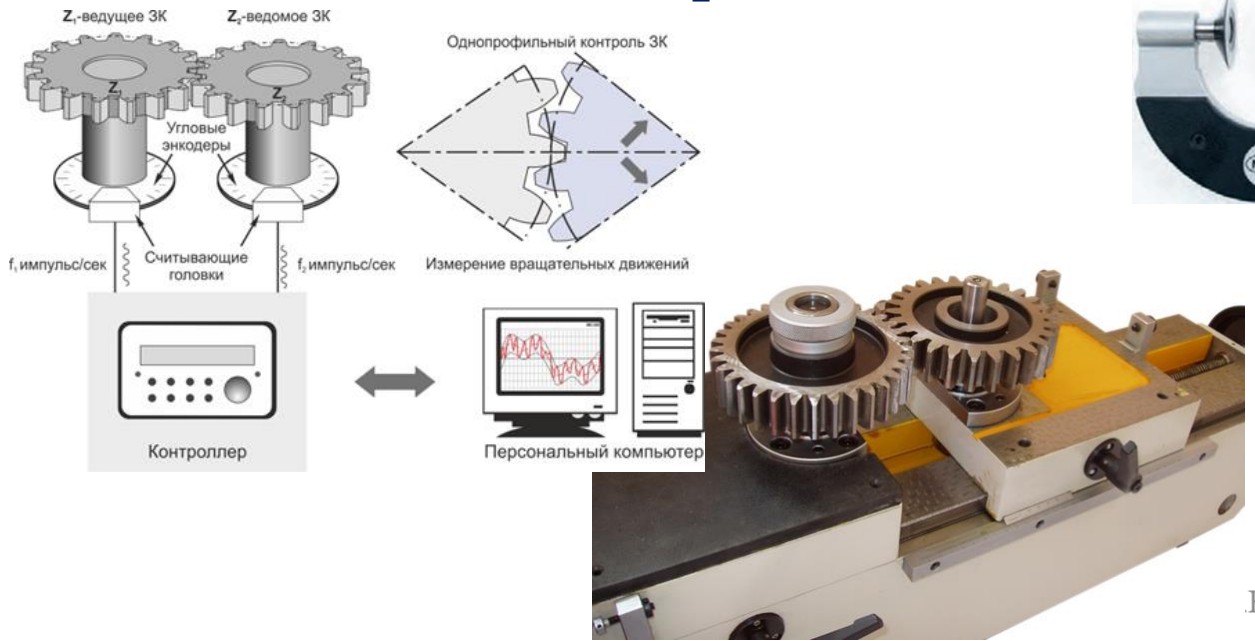
При приемочном контроле зубчатых колес в соответствии с основным следствием из принципа инверсии (необходимость соблюдения единства баз) рекомендуется использовать в качестве измерительной базы конструкторскую (монтажную) базу, т.е. поверхность, определяющую положение зубчатого колеса в собранном узле или механизме. Для соблюдения этих условий при приемочном контроле в качестве измерительной базы желательно воспроизвести рабочую ось колеса – его основную конструкторскую базу, а сам контроль осуществлять в однопрофильном зацеплении с ответным или с контрольным зубчатым колесом. Понятно, что такие требования не всегда реализуемы и их соблюдение обеспечивает возможности измерения ограниченной номенклатуры показателей. Часто используют контроль с двухпрофильным зацеплением с измерительным ЗК.

© Сурков И.В.

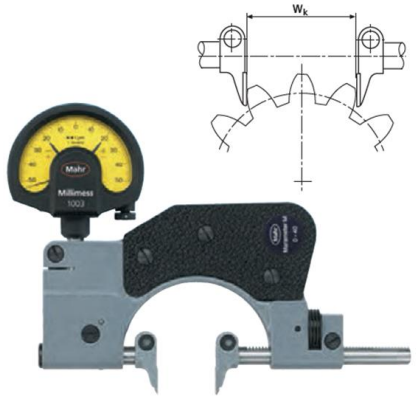
ГОСТ 1643-81. Контрольные комплексы для зубчатых колес

Поэлементный контроль геометрических показателей зубчатых колес имеет определенные достоинства. Выбор поэлементных показателей точности вместо комплексных может быть обусловлен относительной простотой и дешевизной средств измерений по сравнению с приборами для измерения комплексных показателей. Кроме того, средства измерений поэлементных показателей в ряде случаев значительно удобнее при выявлении конкретных технологических погрешностей (в том числе с целью **управления ходом технологического процесса** за счет подналадки элементов технологической системы и регулирования режимов **обработки**). Поэтому при контроле точности технологических процессов чаще выбирают поэлементные показатели (параметры), непосредственно связанные с технологическими источниками погрешностей. Поэлементные измерения показателей точности зубчатых колес можно осуществлять **непосредственно** на технологическом оборудовании или на рабочем месте около него. Некоторые параметры зубчатого колеса можно **измерять, не снимая колеса со станка**.

Комплексный контроль



Поэлементный контроль



Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

К достоинствам ГОСТ 1643-81 относят удобство нормирования показателей точности ЗК. Последовательность изложения материала, структура многочисленных таблиц, подробное описание методики расчета допусков позволяют даже неопытным инженерам провести правильное нормирование показателей точности. К недостаткам относят отсутствие в стандарте четких рекомендаций по выбору контрольных комплексов и степеней точности в зависимости от служебного назначения (функциональности) зубчатой передачи.

Основные рекомендации не стандартизированы, они приведены в технической литературе, в основном в справочниках. Согласно этим рекомендациям требования, предъявляемые к точности зубчатых передач, зависят от функционального назначения передач и условий их эксплуатации. Достаточно условно по служебному назначению выделяют **отсчетные, силовые и скоростные передачи**.

Высокая кинематическая точность нужна, прежде всего, отсчетным передачам, высокая плавность - высокоскоростным и силовым для уменьшения вредного влияния динамики, большое суммарное пятно контакта - силовым, тяжелонагруженным передачам. Наличие трех норм, тесно взаимосвязанных, позволяет полнее учесть эксплуатационные характеристики зубчатых передач.

Важно отметить, что если рассматривать всю систему стандартов ISO для проектирования зубчатых колес и передач, то в ней так же нет конкретных стандартных требований по нормированию точности на «все случаи жизни». То есть в **ISO 1328 (части 1 и 2)** тоже **нет четких рекомендаций** по выбору степеней точности в зависимости от служебного назначения (функциональности) зубчатой передачи. Эти рекомендации приводятся на уровне национальных стандартов. Наиболее развитой является система DIN (Германия).

[Антонюк В.Е. и др. Проблемы стандартизации в области зубчатых передач и некоторые результаты разработки нормативной документации. Статья-2017] На 2017 год в системе DIN применялось 64 стандарта, связанных с проектированием и производством зубчатых колес и передач.

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

К достоинствам ГОСТ 1643-81 относят удобство нормирования показателей точности ЗК. Последовательность изложения материала, структура многочисленных таблиц, подробное описание методики расчета допусков позволяют даже неопытным инженерам провести правильное нормирование показателей точности. К недостаткам относят отсутствие в стандарте четких рекомендаций по выбору контрольных комплексов и степеней точности в зависимости от служебного назначения (функциональности) зубчатой передачи.

Основные рекомендации не стандартизированы, они приведены в технической литературе, в основном в справочниках. Согласно этим рекомендациям требования, предъявляемые к точности зубчатых передач, зависят от функционального назначения передач и условий их эксплуатации. Достаточно условно по служебному назначению выделяют **отсчетные, силовые и скоростные передачи**.

Высокая кинематическая точность нужна, прежде всего, отсчетным передачам, высокая плавность - высокоскоростным и силовым для уменьшения вредного влияния динамики, большое суммарное пятно контакта - силовым, тяжелонагруженным передачам. Наличие трех норм, тесно взаимосвязанных, позволяет полнее учесть эксплуатационные характеристики зубчатых передач.

Важно отметить, что если рассматривать всю систему стандартов ISO для проектирования зубчатых колес и передач, то в ней так же нет конкретных стандартных требований по нормированию точности на «все случаи жизни». То есть в **ISO 1328 (части 1 и 2)** тоже **нет четких рекомендаций** по выбору степеней точности в зависимости от служебного назначения (функциональности) зубчатой передачи. Эти рекомендации приводятся на уровне национальных стандартов. Наиболее развитой является система DIN (Германия).

[Антонюк В.Е. и др. Проблемы стандартизации в области зубчатых передач и некоторые результаты разработки нормативной документации. Статья-2017] На 2017 год в системе DIN применялось 64 стандарта, связанных с проектированием и производством зубчатых колес и передач.

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

К достоинствам ГОСТ 1643-81 относят удобство нормирования показателей точности ЗК. Последовательность изложения материала, структура многочисленных таблиц, подробное описание методики расчета допусков позволяют даже неопытным инженерам провести правильное нормирование показателей точности. К недостаткам относят отсутствие в стандарте четких рекомендаций по выбору контрольных комплексов и степеней точности в зависимости от служебного назначения (функциональности) зубчатой передачи.

Основные рекомендации не стандартизированы, они приведены в технической литературе, в основном в справочниках. Согласно этим рекомендациям требования, предъявляемые к точности зубчатых передач, зависят от функционального назначения передач и условий их эксплуатации. Достаточно условно по служебному назначению выделяют **отсчетные, силовые и скоростные передачи**.

Высокая кинематическая точность нужна, прежде всего, отсчетным передачам, высокая плавность - высокоскоростным и силовым для уменьшения вредного влияния динамики, большое суммарное пятно контакта - силовым, тяжелонагруженным передачам. Наличие трех норм, тесно взаимосвязанных, позволяет полнее учесть эксплуатационные характеристики зубчатых передач.

Важно отметить, что если рассматривать всю систему стандартов ISO для проектирования зубчатых колес и передач, то в ней так же нет конкретных стандартных требований по нормированию точности на «все случаи жизни». То есть в **ISO 1328 (части 1 и 2)** тоже **нет четких рекомендаций** по выбору степеней точности в зависимости от служебного назначения (функциональности) зубчатой передачи. Эти рекомендации приводятся на уровне национальных стандартов. Наиболее развитой является система DIN (Германия).

[Антонюк В.Е. и др. Проблемы стандартизации в области зубчатых передач и некоторые результаты разработки нормативной документации. Статья-2017] На 2017 год в системе DIN применялось 64 стандарта, связанных с проектированием и производством зубчатых колес и передач.

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

Эти рекомендации приводятся на уровне национальных стандартов. Наиболее развитой является **система DIN** (Германия).

[Антонюк В.Е. и др. Проблемы стандартизации в области зубчатых передач и некоторые результаты разработки нормативной документации. Статья-2017] На 2017 год в системе DIN применялось 64 стандарта, связанных с проектированием и производством зубчатых колес и передач. В частности стандартизировано требование, что параметры контроля выбираются в соответствии с функциональными требованиями к зубчатой передаче и для каждой из функциональных групп имеются свои контрольные комплексы: группа G – равномерности передачи крутящего момента, группа L – плавности хода и динамической способности к нагрузкам, группа T – статической способности к нагрузкам, группа N – без специфических функциональных требований.

Система DIN имеет большое количество дополнительных стандартов по назначению модификаций профиля ЗК, фланкирования, применению различных форм зубьев, что расширяет возможности улучшения свойств передачи без существенного изменения основных параметров. Внедрение аналогичных стандартов в РФ значительно увеличит качество конструкторского проектирования. Однако внедрение всей системы необходимых стандартов потребует больших усилий и займет длительное время.

В настоящее время в РФ принят и вступил в действие **только один стандарт** для нормирования показателей точности ЗК, гармонизированный со стандартом ИСО – ГОСТ ISO 1328-1-2017. Передачи зубчатые цилиндрические. Система ISO. Классификация допусков на боковые поверхности зубьев. Часть 1. Определения и допускаемые значения отклонений на боковые поверхности зубьев зубчатого колеса. Он действует параллельно с ГОСТ 1643-81. Первоисточник (ISO 1328-1:2013, Cylindrical gears — ISO system of flank tolerance classification — Part 1: Definitions and allowable values of deviations relevant to flanks of gear teeth) издан в 2013 г. (предыдущая версия этого стандарта действовала с **1995** г).

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

В систему стандартов ISO для нормирования показателей точности ЗК кроме ISO 1328-1:2013 входит вторая часть ISO 1328-2:2020, Cylindrical gears — ISO system of accuracy — Part 2: Definitions And Allowable Values Of Double Flank Radial Composite Deviations (Передачи зубчатые цилиндрические. Система точности по ISO. Часть 2. Определения и допустимые значения двухсторонних радиальных композиционных (комплексных) отклонений). В предыдущую версию этого стандарта (**1997 г**) включались требования к радиальному биению зубчатого венца. В настоящее время требования к радиальному биению перенесены в ISO 1328-1:2013.

Большинство практических методов измерения поэлементных показателей описаны в ISO/TR 10064-1:2019. Code of inspection practice — Part 1: Inspection of corresponding flanks of gear teeth (Практическое руководство по приемке. Часть 1. Контроль соответствующих боковых поверхностей зубьев). Практические методы измерения комплексных показателей приведены в ISO/TR 10064-2:1996. Code of inspection practice — Part 2: Inspection related to radial composite deviations, runout, tooth thickness and backlash (Практическое руководство по приемке. Часть 2. Контроль, связанный с радиальными композитными (комплексными) отклонениями, биением, толщиной зуба и боковым зазором). ISO/TR – это не стандарты, а **технические отчеты**. Содержат не требования, а рекомендации.

В настоящее время из минимально необходимых для нормирования показателей точности ЗК нормативных документов ИСО в РФ принят и вступил в действие только ГОСТ ISO 1328-1-2017, что явно **не достаточно** для полноценного конструкторского проектирования и организации метрологического обеспечения производства зубчатых колес и передач.

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

В настоящее время **параллельно** действуют 2 стандарта для нормирования показателей точности зубчатых колес и передач: **ГОСТ 1643-81** и **ГОСТ ISO 1328-1-2017**.

[Б.П. Тимофеев, М.В. Абрамчук, Д.С. Смирнов. Использование международных стандартов (ИСО) для повышения точности отечественных передаточных механизмов. Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2012. - 92 с.]

«Рекомендации ISO 1328, в отличие от ГОСТ 1643-81, состоят из следующих частей (ISO 1328-1:**1995**, ISO 1328-2:**1997**), имеющих общий заголовок Передачи зубчатые цилиндрические - Система точности по ISO:

- Часть 1: Определения и допустимые значения отклонений соответствующих боковых поверхностей зацепляющихся зубьев;
- Часть 2: Определения и допустимые значения отклонений, относящихся к радиальным составным отклонениям (колебаниям измерительного межосевого расстояния), и информация по износу (радиальному биению)».

В учебном пособии проведен сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и предыдущей версии ISO 1328 (ч. 1 и 2).

Если учесть конкретные отличия новых и предыдущих версий стандарта ISO 1328, то изложенными в пособии **результатами сравнительного анализа** можно смело пользоваться. Основные отличия между версиями следующие:

— сфера применения стандартов была расширена;

— были внесены изменения в формулы, определяющие допуски для нормируемых показателей. Таблицы с допусками исключены из обеих частей стандарта, **нормирование допусков проводится исключительно расчетным методом по приведенным формулам**;

— были добавлены приложения для описания дополнительных методов анализа модифицированных профилей и направлений боковой поверхности зуба;

— **оценка биения**, которая ранее проводилась в соответствии со стандартом ISO 1328-2, была **возвращена в стандарт ISO 1328-1**.

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

[Б.П. Тимофеев, М.В. Абрамчук, Д.С. Смирнов. Использование международных стандартов (ИСО) для повышения точности отечественных передаточных механизмов. Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2012. - 92 с.]

Сравнительный анализ приведен в главе «3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ ISO 1328».

Стандарт ISO 1328 устанавливает систему точности, относящуюся к отдельным эвольвентным цилиндрическим колёсам, пары колёс не учитываются. В ISO 1328-2 отмечается, что «по соглашению между покупателем и производителем, допуски могут быть аналогично использованы для цилиндрических косозубых зубчатых колёс».

В ISO 1328 применяются ряды параметров. В первой части:

- делительный диаметр: 5 / 20 / 50 / 125 / 280 / 560 / 1 000 / 1 600 / 2 500 / 4 000 / 6 000 / 8 000 / 10 000 мм;
- модуль зубьев: 0,5 / 2 / 3,5 / 6 / 10 / 16 / 25 / 40 / 70 мм;
- ширина зубчатого венца: 4 / 10 / 20 / 40 / 80 / 160 / 250 / 400 / 650 /1 000 мм.

Во второй части, для колебаний измерительного межосевого расстояния:

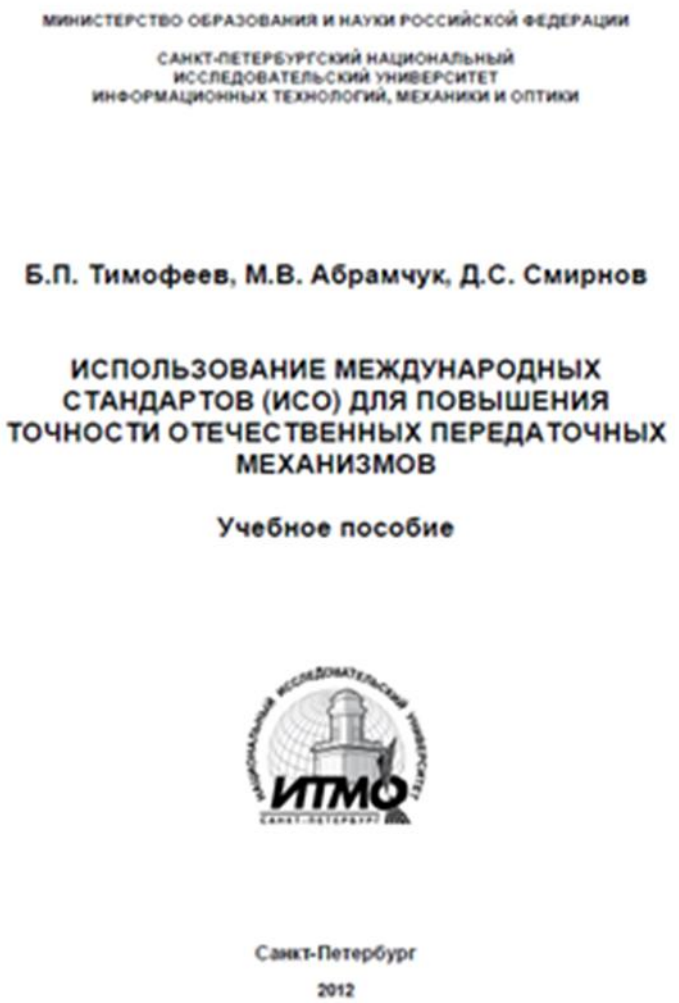
- делительный диаметр: 5 / 20 / 50 / 125 / 280 / 560 / 1 000 мм;
- модуль зубьев: 0,2 / 0,5 / 0,8 / 1 / 1,5 / 2,5 / 4 / 6 / 10 мм.

Таким образом, мы видим, что диапазон делительных диаметров d и модулей m существенно ограничен сверху, скорее всего, за счёт отсутствия приборов для измерения зубчатых колёс больших размеров.

Та же, вторая часть, для радиального биения (в последней версии перенесено в часть 1):

- делительный диаметр: 5 / 20 / 50 / 125 / 280 / 560 / 1 000 / 1 600 / 2 500 / 4 000 / 6 000 / 8 000 / 10 000 мм;
- модуль зубьев: 0,5 / 2,0 / 3,5 / 6 / 10 / 16 / 25 / 40 / 70 мм.

Ширина зубчатого венца во второй части стандарта ISO 1328 в учёт не берётся, поскольку радиальное биение может быть измерено в одной точке посередине ширины венца. Радиальное биение предполагается измерять во всём диапазоне зубчатых колёс, считающихся стандартными.


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Б.П. Тимофеев, М.В. Абрамчук, Д.С. Смирнов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ (ИСО) ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Учебное пособие

ИТМО

Санкт-Петербург

2012

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

[Б.П. Тимофеев, М.В. Абрамчук, Д.С. Смирнов. Использование международных стандартов (ИСО) для повышения точности отечественных передаточных механизмов. Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2012. - 92 с.]

Каждая часть ISO 1328 устанавливает свою структуру системы точности для зубчатых колёс. В первой части ISO 1328 отмечается, что «система точности по ISO включает в себя 13 степеней точности, где 0 - самая высокая, а 12 - самая низкая». Во второй части ISO 1328 говорится, что «система точности радиальных измерений имеет иные диапазоны степеней, чем ISO 1328-1. Ряды диаметра и модуля для радиальных составных отклонений (колебаний измерительного межосевого расстояния) и радиального биения также другие. Система точности радиальных составных отклонений (колебаний измерительного межосевого расстояния) включает в себя 9 степеней точности, где 4 - самая высокая степень, а 12 - самая низкая». Далее читаем: «определение степени точности с помощью измерения радиальных составных отклонений (колебаний измерительного межосевого расстояния) согласно этой части ISO 1328 не подразумевает, что погрешности элементов (например, шага, профиля, хода винтовой линии зуба и т.д. из ISO 1328-1) будут соответствовать той же самой степени (точности). Положения в документах относительно требуемой точности должны включать ссылку на соответствующий стандарт, ISO 1328-1 или ISO 1328-2, соответственно».

Первая часть ISO 1328 содержит допустимые значения погрешностей шага, общие погрешности профиля зуба и общие погрешности направления зуба. Вторая часть рекомендаций содержит допустимые значения колебаний измерительного межосевого расстояния и радиального биения (в последней версии стандарта перенесено в часть 1).

В ISO 1328 пункт B.1 приложения B гласит: «Так как для погрешностей формы профиля и контактной линии, а также наклона профиля зуба и наклона винтовой линий зуба допуски приводить не обязательно, то они не предусматриваются в качестве нормативных элементов в этой части ISO 1328. Однако поскольку погрешности наклона и формы имеют существенное влияние на рабочие характеристики колеса, то соответствующие значения приведены в таблицах». Радиальное биение во второй части ISO 1328 также не является нормативной величиной и носит информационный характер.

В ISO 1328 многие погрешности определяются частью профиля зуба до начала модифицированного участка. В ГОСТ 1643-81 модификация профиля не оговорена.

Стандарт ISO 1328-2 содержит определение зубчатого колеса механизма и требования к измерительному зубчатому колесу. В частности, пункт 5.5 : «При использовании измерительного колеса с цилиндрическими косозубыми колёсами, ширина зубчатого венца измерительного колеса должна быть такой, чтобы коэффициент осевого перекрытия ε_β, в сравнении с зубчатым колесом механизма, был меньше или равен 0,5».

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

[Б.П. Тимофеев, М.В. Абрамчук, Д.С. Смирнов. Использование международных стандартов (ИСО) для повышения точности отечественных передаточных механизмов. Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2012. - 92 с.]

Нормы кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев в ISO 1328 не устанавливаются. Также отсутствуют: виды сопряжений зубчатых колёс в передаче, виды допуска на боковой зазор, классы отклонения межосевого расстояния, нормы бокового зазора. Боковой зазор упоминается в первой части ISO 1328 среди требований для проверки степени точности кинематической погрешности.

В дальнейшем вопрос контроля бокового зазора рассматривается в отдельном стандарте, **техническом отчёте ISO/TR 10064-2:1996**. Рекомендации стандарта ISO/TR 10064-2 не связывают величину зазора и её нормирование ни с видом сопряжения, ни с видом допуска на боковой зазор, ни с классом отклонения межосевого расстояния. Однако требуют обязательного учёта погрешности изготовления и монтажа незубчатых деталей передачи (корпуса, валов, подшипников и т.д.), условий работы зубчатой передачи, а также вида смазки, её загрязнения, наличия неметаллических частей колёс и других элементов. При этом всё говорящееся в данном документе носит рекомендательный характер.

В первом пункте Приложении А стандарта ISO/TR 10064-2 даётся метод выбора допусков на толщину зуба колёс и минимального бокового зазора. Кроме того, приводятся метод расчёта максимального предполагаемого бокового зазора в зубчатом зацеплении и рекомендуемые величины минимального бокового зазора.

Во втором пункте Приложения А даётся определение бокового зазора и приводится обоснование необходимой его величины. Также говорится, что «боковой зазор в зацеплении изменяется в процессе функционирования передачи вследствие изменения скорости вращения колес, температуры, нагрузки и т.д.»

Третий пункт Приложения А стандарта ISO/TR 10064-2 называется «Максимальная толщина зуба колеса». В нём даётся определение этого понятия. Также приводятся рекомендации по определению максимальной и минимальной толщины зуба.

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

[Б.П. Тимофеев, М.В. Абрамчук, Д.С. Смирнов. Использование международных стандартов (ИСО) для повышения точности отечественных передаточных механизмов. Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2012. - 92 с.]

В четвертом пункте Приложения А, имеющем заголовок «Минимальный боковой зазор» даётся определение минимального бокового зазора и описывается необходимость его наличия - «это так называемый традиционный «допуск на боковой зазор», который создается конструктором, чтобы компенсировать:

(а) погрешности корпуса и подшипников, прогибы валов;

(б) несоосность осей колес вследствие погрешностей корпуса и зазоров в подшипниках;

(в) перекос осей вследствие погрешностей корпуса и зазоров в подшипниках;

(г) погрешности монтажа, такие как эксцентриситет валов;

(д) биения опор;

(е) температурные воздействия (функция разности температуры между корпусом и элементами колеса, межосевого расстояния и разница по материалам);

(ж) увеличение центробежной силы вращающихся элементов;

(з) другие факторы, такие как загрязнение смазки и увеличение в размерах неметаллических частей колеса».

Еще один документ, который тесно связан с ISO 1328 - это **технический отчёт ISO/TR 10064-4**. В нем содержатся рекомендации по вопросу измерения шероховатости поверхности и контролю пятна контакта. Пятна контакта используют в качестве количественной и качественной меры оценки поверхности зубьев колеса. Объясняются методы получения и анализа пятен контакта - условия проверки, состав и марка применяемой краски, калибровка, запись результатов проверки и т.д. Также приводится руководство по оценке точности зубчатой передачи по пятнам контакта.

Ещё раз нужно отметить, что положения ISO/TR 10064-2 и ISO/TR 10064¬4 носят **рекомендательный характер**, строгих требований по нормированию в них не содержится.

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

Из **ГОСТ ISO 1328-1-2017**:

«4.2 Контролируемые геометрические параметры

Геометрические параметры зубчатых колес, перечисленные таблице 3. могут быть измерены различными методами. Выбор метода зависит от величины допуска связанной с ним погрешности измерения, размера зубчатого колеса, объемов выпуска, доступного оборудования, точности заготовок зубчатых колес и стоимости измерений. Методы измерения для прямозубых и косозубых зубчатых колес рассмотрены в **ISO/TR 10064-1**».

В **ГОСТ 1643-81** методы измерения приведены в Приложении к стандарту.

Таблица 3 — Параметры и разделы, содержащие определения и значения допусков

Параметр	Описание	Раздел для определения значения допуска	Раздел, содержащий описание
Основные:			
F_p	Общая накопленная погрешность шага	5.3.2	3.3.4
f_p	Погрешность шага	5.3.1	3.3.2
$F_{f\alpha}$	Общая погрешность профиля	5.3.3.3	3.4.2.3
$f_{f\alpha}$	Погрешность формы профиля	5.3.3.2	3.4.2.4
$f_{H\alpha}$	Погрешность наклона профиля	5.3.3.1	3.4.2.5
F_β	Общая погрешность направления зуба	5.3.4.3	3.5.2.3
$f_{f\beta}$	Погрешность формы направления зуба	5.3.4.2	3.5.2.4
$f_{H\beta}$	Погрешность наклона направления зуба	5.3.4.1	3.5.2.5
F_r	Радиальное биение	E.4	E.3
F_{pk}	Накопленная погрешность шага по сектору	D.5	D.2
f_u	Разность соседних шагов	G.2	G.1.2
Составные:			
F_{is}	Наибольшая однопрофильная кинематическая погрешность зубчатого колеса	F.1.6	Приложение F

ГОСТ ISO 1328-1—2017

Окончание таблицы 3

Параметр	Описание	Раздел для определения значения допуска	Раздел, содержащий описание
f_{is}	Местная однопрофильная кинематическая погрешность	F.1.5	F.1.5
c_p	Размер пятна контакта (см. ISO/TR 10064-4)	—	
Размеры: s	Толщина зуба (см. ISO 21771)	—	

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

ГОСТ 1643-81 предоставляет **возможность выбора из нескольких вариантов контрольных комплексов**, которые являются равноправными. В **ГОСТ ISO 1328-1-2017** приведен **обязательный** для измерения перечень параметров:

«Зубчатое колесо, которому назначена степень точности по ISO. должно отвечать всем отдельным требованиям, предъявляемым к допуску данной степени точности, как отмечено в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 содержит минимальный перечень параметров, которые должны быть проконтролированы для обеспечения соответствия настоящему стандарту. По соглашению между заводом-изготовителем и покупателем вместо стандартного может быть использован альтернативный перечень параметров. Выбор между стандартным и альтернативным перечнями зависит от наличия измерительных приборов. При контроле зубчатых колес может быть использован перечень параметров, соответствующий большей точности зубчатого колеса».

Таблица 4 — Измеряемые параметры

Диаметр, мм	Степень точности	Минимальный перечень параметров	
		Стандартный перечень параметров	Альтернативный перечень параметров
$d \le 4\,000$	10 до 11	$F_p, f_p, s, F_\alpha, F_\beta$	s, c_p[b], F_i'[a], f_i'[a]
	7 до 9	$F_p, f_p, s, F_\alpha, F_\beta$	s, c_p[b], F_{is}, f_{is}
	1 до 6	F_p, f_p, s $F_\alpha, f_{f\alpha}, f_{H\alpha}$ $F_\beta, f_{f\beta}, f_{H\beta}$	s, c_p[b], F_{is}, f_{is}
$d > 4\,000$	7 до 11	$F_p, f_p, s, F_\alpha, F_\beta$	F_p, f_p, s, ($f_{f\beta}$ или c_p[b])

Примечания

[a] В соответствии с ISO 1328-2, но только когда размер не ограничен.

[b] Критерии годности пятна контакта и методы измерения не определены в настоящем стандарте и должны быть согласованы между заводом-изготовителем и покупателем.

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

Таблица 5 — Минимальное число измерений

Обозначение	Типовой метод измерения	Минимально требуемое число измерений
Основные: F_p: Общая накопленная погрешность шага	Два измерения Одно измерение	Все зубья Все зубья
f_p: Погрешность шага	Два измерения Одно измерение	Все зубья Все зубья
F_α: Общая погрешность профиля $f_{f\alpha}$: Погрешность формы профиля $f_{H\alpha}$: Погрешность наклона профиля	Профиль	Три зуба

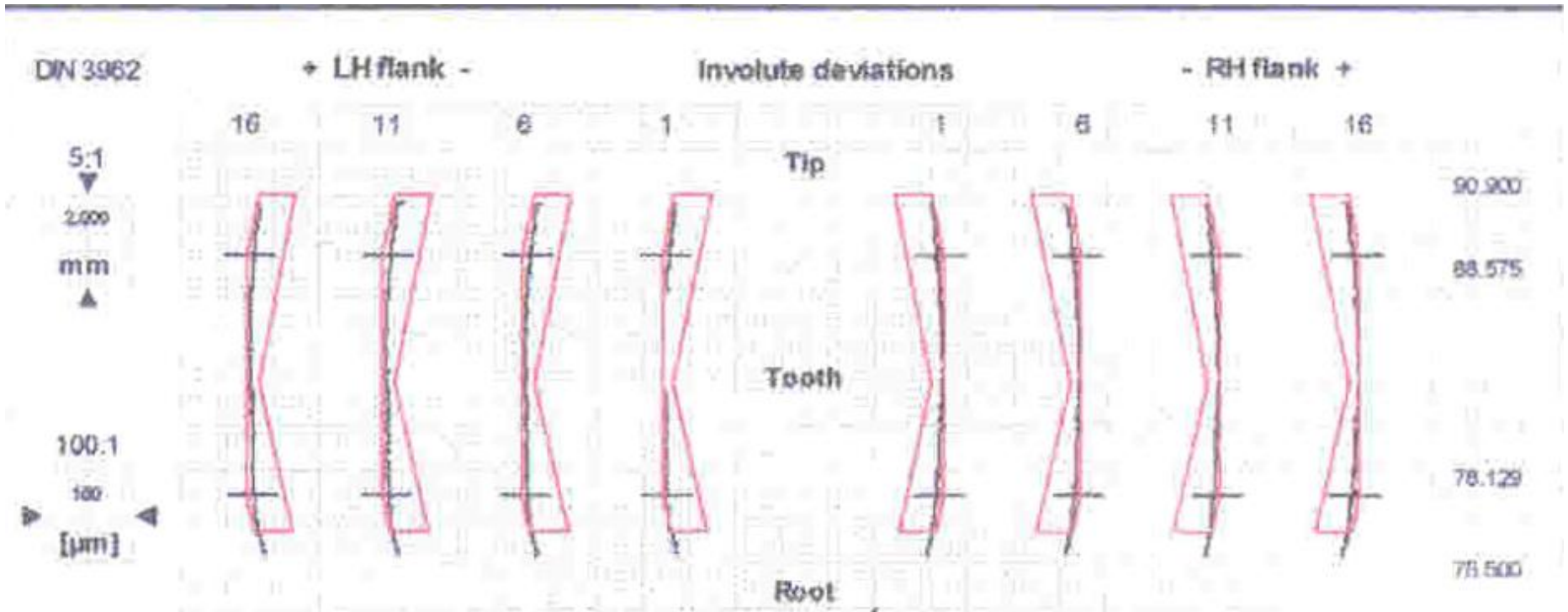
Окончание таблицы 5

Обозначение	Типовой метод измерения	Минимально требуемое число измерений
F_β: Общая погрешность направления зуба $f_{f\beta}$: Погрешность формы направления зуба $f_{H\beta}$: Погрешность наклона направления зуба	Направление зуба	Три зуба
Составные: F_{is}: Наибольшая однопрофильная кинематическая погрешность зубчатого колеса	—	Все зубья
f_{is}: Местная однопрофильная кинематическая погрешность	—	Все зубья
c_p: Размер пятна контакта	—	Три места
Размеры: s: Толщина зуба	Измерение по хорде Измерение с помощью роликов Измерение длины общей нормали Комплексный контроль	Три зуба Два места Два места Все зубья

«Если не оговорено иное, завод-изготовитель должен выбрать:

- метод измерения из числа применяемых методов, описанных в ISO/TR 10064-1 и приведенных в таблице 5:
- конкретный экземпляр измерительного оборудования, который будет использован для проведения измерения в соответствии с выбранным методом при условии, что данный экземпляр оборудования должным образом откалиброван:
- конкретные зубья, которые будут измерены, при этом они должны быть распределены по возможности равномерно, а их **количество** должно соответствовать **минимальному числу, приведенному в таблице 5**».

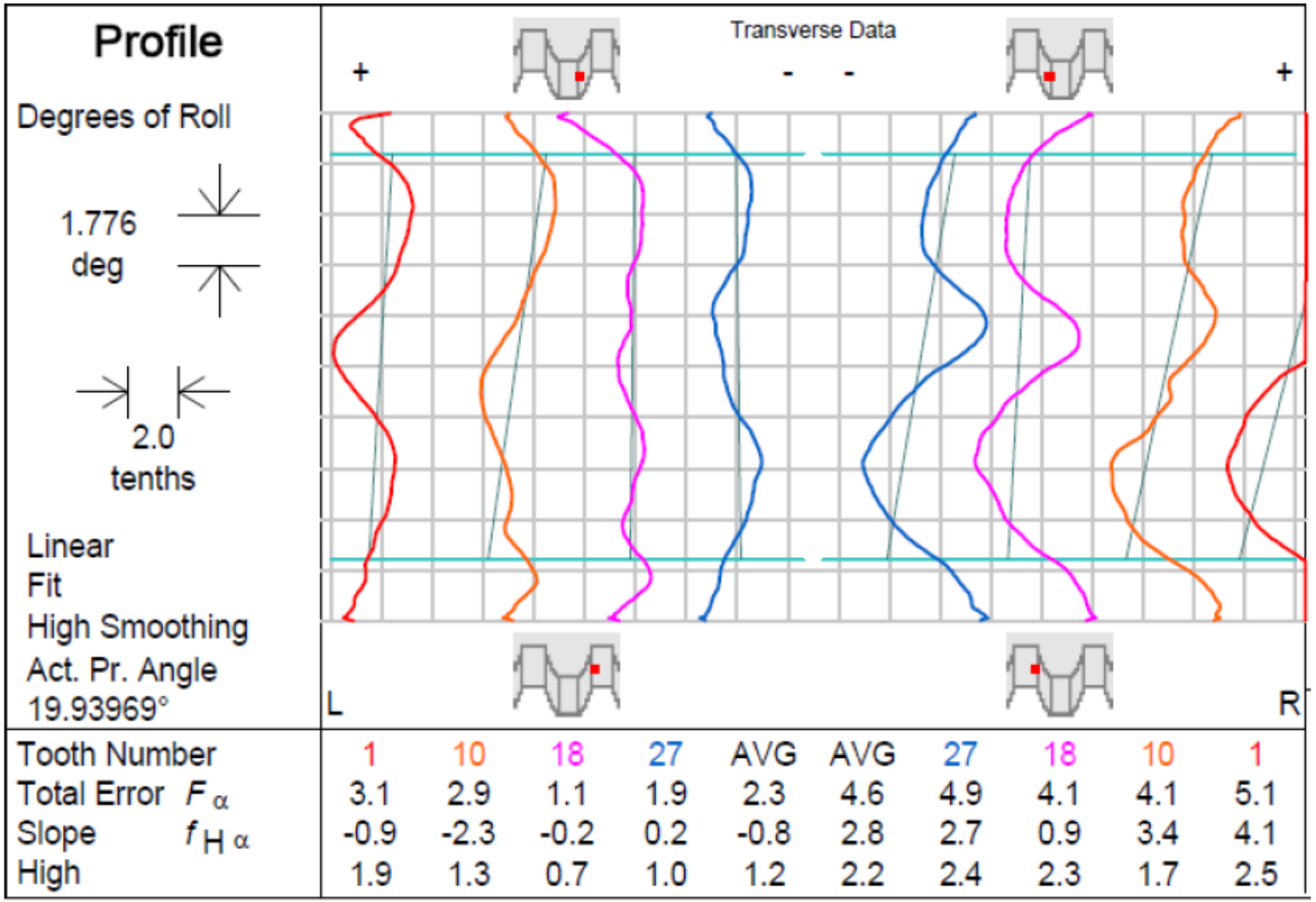
Варианты оформления диаграммы измерения профиля



Adm. value		Measured value					Measured value				
F_f	18.0 / 7										
$f_{H\alpha}$	10.0 / 7	2.1/3	-0.5/1	-1.2/1	0.2/1	0.2/3	1.4/1	-0.8/1	-1.6/2	1.8/2	0.2/2
f_f	14.0 / 7										
C_{α}											

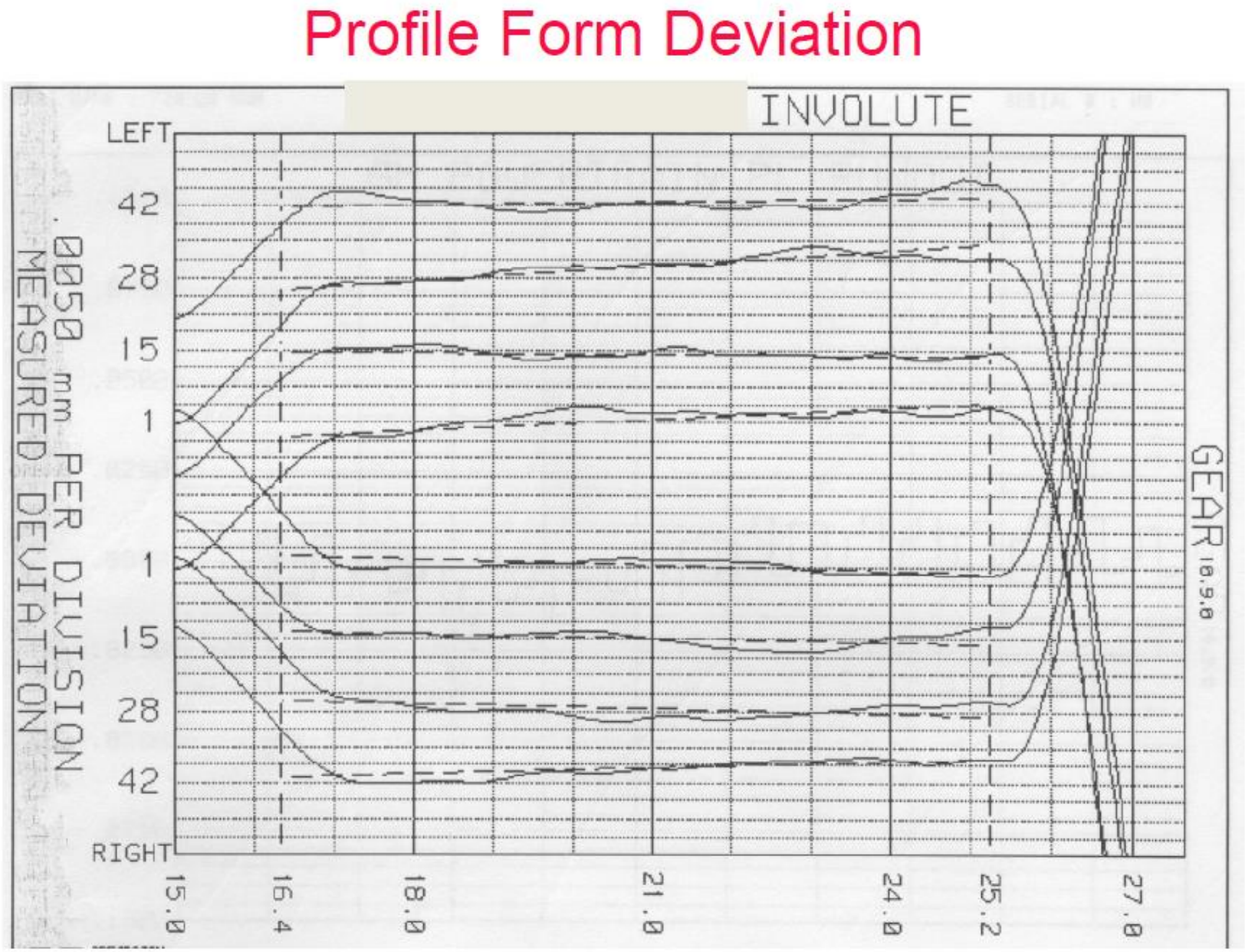
Варианты оформления диаграммы измерения профиля

Involute Form Waviness

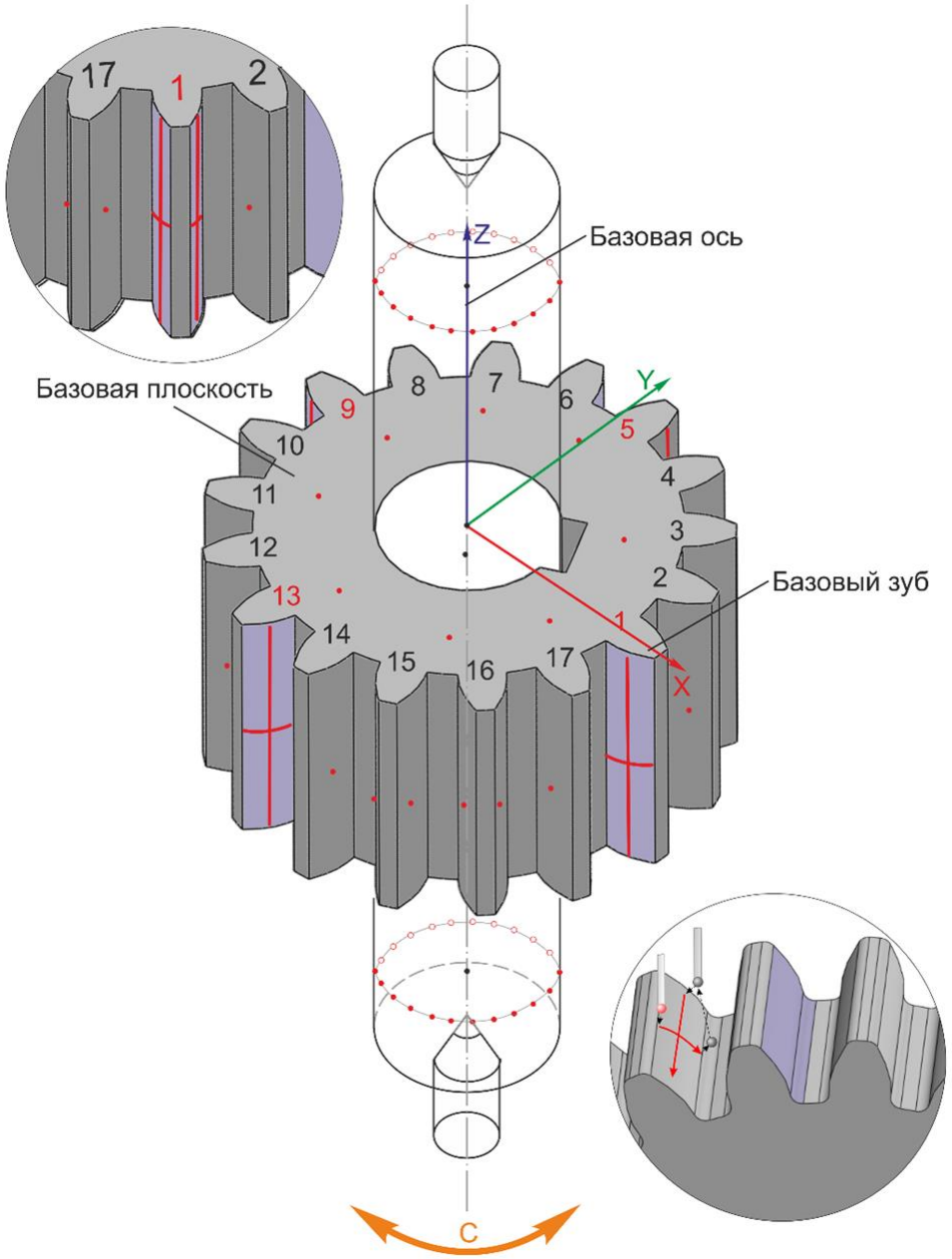


Tooth Number	1	10	18	27	AVG	AVG	27	18	10	1
Total Error F_α	3.1	2.9	1.1	1.9	2.3	4.6	4.9	4.1	4.1	5.1
Slope $f_{H\alpha}$	-0.9	-2.3	-0.2	0.2	-0.8	2.8	2.7	0.9	3.4	4.1
High	1.9	1.3	0.7	1.0	1.2	2.2	2.4	2.3	1.7	2.5

Варианты оформления диаграммы измерения профиля



Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)



Если не оговорено иное, завод-изготовитель должен выбрать:

- конкретные зубья, которые будут измерены, при этом они должны быть распределены по возможности равномерно, а их **количество** должно соответствовать **минимальному числу, приведенному в таблице 5**. Т.е. **3 зуба?**

В реально применяемом ПО для координатных измерений параметров зубчатых колес минимально измеряют **4** равномерно расположенных зуба.

Причиной является то, что базовой основой координатного метода измерений зубчатых колес у большинства производителей зубоизмерительного оборудования является серия стандартов VDI/VDE 2607-2610, 2612, 2613 (Германия):

VDI/VDE 2607 Computer-aided evaluation of profile and helix measurements on cylindrical gears with involute profile. – Dusseldorf: 2000. – 46 s.

VDI/VDE 2612 Profile and helix checking of involute cylindrical gears. – Dusseldorf: 2000. – 18 s.

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

Из ГОСТ ISO 1328-1-2017:

5.3 Формулы для расчета допусков

5.3.1 Допуск на погрешность шага f_{pT}

Допуск на погрешность шага, f_{pT}, должен рассчитываться по формуле:

$$f_{pT} = (0{,}0001d + 0{,}4m_n + 5)(\sqrt{2})^{(A-5)}. \quad (5)$$

5.3.2 Допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса (по абсолютной величине) F_{pT}

Допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса (по абсолютной величине) F_{pT} должен рассчитываться по формуле:

$$F_{pT} = (0{,}002d + 0{,}55\sqrt{d} + 0{,}7m_n + 12)(\sqrt{2})^{(A-5)}. \quad (6)$$

5.3.3 Допуски профиля

5.3.3.1 Допуск на погрешность наклона профиля $f_{H\alpha T}$

Допуск на погрешность наклона профиля $f_{H\alpha T}$ должен рассчитываться по формуле (7). Этот допуск может принимать как положительные, так и отрицательные (±) значения.

$$f_{H\alpha T} = (0{,}4m_n + 0{,}001d + 4)(\sqrt{2})^{(A-5)}. \quad (7)$$

5.3.3.2 Допуск на погрешность формы профиля $f_{f\alpha T}$

Допуск на погрешность формы профиля, $f_{f\alpha T}$, должен рассчитываться по формуле:

$$f_{f\alpha T} = (0{,}55m_n + 5)(\sqrt{2})^{(A-5)}. \quad (8)$$

5.3.3.3 Допуск на общую погрешность профиля $F_{\alpha T}$

Допуск на общую погрешность профиля $F_{\alpha T}$ должен рассчитываться по формуле (9), с использованием неокругленных значений допусков на погрешность наклона профиля и на погрешность формы профиля:

$$F_{\alpha T} = \sqrt{f_{H\alpha T}^2 + f_{f\alpha T}^2}.$$

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

Из ГОСТ ISO 1328-1-2017:

5.3 Формулы для расчета допусков

5.3.1 Допуск на погрешность шага f_{pT}

Допуск на погрешность шага, f_{pT}, должен рассчитываться по формуле:

$$f_{pT} = (0{,}0001d + 0{,}4m_n + 5)(\sqrt{2})^{(A-5)}. \quad (5)$$

5.3.2 Допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса (по абсолютной величине) F_{pT}

Допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса (по абсолютной величине) F_{pT} должен рассчитываться по формуле:

$$F_{pT} = (0{,}002d + 0{,}55\sqrt{d} + 0{,}7m_n + 12)(\sqrt{2})^{(A-5)}. \quad (6)$$

Таблица 2. Полная накопленная погрешность шага F_p

Делительный диаметр d, мм	Модуль m, мм	Степень точности										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Fp, мкм										
5<d<20	0,5<m<2	2,0	2,8	4,0	5,5	8,0	11,	16,	23,0	32,0	45,0	64
	2<m<3,5	2,1	2,9	4,2	6,0	8,5	12,	17,	23,0	33,0	47,0	66
20<d<50	0,5<m<2	2,5	3,6	5,0	7,0	10,	14,	20,	29,0	41,0	57,0	81
	2<m<3,5	2,6	3,7	5,0	7,5	10,	15,	21,	30,0	42,0	59,0	84
	3,5<m<6	2,7	3,9	5,5	7,5	11,	15,	22,	31,0	44,0	62,0	87
	6<m<10	2,9	4,1	6,0	8,0	12,	16,	23,	33,0	46,0	65,0	93
50<d<125	0,5<m<2	3,3	4,6	6,5	9,0	13,	18,	26,	37,0	52,0	74,0	10
	2<m<3,5	3,3	4,7	6,5	9,5	13,	19,	27,	38,0	53,0	76,0	10
	3,5<m<6	3,4	4,9	7,0	9,5	14,	19,	28,	39,0	55,0	78,0	11
	6<m<10	3,6	5,0	7,0	10,	14,	20,	29,	41,0	58,0	82,0	11
	10<m<1	3,9	5,5	7,5	11,	15,	22,	31,	44,0	62,0	88,0	12
	16<m<2	4,3	6,0	8,5	12,	17,	24,	34,	48,0	68,0	96,0	13
125<d<280	0,5<m<2	4,3	6,0	8,5	12,	17,	24,	35,	49,0	69,0	98,0	13
	2<m<3,5	4,4	6,0	9,0	12,	18,	25,	35,	50,0	70,0	100,	14
	3,5<m<6	4,5	6,5	9,0	13,	18,	25,	36,	51,0	72,0	102,	14
	6<m<10	4,7	6,5	9,5	13,	19,	26,	37,	53,0	75,0	106,	14

[Б.П. Тимофеев, М.В. Абрамчук, Д.С. Смирнов. Использование международных стандартов (ИСО) для повышения точности отечественных передаточных механизмов. Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2012. - 92 с.] **Материалы стандарта ISO 1328-1:1995**

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1. Погрешность шага ± f_{pt}

Делительный диаметр d, мм	Модуль m, мм	Степень точности												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		± f_{pt}, мкм												
5<d<20	0,5<m<2	0,8	1,2	1,7	2,3	3,3	4,7	6,5	9,5	13,	19,	26,0	37,0	53,0
	2<m<3,5	0,9	1,3	1,8	2,6	3,7	5,0	7,5	10,	15,	21,	29,0	41,0	59,0
20<d<50	0,5<m<2	0,9	1,2	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	10,	14,	20,	28,0	40,0	56,0
	2<m<3,5	1,0	1,4	1,9	2,7	3,9	5,5	7,5	11,	15,	22,	31,0	44,0	62,0
	3,5<m<6	1,1	1,5	2,1	3,0	4,3	6,0	8,5	12,	17,	24,	34,0	48,0	68,0
	6<m<10	1,2	1,7	2,5	3,5	4,9	7,0	10,	14,	20,	28,	40,0	56,0	79,0
50<d<125	0,5<m<2	0,9	1,3	1,9	2,7	3,8	5,5	7,5	11,	15,	21,	30,0	43,0	61,0
	2<m<3,5	1,0	1,5	2,1	2,9	4,1	6,0	8,5	12,	17,	23,	33,0	47,0	66,0
	3,5<m<6	1,1	1,6	2,3	3,2	4,6	6,5	9,0	13,	18,	26,	36,0	52,0	73,0
	6<m<10	1,3	1,8	2,6	3,7	5,0	7,5	10,	15,	21,	30,	42,0	59,0	84,0
	10<m<1	1,6	2,2	3,1	4,4	6,5	9,0	13,	18,	25,	35,	50,0	71,0	100,
	16<m<2	2,0	2,8	3,9	5,5	8,0	11,	16,	22,	31,	44,	63,0	89,0	125,
125<d<280	0,5<m<2	1,1	1,5	2,1	3,0	4,2	6,0	8,5	12,	17,	24,	34,0	48,0	67,0
	2<m<3,5	1,1	1,6	2,3	3,2	4,6	6,5	9,0	13,	18,	26,	36,0	51,0	73,0
	3,5<m<6	1,2	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	10,	14,	20,	28,	40,0	56,0	79,0
	6<m<10	1,4	2,0	2,8	4,0	5,5	8,0	11,	16,	23,	32,	45,0	64,0	90,0
	10<m<1	1,7	2,4	3,3	4,7	6,5	9,5	13,	19,	27,	38,	53,0	75,0	107,
	16<m<2	2,1	2,9	4,1	6,0	8,0	12,	16,	23,	33,	47,	66,0	93,0	132,
	25<m<4	2,7	3,8	5,5	7,5	11,	15,	21,	30,	43,	61,	86,0	121,	171,
280<d<560	0,5<m<2	1,2	1,7	2,4	3,3	4,7	6,5	9,5	13,	19,	27,	38,0	54,0	76,0
	2<m<3,5	1,3	1,8	2,5	3,6	5,0	7,0	10,	14,	20,	29,	41,0	57,0	81,0
	3,5<m<6	1,4	1,9	2,7	3,9	5,5	8,0	11,	16,	22,	31,	44,0	62,0	88,0
	6<m<10	1,5	2,2	3,1	4,4	6,0	8,5	12,	17,	25,	35,	49,0	70,0	99,0
	10<m<1	1,8	2,5	3,6	5,0	7,0	10,	14,	20,	29,	41,	58,0	81,0	115,
	16<m<2	2,2	3,1	4,4	6,0	9,0	12,	18,	25,	35,	50,	70,0	99,0	140,
	25<m<4	2,8	4,0	5,5	8,0	11,	16,	22,	32,	45,	63,	90,0	127,	180,

© Сурков И.В.

Сравнительный анализ ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

Из ГОСТ ISO 1328-1-2017:

5.3 Формулы для расчета допусков

5.3.1 Допуск на погрешность шага f_{pT}

Допуск на погрешность шага, f_{pT}, должен рассчитываться по формуле:

$$f_{pT} = (0{,}0001d + 0{,}4m_n + 5)(\sqrt{2})^{(A-5)}. \quad (5)$$

5.3.2 Допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса (по абсолютной величине) F_{pT}

Допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса (по абсолютной величине) F_{pT} должен рассчитываться по формуле:

$$F_{pT} = (0{,}002d + 0{,}55\sqrt{d} + 0{,}7m_n + 12)(\sqrt{2})^{(A-5)}. \quad (6)$$

[Б.П. Тимофеев, М.В. Абрамчук, Д.С. Смирнов. Использование международных стандартов (ИСО) для повышения точности отечественных передаточных механизмов. Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2012. - 92 с.]

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Материалы стандарта ISO 1328-1:1995

Таблица 1. Погрешность шага ± f_{pt}

Делительный диаметр d, мм	Модуль m, мм	Степень точности												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		± f_{pt}, мкм												
5<d<20	0,5<m<2	0,8	1,2	1,7	2,3	3,3	4,7	6,5	9,5	13,	19,	26,0	37,0	53,0
	2<m<3,5	0,9	1,3	1,8	2,6	3,7	5,0	7,5	10,	15,	21,	29,0	41,0	59,0
20<d<50	0,5<m<2	0,9	1,2	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	10,	14,	20,	28,0	40,0	56,0
	2<m<3,5	1,0	1,4	1,9	2,7	3,9	5,5	7,5	11,	15,	22,	31,0	44,0	62,0
	3,5<m<6	1,1	1,5	2,1	3,0	4,3	6,0	8,5	12,	17,	24,	34,0	48,0	68,0
	6<m<10	1,2	1,7	2,5	3,5	4,9	7,0	10,	14,	20,	28,	40,0	56,0	79,0
	n<2	0,9	1,3	1,9	2,7	3,8	5,5	7,5	11,	15,	21,	30,0	43,0	61,0
	<3,5	1,0	1,5	2,1	2,9	4,1	6,0	8,5	12,	17,	23,	33,0	47,0	66,0
	n<6	1,1	1,6	2,3	3,2	4,6	6,5	9,0	13,	18,	26,	36,0	52,0	73,0
	<10	1,3	1,8	2,6	3,7	5,0	7,5	10,	15,	21,	30,	42,0	59,0	84,0
	n<1	1,6	2,2	3,1	4,4	6,5	9,0	13,	18,	25,	35,	50,0	71,0	100,
	n<2	2,0	2,8	3,9	5,5	8,0	11,	16,	22,	31,	44,	63,0	89,0	125,
	<m<2	1,1	1,5	2,1	3,0	4,2	6,0	8,5	12,	17,	24,	34,0	48,0	67,0
	n<3,5	1,1	1,6	2,3	3,2	4,6	6,5	9,0	13,	18,	26,	36,0	51,0	73,0
	<m<6	1,2	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	10,	14,	20,	28,	40,0	56,0	79,0
	n<10	1,4	2,0	2,8	4,0	5,5	8,0	11,	16,	23,	32,	45,0	64,0	90,0
	m<1	1,7	2,4	3,3	4,7	6,5	9,5	13,	19,	27,	38,	53,0	75,0	107,
	m<2	2,1	2,9	4,1	6,0	8,0	12,	16,	23,	33,	47,	66,0	93,0	132,
	m<4	2,7	3,8	5,5	7,5	11,	15,	21,	30,	43,	61,	86,0	121,	171,
	<m<2	1,2	1,7	2,4	3,3	4,7	6,5	9,5	13,	19,	27,	38,0	54,0	76,0
	n<3,5	1,3	1,8	2,5	3,6	5,0	7,0	10,	14,	20,	29,	41,0	57,0	81,0
	<m<6	1,4	1,9	2,7	3,9	5,5	8,0	11,	16,	22,	31,	44,0	62,0	88,0
	n<10	1,5	2,2	3,1	4,4	6,0	8,5	12,	17,	25,	35,	49,0	70,0	99,0
	m<1	1,8	2,5	3,6	5,0	7,0	10,	14,	20,	29,	41,	58,0	81,0	115,
	m<2	2,2	3,1	4,4	6,0	9,0	12,	18,	25,	35,	50,	70,0	99,0	140,
	m<4	2,8	4,0	5,5	8,0	11,	16,	22,	32,	45,	63,	90,0	127,	180,

Предельные отклонения шага ±f_{pt} (однопрофильный контроль)

Исходные: диапазон изменения делительного диаметра d (100...1000) мм, модуль m =1,5 мм.

Таблица 6.13

Q	d=100		d=500		d=1000	
	±f_{pt} (ISO 1328)	±f_{pt} (ГОСТ 1643-81)	±f_{pt} (ISO 1328)	±f_{pt} (ГОСТ 1643-81)	±f_{pt} (ISO 1328)	±f_{pt} (ГОСТ 1643-81)
3	2,7	2,5	3,3	3,2	3,8	3,6
4	3,8	4	4,7	5	5,5	5,5
5	5,5	6	6,5	8	7,5	9
6	7,5	10	9,5	13	11	14
7	11	14	13	18	15	20
8	15	20	19	25	21	28
9	21	28	27	36	30	40
10	30	40	38	50	43	56
11	43	56	54	71	61	80
12	61	80	76	100	86	112

Выводы по результатам сравнительного анализа ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

1. В настоящее время в РФ **параллельно** действуют 2 стандарта для нормирования показателей точности зубчатых колес и передач: **ГОСТ 1643-81** и **ГОСТ ISO 1328-1-2017**. Несмотря на внешнюю схожесть терминов и обозначений стандарты имеют несколько принципиальных различий, рассмотренных выше. При оформлении конструкторской документации на зубчатые колеса и передачи необходимо **однозначно** указать ссылку на конкретный стандарт. **Не допускается частичное использование стандарта и комбинация требований из разных стандартов.**

2. ГОСТ 1643-81 не пересматривался 40 лет и сильно устарел, но при этом обладает **множеством достоинств**:

- Удобство нормирования показателей точности ЗК.
- Длительный практический опыт применения стандарта и большое число разработанных и опробованных на практике справочных и учебно-методических материалов.
- Наличие тесно взаимосвязанных трех норм показателей точности и нормы сопряжения по боковому зазору позволяет полнее учесть эксплуатационные характеристики зубчатых передач.
- Возможность выбора из нескольких вариантов контрольных комплексов, которые являются равноправными (по сравнению со стандартами ISO, в которых приведен **обязательный** для измерения перечень параметров). То есть завод-изготовитель или потребитель могут **выбирать измеряемые параметры исходя из имеющихся в наличии или существующих в промышленности средств контроля**. Всегда существует **вариант выбора комплекта не дорогих средств измерения**.

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. С другой стороны, давно назрела необходимость появления новой редакции межгосударственного (или российского) стандарта **ГОСТ (Р) 1643-20ХХ**, которая сохранив все достоинства предыдущей версии, была бы дополнена новыми показателями точности ЗК (из ISO), а так же современными методами контроля параметров ЗК, прежде всего координатными.

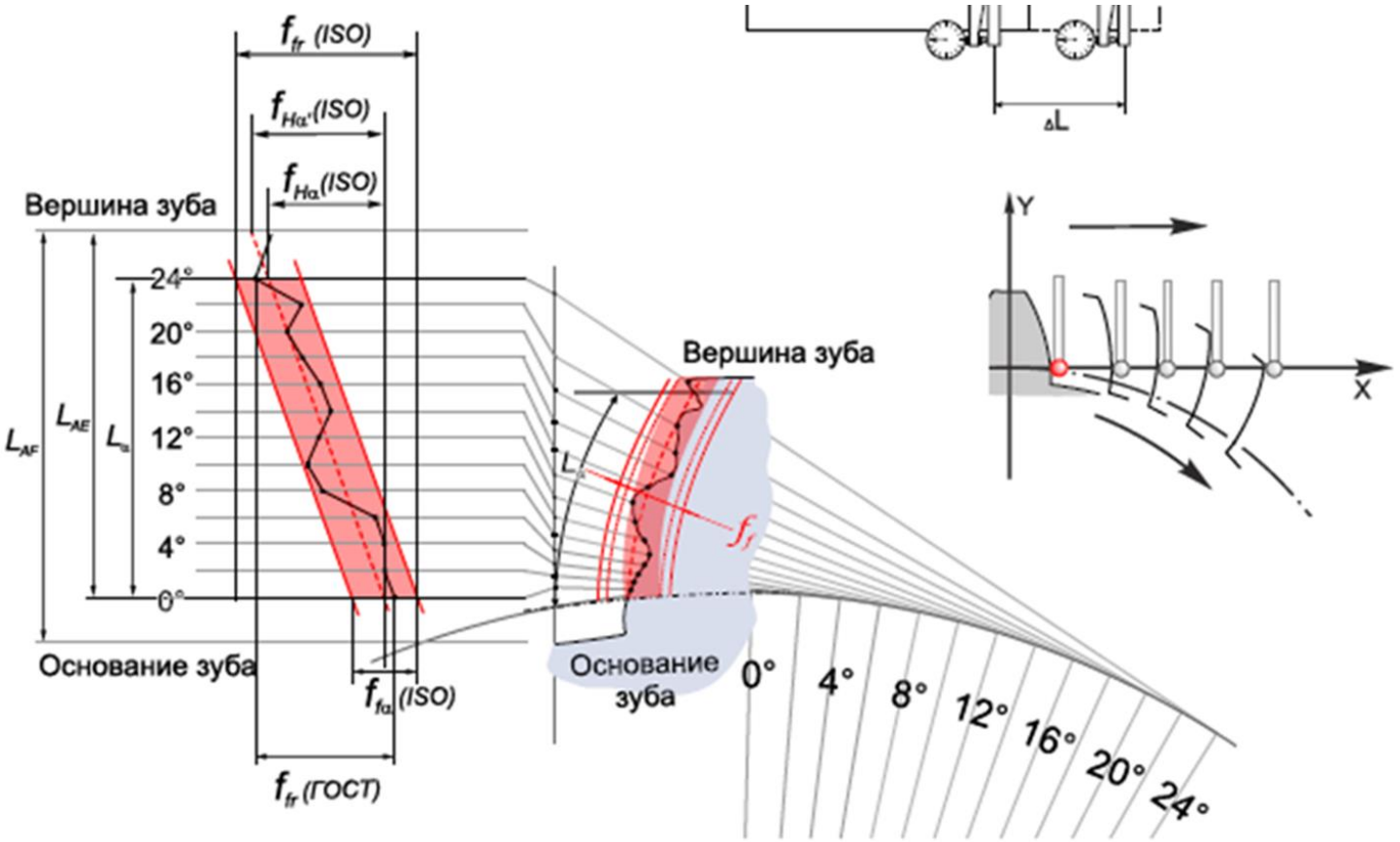
© Сурков И.В.

Выводы по результатам сравнительного анализа ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

Варианты дополнения новыми показателями точности зубчатого колеса (из ISO), а так же современными методами контроля параметров ЗК, прежде всего координатными.

Стандарт ISO 1328 содержит более детальное определение характеристик погрешности эвольвентного профиля:

- **Общая погрешность профиля F_α** *(total profile deviation F_α)*: расстояние между двумя прямыми, между которыми расположен действительный профиль на оценочном диапазоне L_α.
- **Погрешность формы профиля $f_{f\alpha}$** *(profile form deviation $f_{f\alpha}$)* – это расстояние между двумя прямыми, которые параллельны среднему профилю и расположены таким образом, что между ними лежит активный профиль на оценочном диапазоне L_α.
- **Погрешность наклона профиля $f_{H\alpha}$** *(profile slope deviation $f_{H\alpha}$)*. Расстояние между двумя следами расчетного профиля, которые пересекают след среднего профиля в конечных точках на оценочном диапазоне L_α.



Оценочный диапазон профиля L_α *(profile evaluation range L_α)* – часть полезной длины, относительно которой приведены допуски Определение оценочного диапазона профиля зависит от разработчика зубчатых колес, который отвечает за то, что бы указанный диапазон соответствовал условиям работы зубчатой передачи.

Аналогично, ввести дополнительные параметры для наклона винтовой линии зуба. Учесть, что в ISO 1328 пункт B.1 приложения B гласит: «Так как для погрешностей формы профиля и контактной линии, а также наклона профиля зуба и наклона винтовой линий зуба допуски приводить не обязательно…».

© Сурков И.В.

Выводы по результатам сравнительного анализа ГОСТ 1643-81 и ISO 1328 (части 1 и 2)

3. В настоящее время из минимально необходимых для нормирования показателей точности зубчатых колес и передач нормативных документов ИСО в РФ принят и вступил в действие только ГОСТ ISO 1328-1-2017, что явно **не достаточно** для **полноценного** конструкторского проектирования и организации метрологического обеспечения производства зубчатых колес и передач.

Для обеспечения качественного проектирования и производства зубчатых колес и передач необходимо введение в РФ гармонизированных стандартов из всей системы ISO: ISO 1328-2-2020, ISO/TR 10064 (части 1, 2,…..).

Но этих стандартов недостаточно. Как уже отмечалось система DIN имеет большое количество дополнительных стандартов для нормирования показателей точности зубчатых колес в зависимости от функционального назначения передач, а так же по назначению модификаций профиля ЗК, фланкирования, применению различных форм зубьев, что расширяет возможности улучшения свойств передачи без существенного изменения основных параметров. Внедрение аналогичных стандартов в РФ значительно увеличит качество конструкторского проектирования.

Следует провести анализ других национальных и отраслевых нормативных документов (ANSI-AGMA (США), VDI/VDE (Германия)) в области проектирования и производства зубчатых колес и передач. Эффективные и проверенные на практике положения необходимо так же учесть в разрабатываемой системе стандартов.

Однако внедрение всей системы необходимых стандартов потребует больших усилий и займет длительное время.

4. Очень необходима разработка **справочника-транслятора для перевода показателей точности зубчатых колес** по ГОСТ 1643-81 в показатели стандартов ISO 1328 и обратно.

© Сурков И.В.

«Метрологическое обеспечение процессов контроля геометрических параметров зубчатых колес и передач»

Часть 1. Традиционные средства и методы измерения геометрических параметров зубчатых колес и передач. Повышение степени автоматизации процессов контроля.

1.1. Теоретические основы измерения параметров зубчатых колес.

1.2. Базовые стандарты для нормирования точности геометрических параметров зубчатых колес и передач. Сравнительный анализ российских и международных стандартов.

Ссылка на видео.

1.3. Обзор традиционных средств и методов измерения геометрических параметров зубчатых колес.

1.4. Основные направления автоматизации процессов контроля. Учет положений концепции «Индустрия 4.0», «цифровизация измерений» для единого информационного пространства машиностроительного производства.

Часть 2. Координатные измерения геометрических параметров зубчатых колес.

2.1. Основные положения координатной метрологии.

2.2. Типовые методики координатных измерений геометрических параметров зубчатых колес (ГП ЗК).

2.3. Оборудование для координатных измерений ГП ЗК и зуборезного инструмента (ЗИ).

2.4. Специальное программное обеспечение для координатных измерений ГП ЗК и ЗИ.

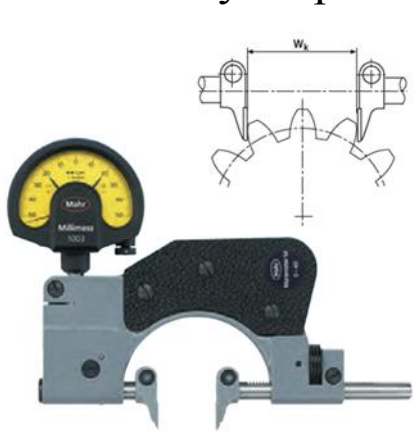
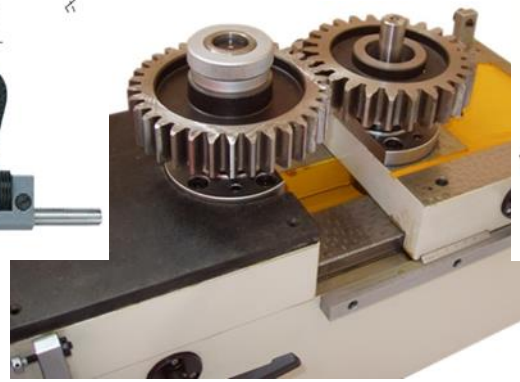
2.5. Обеспечение точности измерений ГП ЗК.

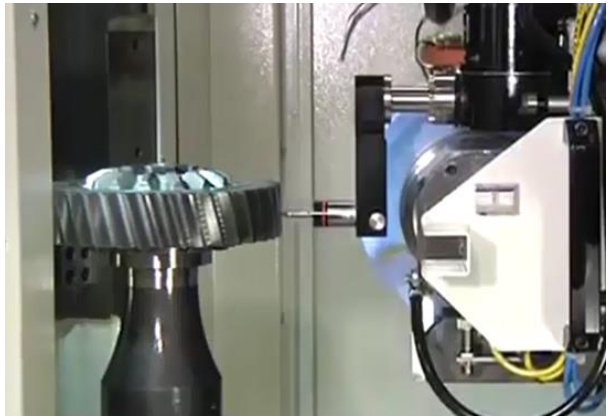
1.3. Обзор традиционных средств и методов измерения геометрических параметров зубчатых колес.

Контроль зубчатых колес служит не только для оценки качества изготовления при выпуске продукции (**приемочный контроль**), без него невозможно произвести правильную наладку и диагностику состояния зубообрабатывающего оборудования или найти нарушения технологического процесса (**поэлементный контроль для управления ходом технологического процесса или операции**).

Кратко приборы контроля линейно-угловых параметров зубчатых колес можно разделить так:

- по конструктивному исполнению: на **накладные** и **станковые**. Отдельно можно выделить приборы **встраиваемые** в технологическую систему, например: измерительная рука с контактным датчиком, установленная на зубошлифовальный станок с ЧПУ;
- по степени механизации и автоматизации: на **ручные**, **механизированные**, **автоматизированные** (от ручных с цифровым отсчетом до измерительных систем с компьютерным управлением), **автоматические**;
- по степени специализации: на **однопараметрические** и **многопараметрические**; **специальные**, **специализированные** и **универсальные**;
- по месту в производственном процессе: на приборы для **входного**, **технологического** и **приемочного** контроля.

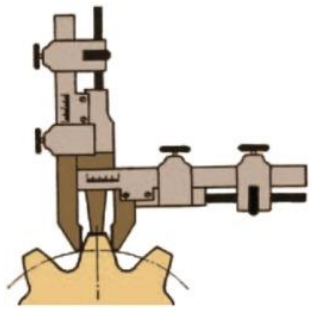


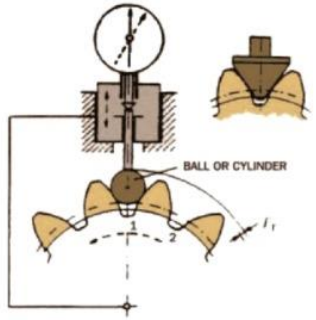
© Сурков И.В.

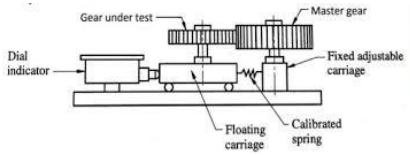
На предприятиях машиностроения и приборостроения сегодня применяется широкая номенклатура средств измерения линейно-угловых параметров зубчатых колес. В России это в основном ручные не автоматизированные средства измерения и приборы, выпущенные советскими инструментальными заводами в 60-80х годах прошлого века. Эти приборы не только морально устарели, но и в результате длительной эксплуатации потеряли свои точностные характеристики. Чаще всего **для каждого контролируемого параметра** используется **свое средство измерения** и для полной оценки требований качества зубчатого колеса **необходим** целый **комплект разнообразных приборов**. Это неудобно и потребителю и производителю (широкая номенклатура конструкций приборов, выпускаемых неритмично и единичными экземплярами).

Однако, учитывая некоторый здоровый «консерватизм» присущий большинству работников метрологических и технологических подразделений, а так же то, что часть устаревших конструкций приборов продолжает выпускаться, для начала рассмотрим наиболее распространенные на предприятиях «постсоветского пространства» **традиционные средства и методы контроля основных параметров для каждой нормы точности и сопряжения по боковому зазору**.

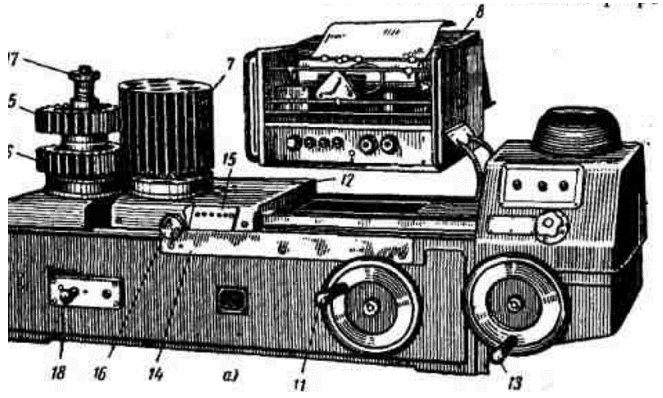
История развития традиционных средств и методов контроля началась более 150 лет назад. Первые зубоизмерительные приборы были в основном **однопараметрическими**. Внедрение каждого **нового прибора** приводило к появлению **нового нормируемого параметра**, который после некоторого периода «привыкания» часто становился **стандартным**.

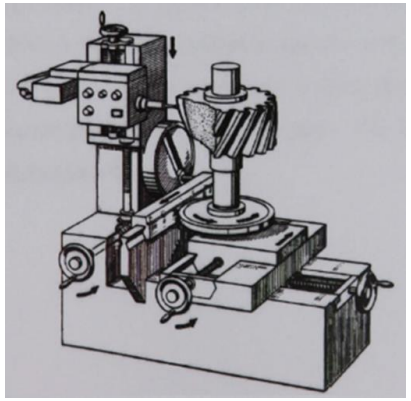






© Сурков И.В.



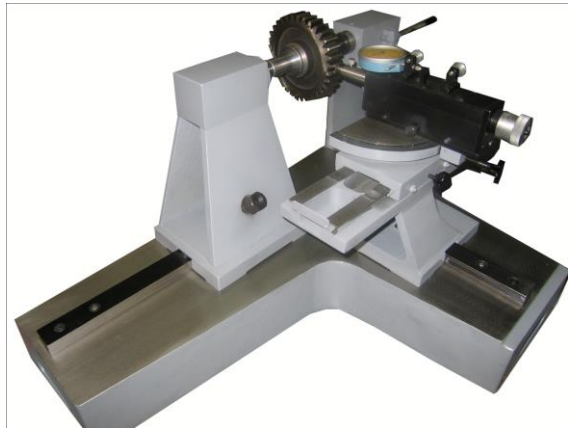


Для контроля параметров зубчатых колес применяют множество специально разработанных приборов, которые можно отнести к **традиционным**. К ним относятся кинематомеры и межосемеры, а также приборы для контроля шага (шагомеры), приборы для контроля отклонений и колебаний длины общей нормали (нормалемеры) и множество других. Как уже было отмечено, некоторые приборы (**однопараметрические**) предназначены для контроля только одного параметра (индивидуально-дисковый эвольвентомер – для контроля отклонения профиля зуба, специальный шагомер для контроля шага зацепления), другие (**многопараметрические**) позволяют контролировать несколько параметров, в том числе и относящиеся к разным нормам точности.

Межосемер (иногда встречается устаревшее название прибора – межцентромер) можно использовать для контроля колебания межосевого расстояния за оборот колеса F''_{ir} (показатель из норм кинематической точности), колебания межосевого расстояния на одном зубе f''_{ir} (показатель из частного комплекса для оценки норм плавности), отклонения межосевого расстояния от номинального E''_{as} и E''_{ai} (показатели для оценки норм бокового зазора). На этом же приборе можно проконтролировать и пятно контакта.

Хотя изучение традиционных средств и методов контроля удобно проводить в **последовательности описания норм точности в ГОСТ 1643-81**, начнем с одного из первых нормируемых параметров точности ЗК: **Измерение размера М зубчатого колеса по роликам (шарикам)**.

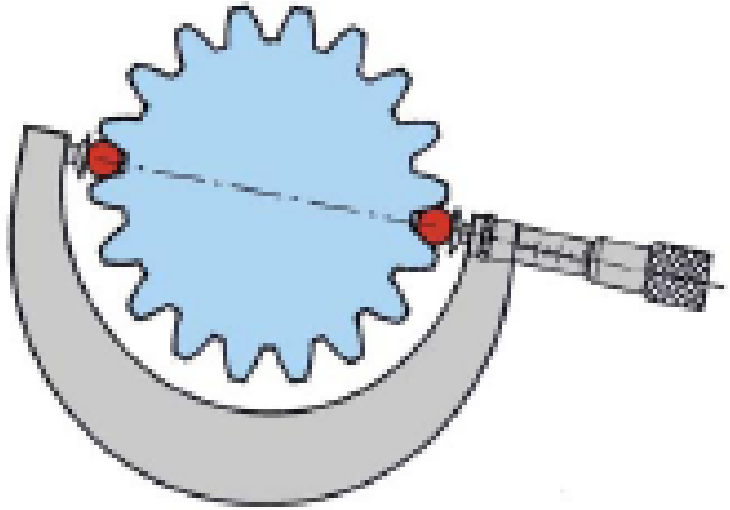
© Сурков И.В.

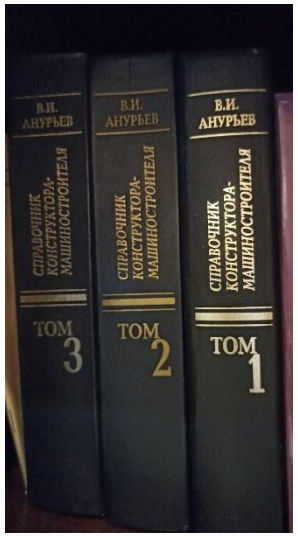


Измерение размера *M* (d_m) зубчатого колеса по роликам (шарикам)

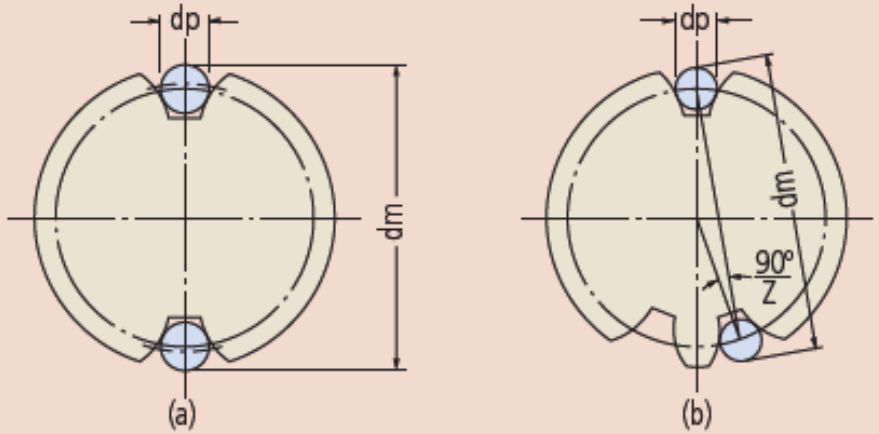
В ГОСТ 1643-81 параметр относится к требованиям к боковому зазору.

[Анурьев. Справочник конструктора-машиностроителя, т.2]





Размер по роликам



Для шестерен с чётным количеством зубьев:

$$dm = dp + \frac{dg}{\cos ø} = dp + \frac{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos ø}$$

Для шестерен с нечётным количеством зубьев:

$$dm = dp + \frac{dg}{\cos ø} \cdot \cos\left(\frac{90°}{z}\right) = dp + \frac{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0}{\cos ø} \cdot \cos\left(\frac{90°}{z}\right)$$

однако,

$$inv ø = \frac{dp}{dg} - \frac{X}{2} = \frac{dp}{z \cdot m \cdot \cos \alpha_0} - \left(\frac{\pi}{2z} - inv \alpha_0\right) + \frac{2 \tan \alpha_0}{z} \cdot X$$

Возьмите ø (invø) из таблицы эвольвент.

z : количество зубьев
α_0 : угол профиля зубьев
m : модуль
X : коэффициент смещения исходного контура

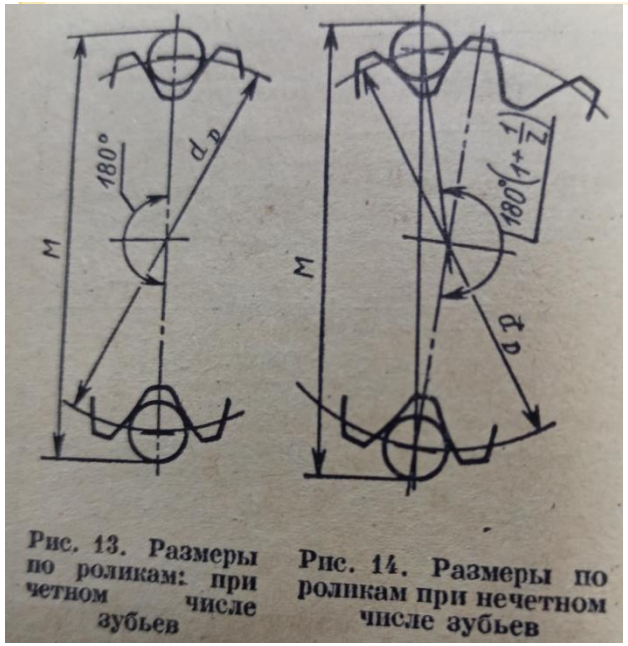
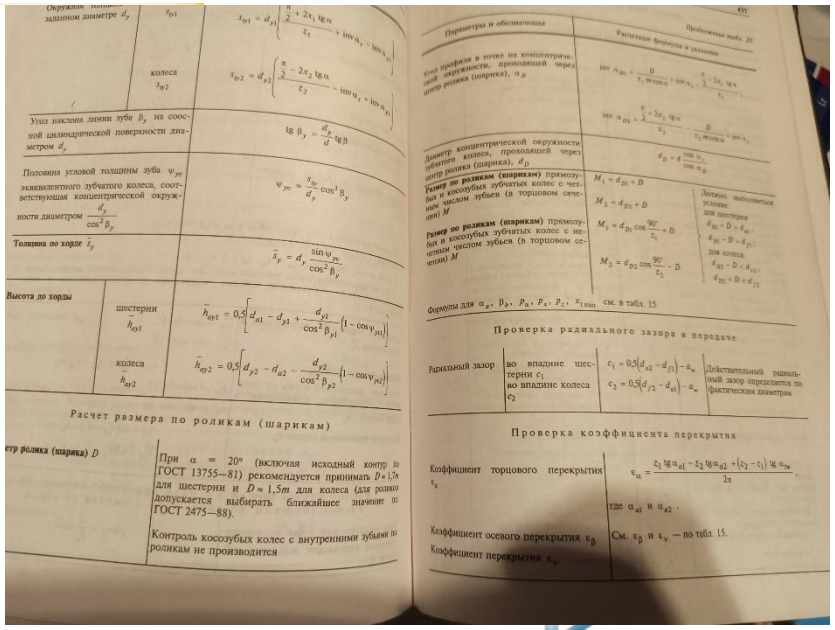


Рис. 13. Размеры по роликам: при четном числе зубьев

Рис. 14. Размеры по роликам при нечетном числе зубьев



Расчет размера по роликам (шарикам)

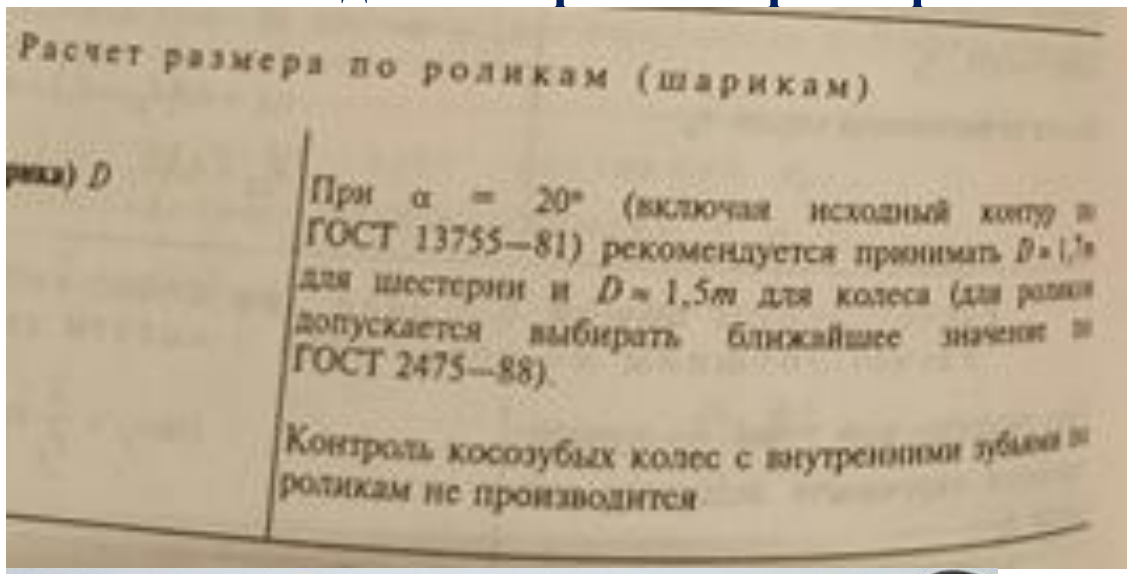
Проверка радиального зазора в передаче

Проверка коэффициента перекрытия

© Сурков И.В.

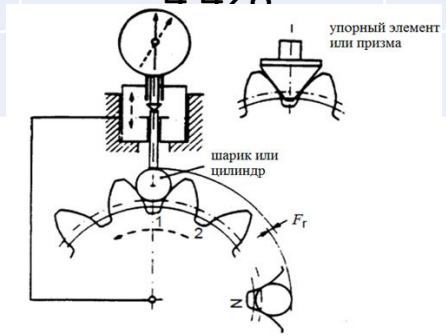
Стандартизированные диаметры роликов и сферических КЭ ИН для измерения параметров ЗК

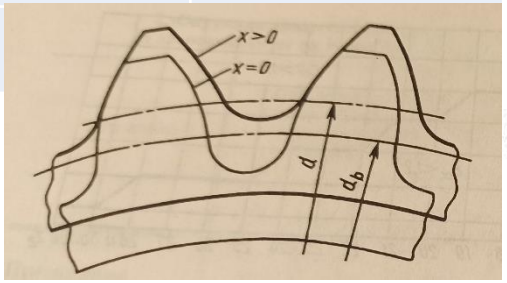
Модуль	Диаметр ролика (шарика)	Модуль	Диаметр ролика (шарика)
1,0	1,476	3,5	5,166
1,25	1,845	3,75	5,535
1,5	2,214	4,0	5,904
1,75	2,583	4,5	6,642
2,0	2,952	5,0	7,380
2,25	3,321	6,0	8,856
2,5	3,690	7,0	10,332
2,75	4,059	8,0	11,809
3,0	4,428	9,0	13,285
3,25			

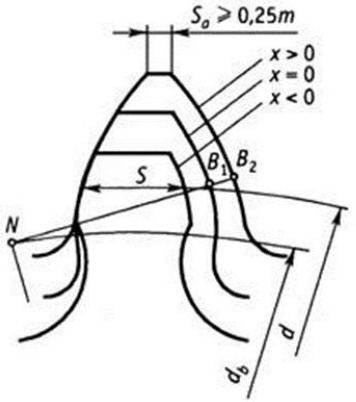

Расчет размера по роликам (шарикам)

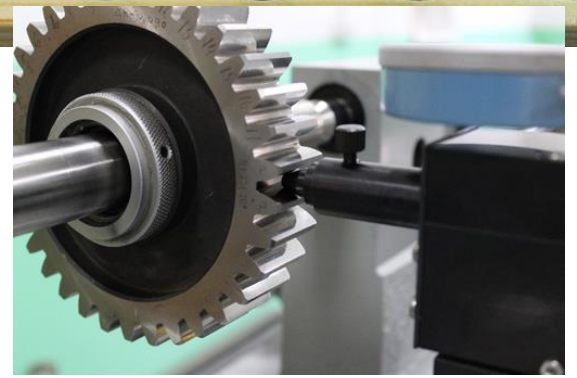
При $\alpha = 20°$ (включая исходный контур по ГОСТ 13755—81) рекомендуется принимать $D \approx 1{,}7m$ для шестерни и $D \approx 1{,}5m$ для колеса (для роликов допускается выбирать ближайшее значение по ГОСТ 2475—88).

Контроль косозубых колес с внутренними зубьями по роликам не производится

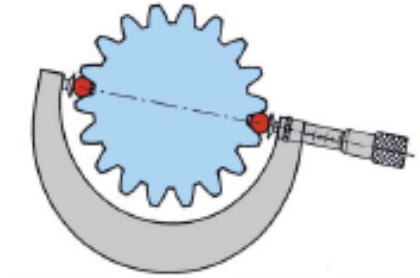


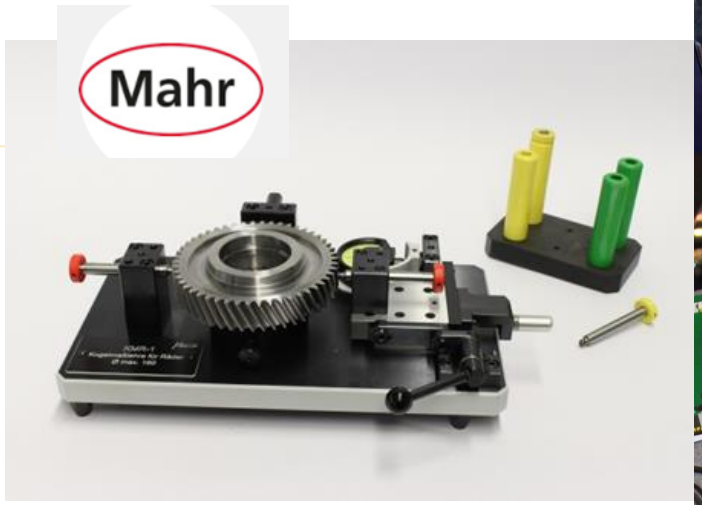


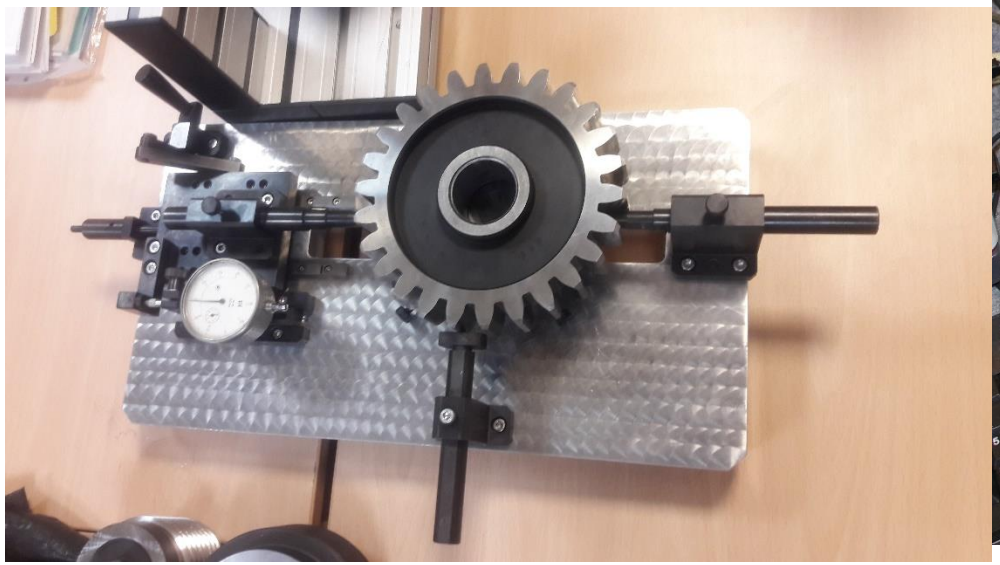




Измерение размера M зубчатого колеса по роликам (шарикам)







[Видео Mahr](#) (выставка)

© Сурков И.В.

Измерение параметров, характеризующих кинематическую точность

Наиболее полно кинематическая точность выявляется при измерении кинематической погрешности или при измерении накопленной погрешности шага.

Вместо каждого из этих параметров могут быть использованы другие комплексы контроля, содержащие требования к двум параметрам колеса, так как возникновение погрешностей кинематических перемещений за полный оборот происходит из-за погрешности кинематических перемещений элементов зуборезного станка, **(тангенциальная составляющая кинематической точности)** и из-за погрешности от неточной установки заготовки колеса относительно оси зубообрабатывающего станка **(радиальная составляющая кинематической точности).**

Годность зубчатого колеса по нормам кинематической точности может быть полностью определена при контроле радиального биения зубчатого венца (радиальная составляющая) и колебания длины общей нормали (тангенциальная составляющая).

НОРМЫ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ, МКМ

Степень точности	Обозначение	Модуль m, мм	Делительный диаметр d, мм	
			До 125	Св.125 до 400
6	F_r	Св. 3,5 до 6,3	28	40
		Св. 6,3 до 10	32	45
	F_{vw}	От 1 до 16	16	28
	F_i''	Св. 3,5 до 6,3	40	56
		Св. 6,3 до 10	45	63
7	F_r	Св. 3,5 до 6,3	40	56
		Св. 6,3 до 10	45	63
	F_{vw}	От 1 до 25	22	40
	F_i''	Св. 3,5 до 6,3	56	80
		Св. 6,3 до 10	63	90
8	F_r	Св. 3,5 до 6,3	50	71
		Св. 6,3 до 10	56	80
	F_{vw}	От 1 до 40	28	50
	F_i''	Св. 3,5 до 6,3	71	100
		Св. 6,3 до 10	80	112
9	F_r	Св. 3,5 до 6,3	80	100
		Св. 6,3 до 10	90	112
	F_i''	Св. 3,5 до 6,3	112	140
		Св. 6,3 до 10	125	160

Примечание. F_r - допуск на радиальное биение зубчатого венца; F_{vw} - допуск на колебание длины общей нормали; F_i'' допуск на колебание измерительного межосевого расстояния

© Сурков И.В.

ПОКАЗАТЕЛЬ E_{wm}, СЛАГАЕМОЕ II, МКМ

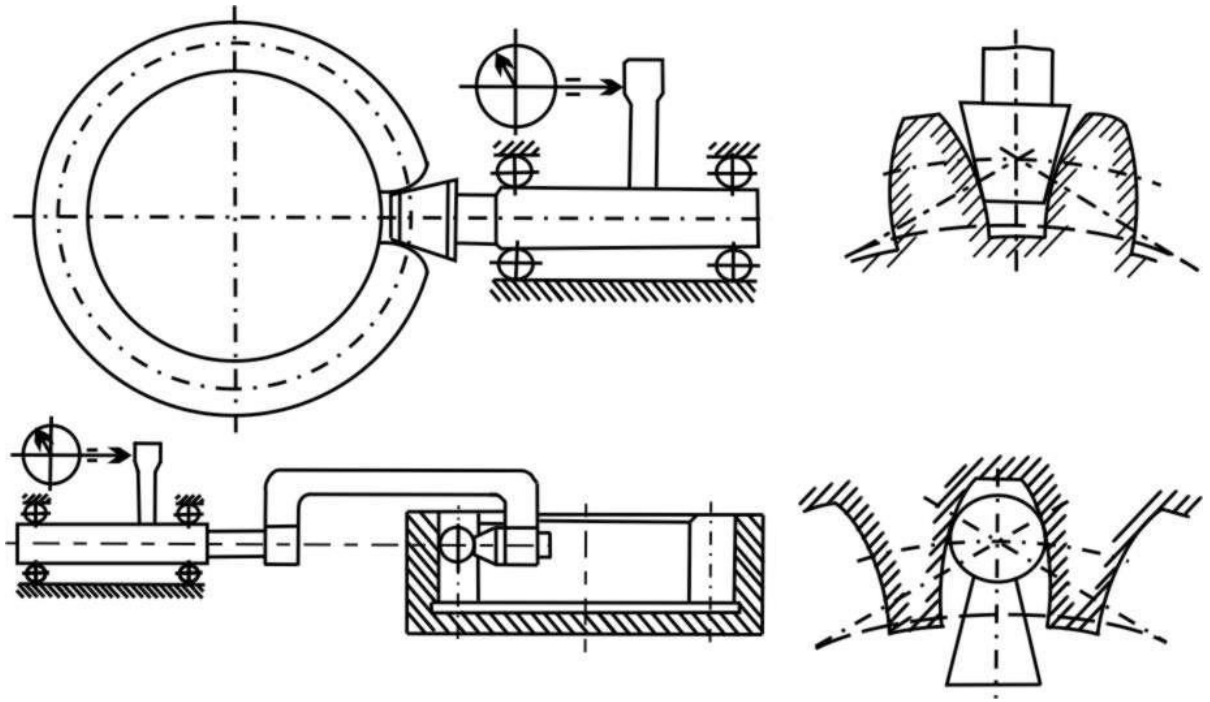
Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r, мкм					
Св.25 до 32	Св.32 до 40	Св.40 до 50	Св.50 до 60	Св.60 до 80	Св.80 до 100
7	9	11	14	18	22

ДОПУСК НА СРЕДНЮЮ ДЛИНУ ОБЩЕЙ НОРМАЛИ T_{wm}, МКМ

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r, мкм					
		Св.25 до 32	Св.32 до 40	Св.40 до 50	Св.50 до 60	Св.60 до 80	Св. 80 до 100
H, E	h	22	25	25	28	30	40
D	d	35	40	40	40	60	70
C	c	45	50	60	70	90	110
B	b	55	60	70	100	100	120
A	a	80	90	100	110	140	150

Примечание. Видам сопряжения H, E, D, C, B и A соответствует вид допуска на боковой зазор h, d, c, b и a соответственно; допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r устанавливается в соответствии с нормой кинематической точности.

Для контроля радиального биения зубчатого венца применяется прибор Б-10М, выпускаемый Челябинским инструментальным заводом (ООО НПП ЧИЗ) и ЗАО «ЧелябНИИконтроль» НИИК-1010.
Измерение радиального биения осуществляется за счет измерительных наконечников специальной формы и размера: в виде конуса с углом 40° для контроля колес внешнего зацепления и в виде шарика для колес внутреннего зацепления. Дискретно вручную поворачивая зубчатое колесо наконечник последовательно вводиться в каждую впадину. Разность положений наконечника за полный оборот колеса характеризует величину радиального биения зубчатого венца.
Дополнительно прибор может комплектоваться наладкой НИИК-1010.03 (Б-10М.03) для контроля направления контактной линии зубчатых колес.

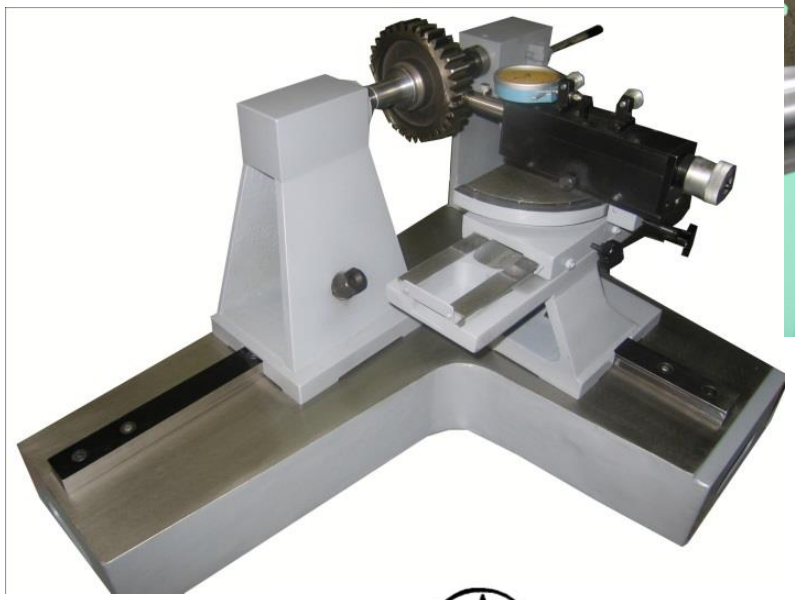


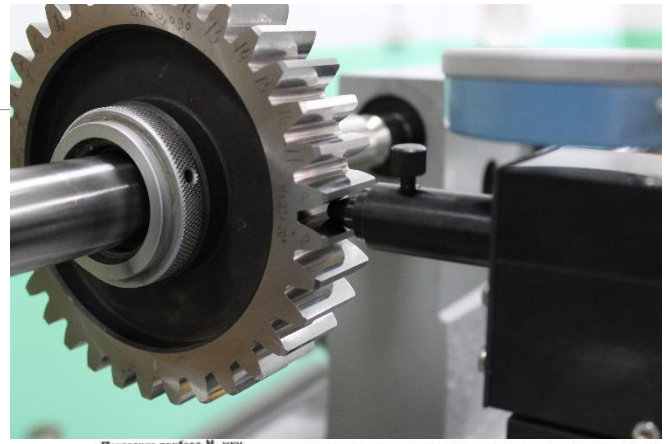
© Сурков И.В.

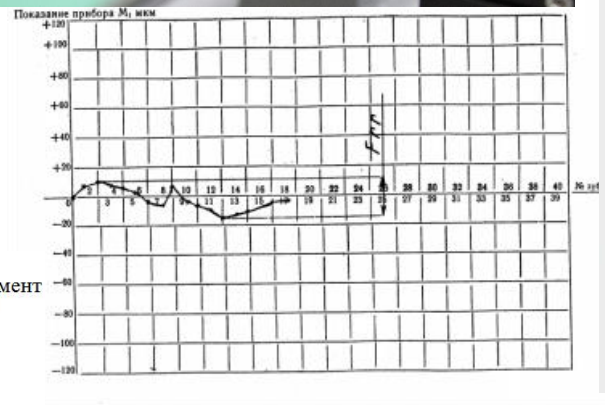
НИИК-1010 ручное измерение

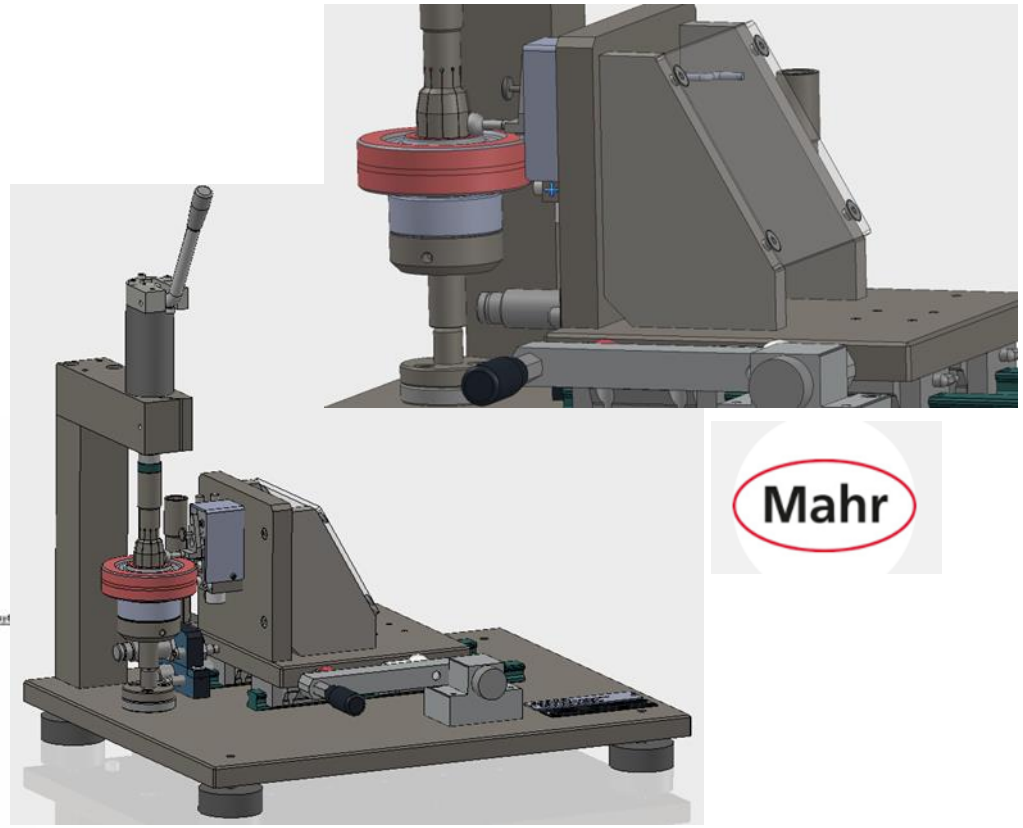
Поэлементный контроль показателей кинематической точности цилиндрических зубчатых колес

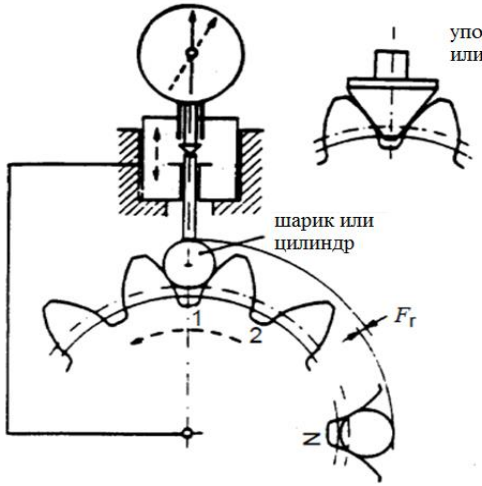
Радиальное биение зубчатого венца F_{rr} (радиальная составляющая кинематической точности)











Биение зубчатого венца можно измерить с помощью прибора НИИК-1010 или Mahr, снабженного измерительным наконечником конической формы (угол 40 град.) или с шариком, диаметр которого зависит от модуля и угла зацепления. Наконечник последовательно вводится во все впадины колеса и максимальная разность показаний принимается за радиальное биение F_{rr}.

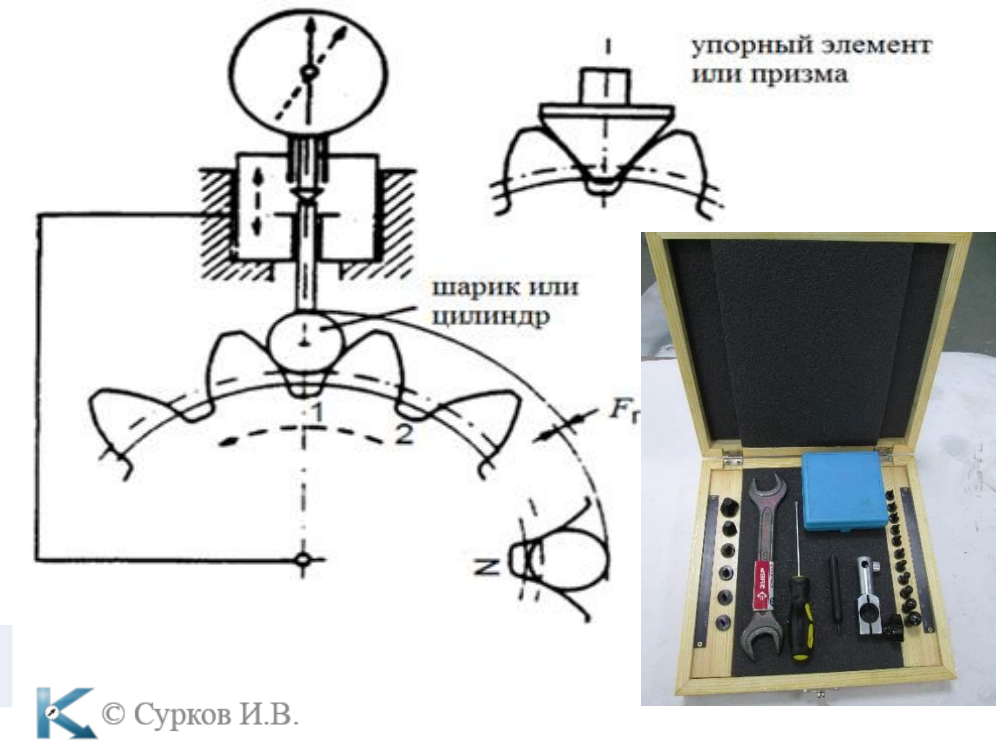
© Сурков И.В.

НИИК-1010 ручное измерение

Калибровка по эталону ЗК с внутрен.зубьями

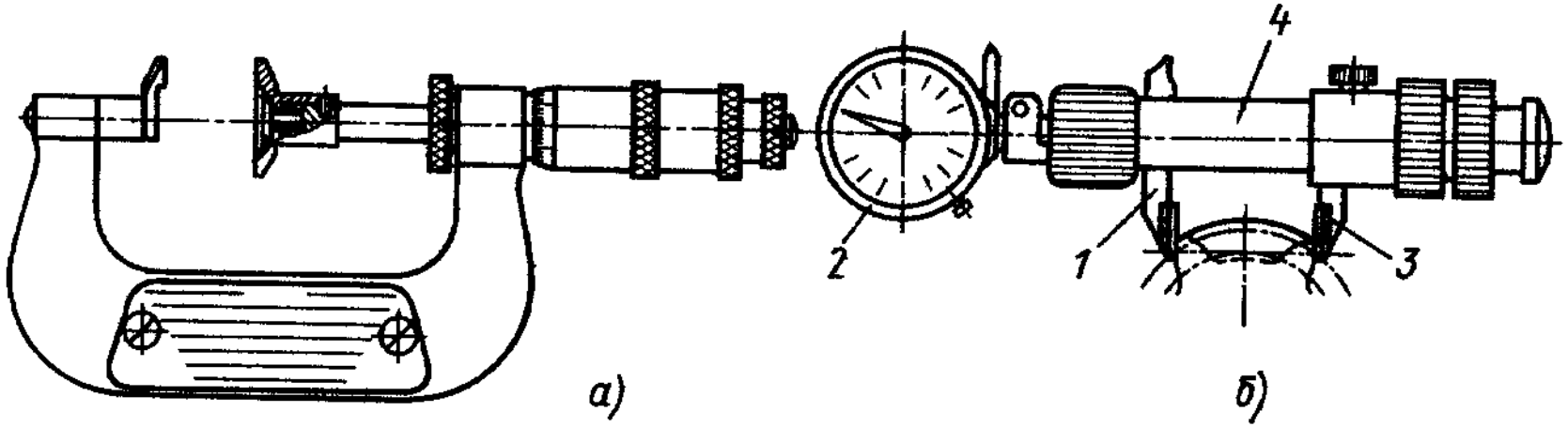
Стандартизированные диаметры роликов и сферических КЭ ИН для измерения параметров ЗК

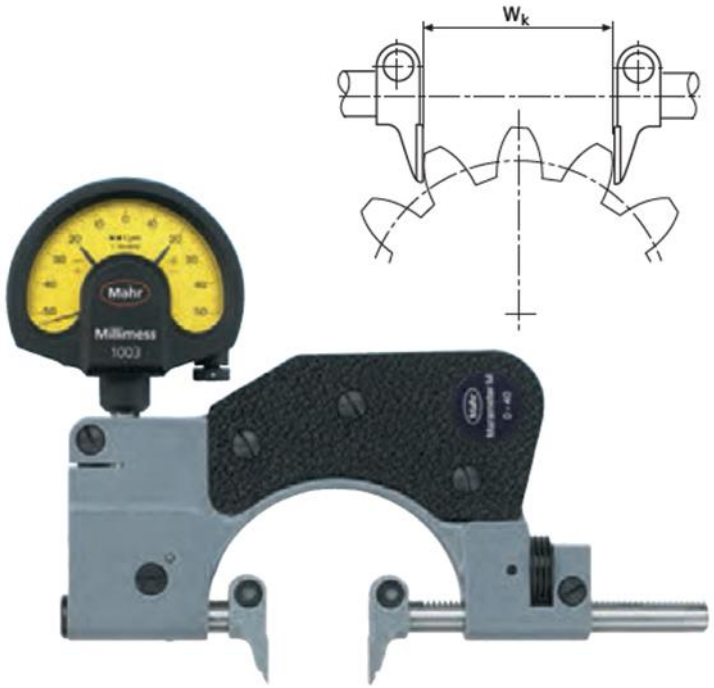
Модуль	Диаметр ролика (шарика)	Модуль	Диаметр ролика (шарика)
1,0	1,476	3,5	5,166
1,25	1,845	3,75	5,535
1,5	2,214	4,0	5,904
1,75	2,583	4,5	6,642
2,0	2,952	5,0	7,380
2,25	3,321	6,0	8,856
2,5	3,690	7,0	10,332
2,75	4,059	8,0	11,809
3,0	4,428	9,0	13,285
3,25	4,797	10,0	14,761



© Сурков И.В.

Для измерения колебания длины общей нормали применяются приборы, имеющие две параллельные плоскости, соприкасающиеся с профилями зубьев. Например, измерение длины общей нормали может осуществлять с помощью микрометров, а также нормалемерами.



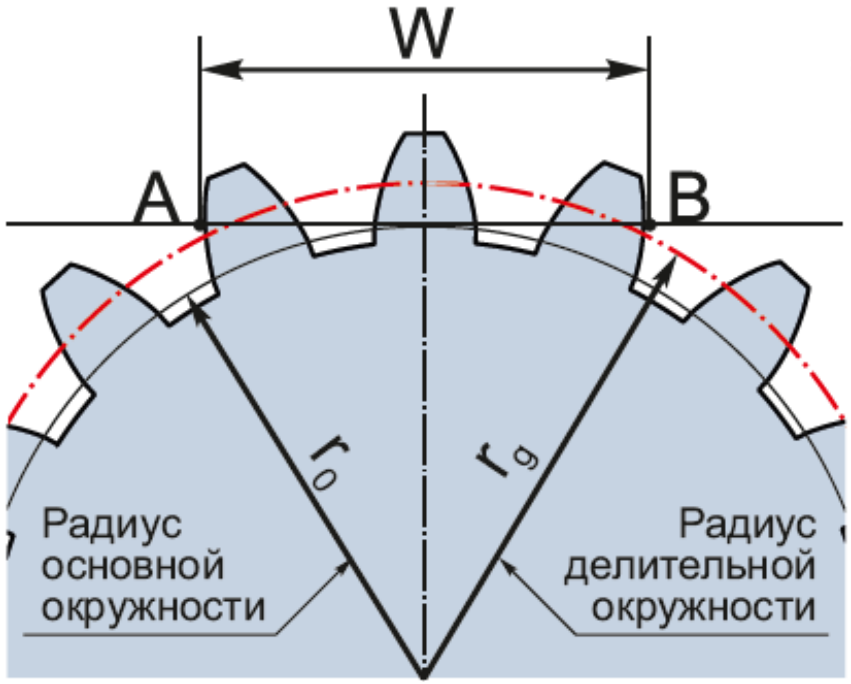


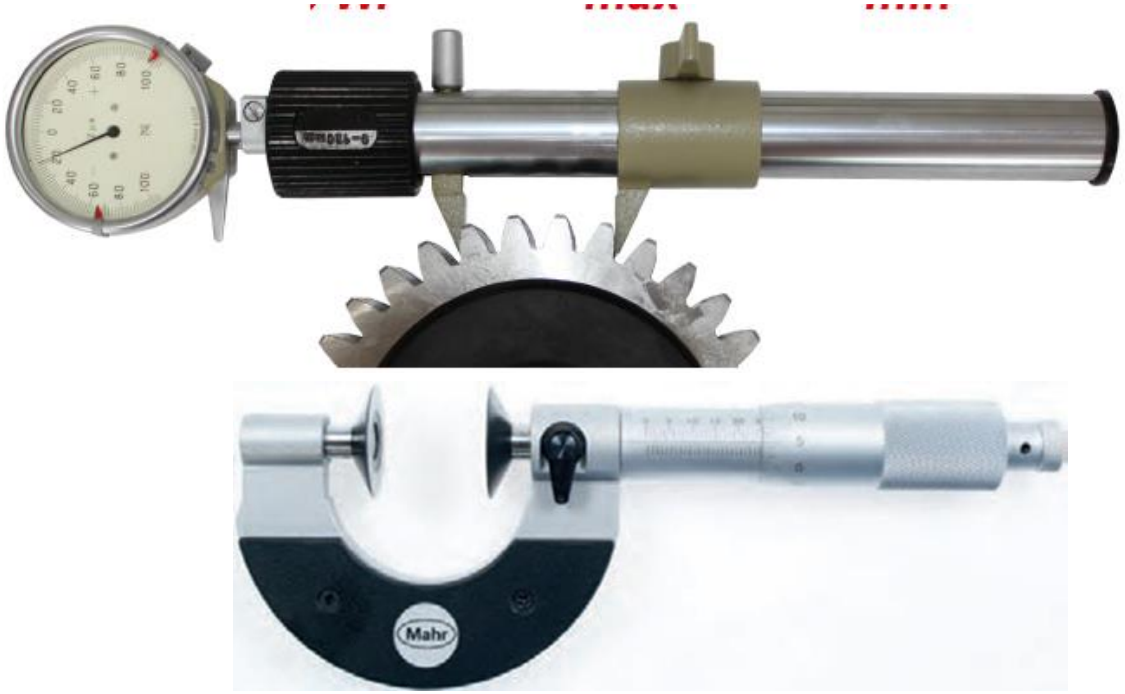
© Сурков И.В.

Поэлементный контроль показателей кинематической точности цилиндрических зубчатых колес

Колебание длины общей нормали F_{vwr} (тангенциальная составляющая кинематической точности)

Длина общей нормали W есть расстояние AB между разноименными эвольвентами по прямой, касательной к основной окружности зубчатого колеса



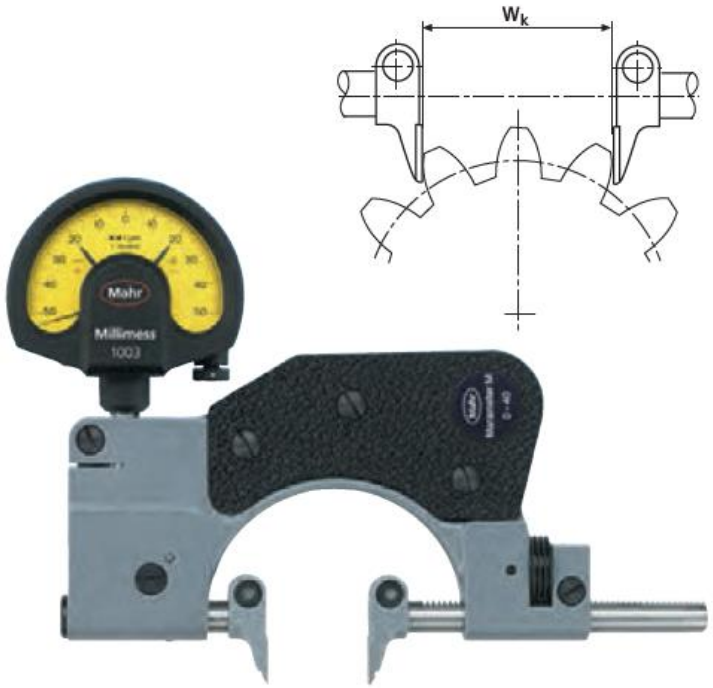


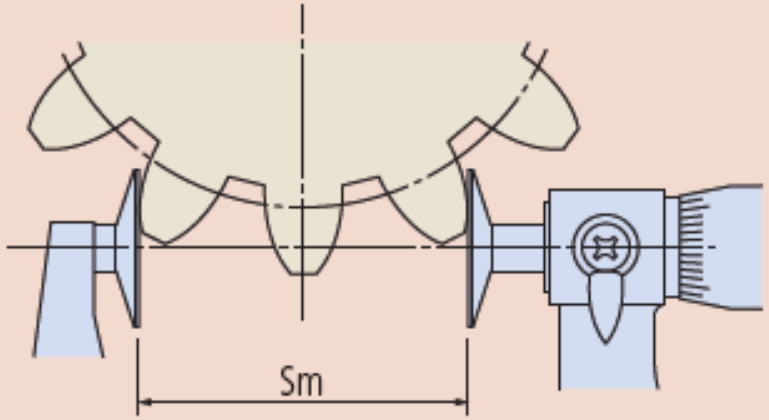
Измерения производятся нормалемером по всей окружности колеса, через каждый зуб, при этом записываются показания индикатора с учетом знака. Из всех полученных параметров выбирают их максимальное W_{max} и минимальное W_{min}. Разность этих значений и есть наибольшее колебание длины общей нормали:

$$F_{\nu Wr} = W_{max} - W_{min}$$

© Сурков И.В.

Поэлементный контроль показателей кинематической точности цилиндрических зубчатых колес





Формула для расчёта длины общей нормали (Sm):

$$Sm = m \cos \alpha_0 \{ \pi (Zm - 0.5) + Z \operatorname{inv} \alpha_0 \} + 2Xm \sin \alpha_0$$

Формула для расчёта количества зубьев в длине общей нормали (Zm):

$Zm' = Z \cdot K(f) + 0.5$ (Zm – ближайшее целое число к Zm'.)

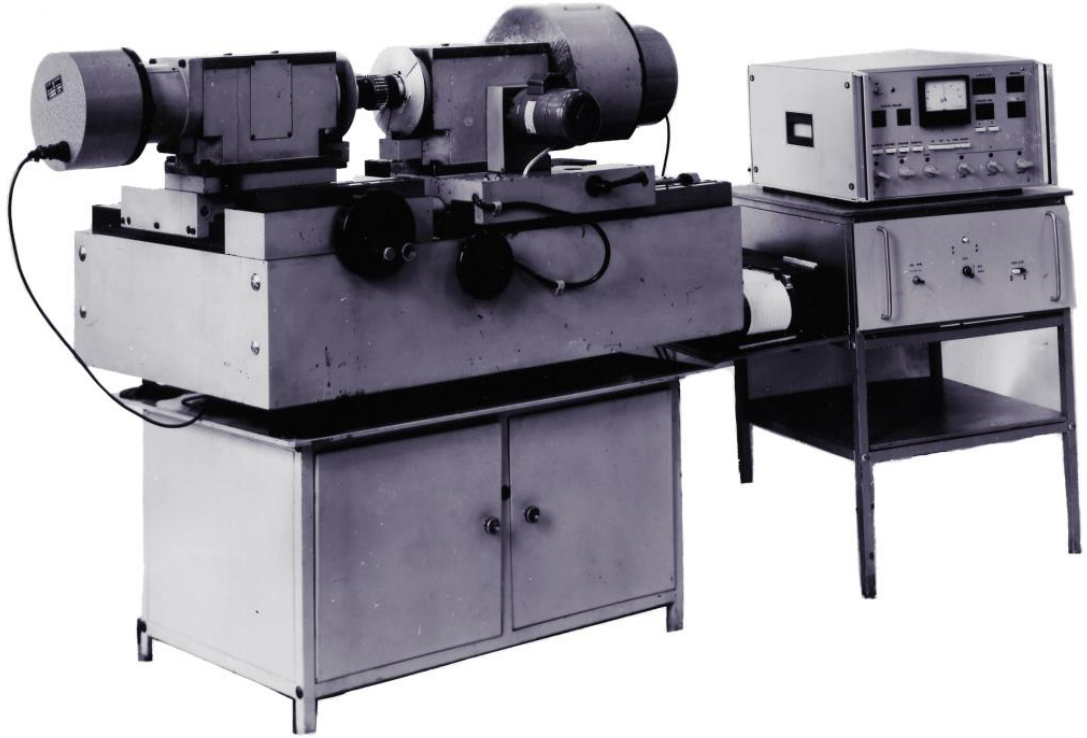
где, $K(f) = \frac{1}{\pi} \{ \sec \alpha_0 \sqrt{(1 + 2f)^2 - \cos^2 \alpha_0} - \operatorname{inv} \alpha_0 - 2f \tan \alpha_0 \}$

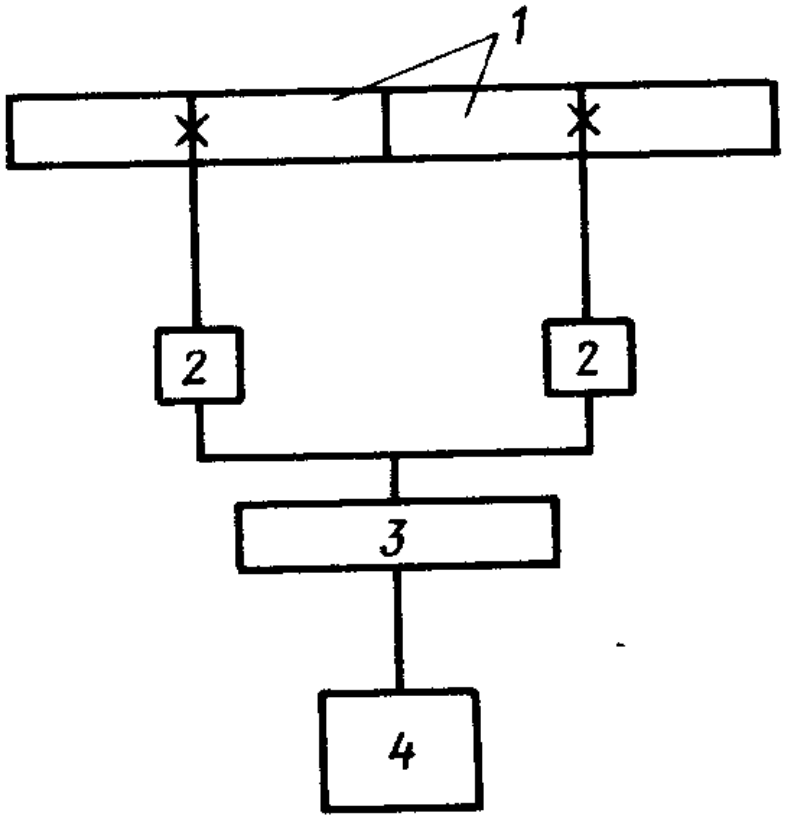
и, $f = \frac{X}{Z}$

окр. фреда 20° ≒	0.014904
окр. фреда 14.5° ≒	0.0055448

m: модуль
α_0: угол профиля
Z: количество зубьев
X: коэф. смещения исх. контура
Sm: длина общей нормали
Zm: количество зубьев в общей нормали

Для измерения **кинематической погрешности колеса и передачи** используют прибор для **комплексного однопрофильного контроля**. Схемы приборов для измерения кинематической погрешности, в принципе, состоят из четырех функциональных частей: зубчатой пары *1* из проверяемого и измерительного зубчатых колес (или из двух проверяемых колес при проверке передач), датчиков угла поворота 2, устройства *3* для сравнения углов поворота колес, образующих зубчатую пару, и регистрирующего устройства *4*. Специалисты ЗАО «ЧелябНИИконтроль» осуществляют ретрофитинг прибора БВ-5094: устанавливаются новые круговые энкодеры, электронные блоки, персональный компьютер со специализированным программным обеспечением.

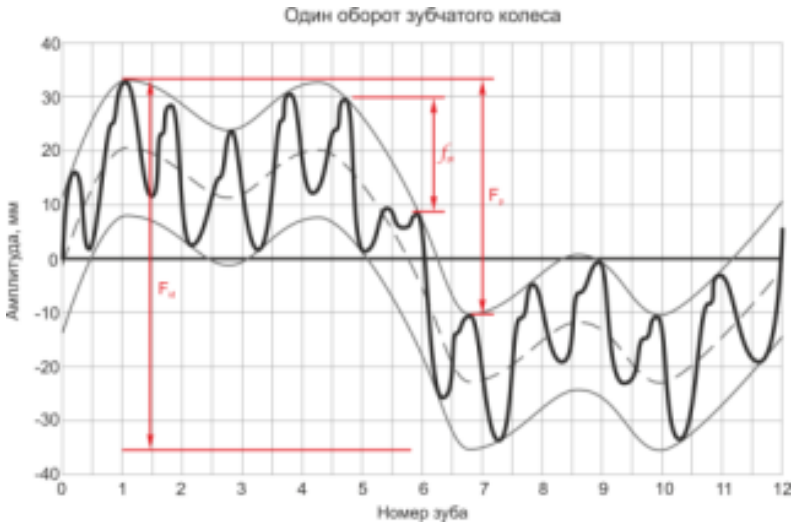


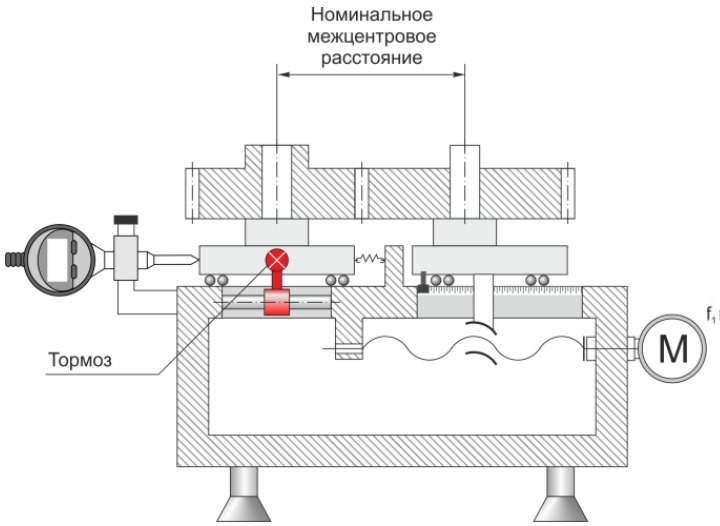


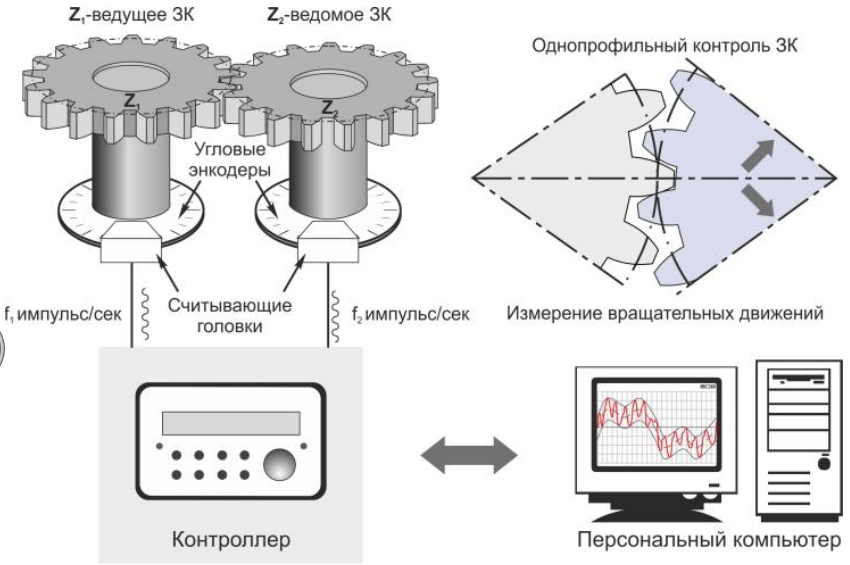
© Сурков И.В.

Контроль комплексных показателей кинематической точности цилиндрических зубчатых колес

Однопрофильный контроль - кинематическая погрешность зубчатого колеса







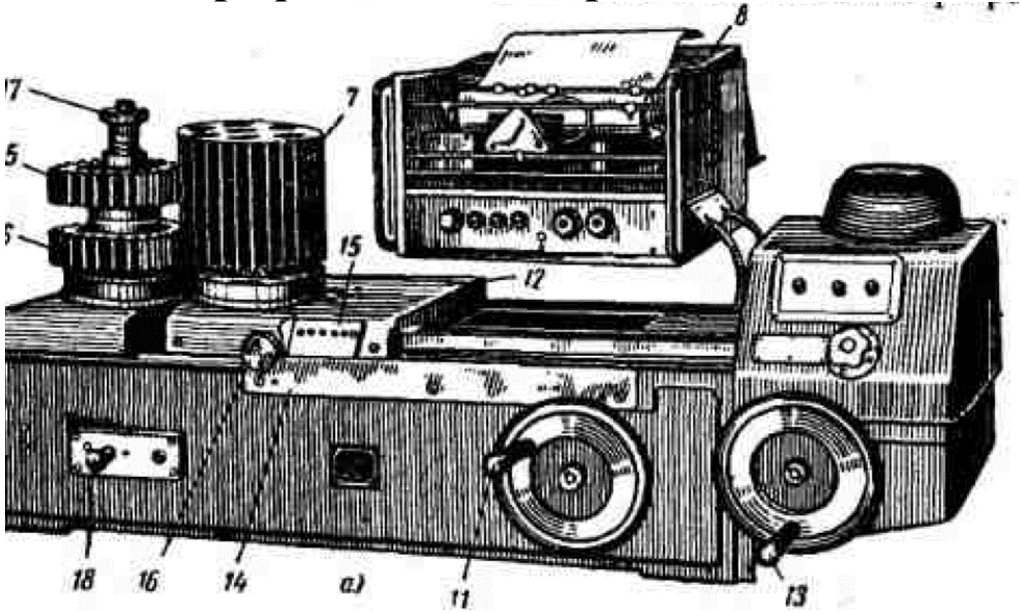
Измеряется на приборах-кинематомерах, например, БВ-5094. С помощью **специальной наладки** может измеряться на межосемере **НИИК-1020**. Фиксируется разность между действительным и номинальным (расчетным) углами поворота проверяемого зубчатого колеса на его рабочей оси, ведомого измерительным зубчатым колесом при номинальном взаимном положении осей вращения этих колес. Выражается в линейных величинах длиной дуги делительной окружности.

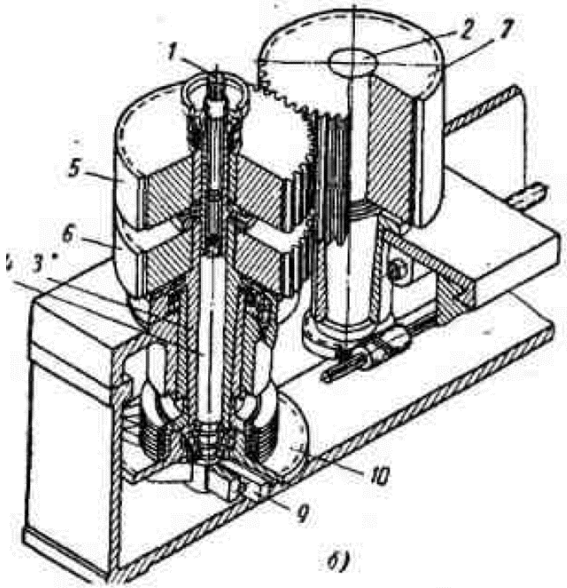
Нормируется наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса F'_{ir}. Ее величина при измерении не должна превышать заданного в ГОСТ 1643 – 81 в соответствии со степенью точности проверяемого зубчатого колеса значения допуска на кинематическую погрешность F'_i.

© Сурков И.В.

Контроль комплексных показателей кинематической точности цилиндрических зубчатых колес

Однопрофильный контроль - кинематическая погрешность зубчатого колеса





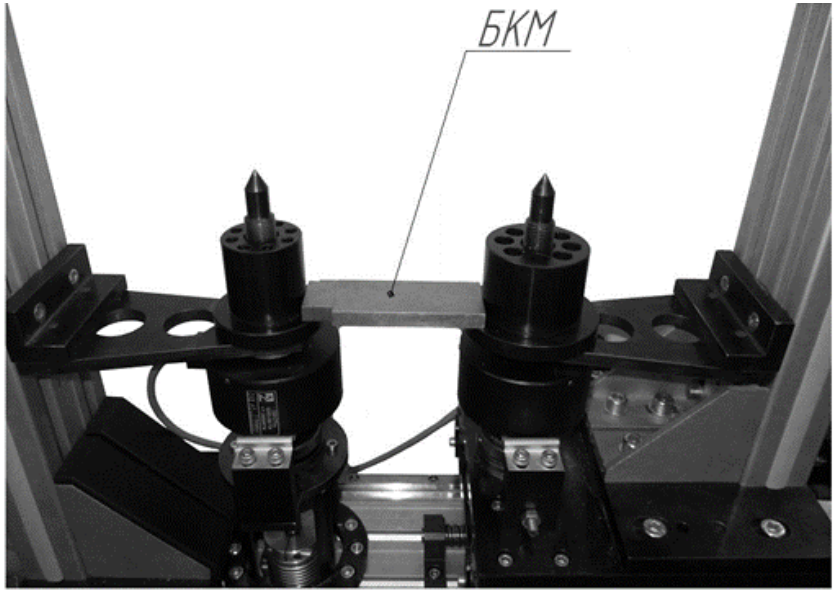
Прибор для комплексного однопрофильного контроля зубчатых колес БВ-608 К.

Описание прибора. Прибор предназначен для контроля кинематической погрешности колеса, под которой понимается наибольшая погрешность угла поворота зубчатого колеса в пределах одного оборота при однопрофильном зацеплении с зубчатым колесом. На шпиндель 2 насаживается промежуточное колесо 7, по ширине оно перекрывает измерительное и контролируемое. При вращении промежуточного колеса, которое будет вести одновременно колеса 5 и 6 из-за наличия погрешностей у контролируемого колеса, появится рассогласование между шпинделями 3 и 4; рассогласование регистрируется специальным индуктивным датчиком с самописцем 3. В нижней части шпинделя 1 закреплен якорь датчика 9, три лопасти которого находятся между катушками, расположенными на диске 10.

© Сурков И.В.

Наладка прибора НИИК-1020УМЦ-320 для измерения кинематической погрешности зубчатого колеса при однопрофильном контроле

Перед измерением рукояткой 1 установить межосевое расстояние по блоку концевых мер (БКМ). Блок установить между посадочными диаметрами втулок. БКМ М1 рассчитывается по формуле:



$$M1 = A - \frac{d_1 + d_2}{2},$$

где А – теоретическое межосевое расстояние (полусумма делительных диаметров зубчатых колес), мм;

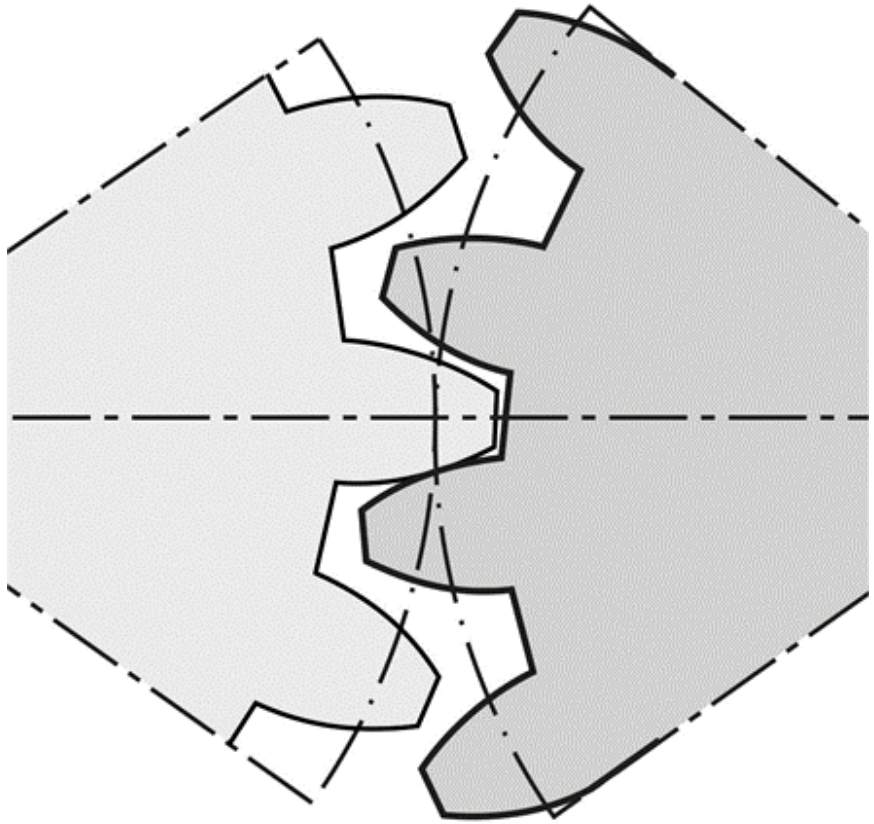
d1 и d2 – посадочные диаметры втулок, мм.

Значения делительных диаметров зубчатых колес подсчитать по данным указанных на зубчатых колесах.

© Сурков И.В.

Наладка прибора НИИК-1020УМЦ-320 для измерения кинематической погрешности зубчатого колеса при однопрофильном контроле

Однопрофильный контроль **имитирует фактические условия работы** зубчатой пары. Сопряженные зубчатые колеса установлены на номинальном межцентровом расстоянии, при этом подвижные части измерительной каретки зафиксированы. ЗК контактируют друг с другом только одноименными боковыми поверхностями зуба с гарантированным зазором с противоположной стороны.



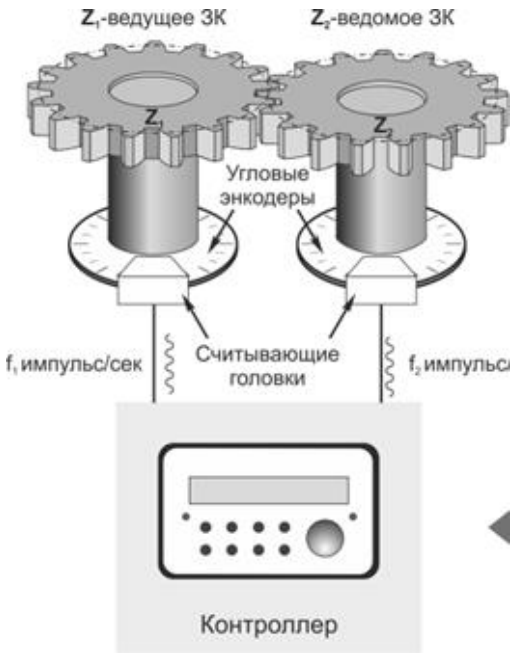
© Сурков И.В.

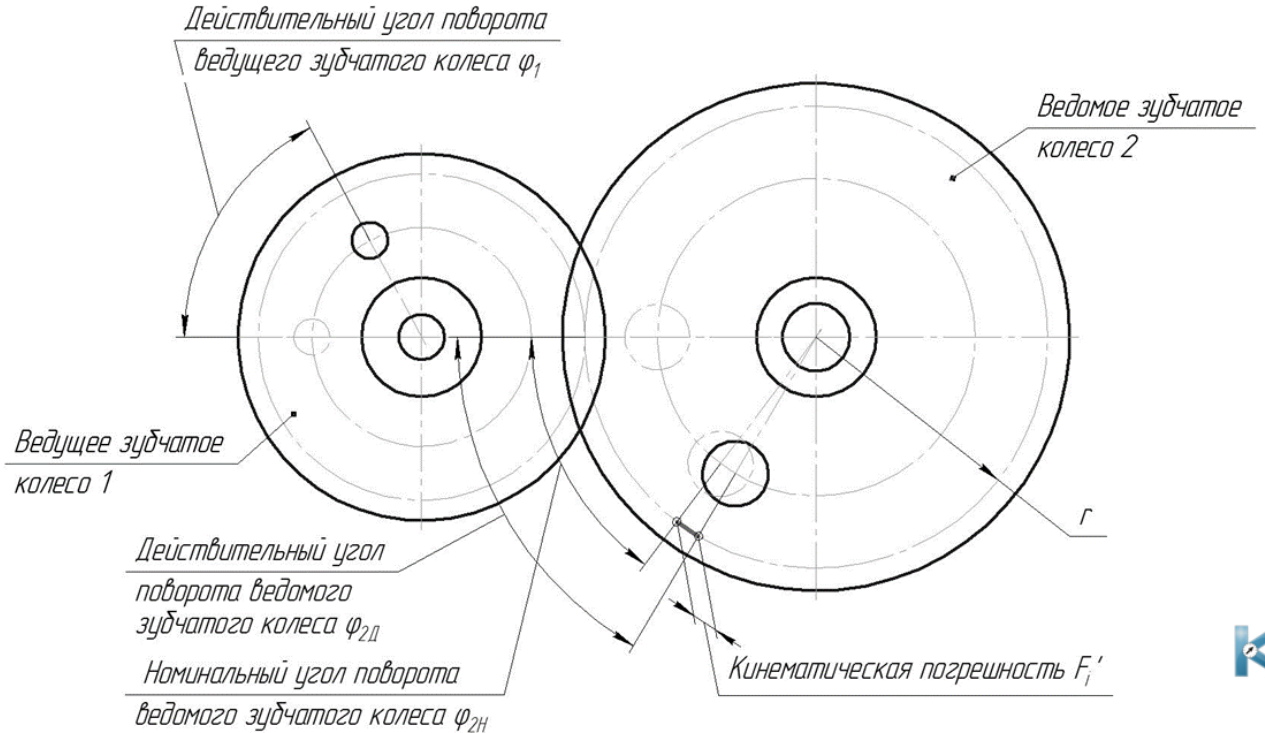
Наладка прибора НИИК-1020УМЦ-320 для измерения кинематической погрешности зубчатого колеса при однопрофильном контроле

Фиксируется разность между действительным $\varphi_{2Д}$ (определяется по угловому энкодеру правого шпинделя) и номинальным (расчетным) $\varphi_{2Н}$ углами поворота проверяемого (ведомого) зубчатого колеса на его рабочей оси, ведомого измерительным зубчатым колесом при номинальном взаимном положении осей вращения этих колес. Номинальный угол поворота ведомого колеса рассчитывается по формуле:

$$\varphi_{2Н} = \varphi_1 \frac{Z_1}{Z_2},$$

где φ_1 – угол поворота ведущего измерительного ЗК 1 (определяется по угловому энкодеру левого шпинделя) , радианы; Z_1 – число зубьев ведущего колеса 1; Z_2 – число зубьев ведомого колеса 2.





© Сурков И.В.

Наладка прибора НИИК-1020УМЦ-320 для измерения кинематической погрешности зубчатого колеса при однопрофильном контроле

Текущая кинематическая погрешность при однопрофильном зацеплении выражается в линейных величинах длиной дуги делительной окружности и считается по формуле:

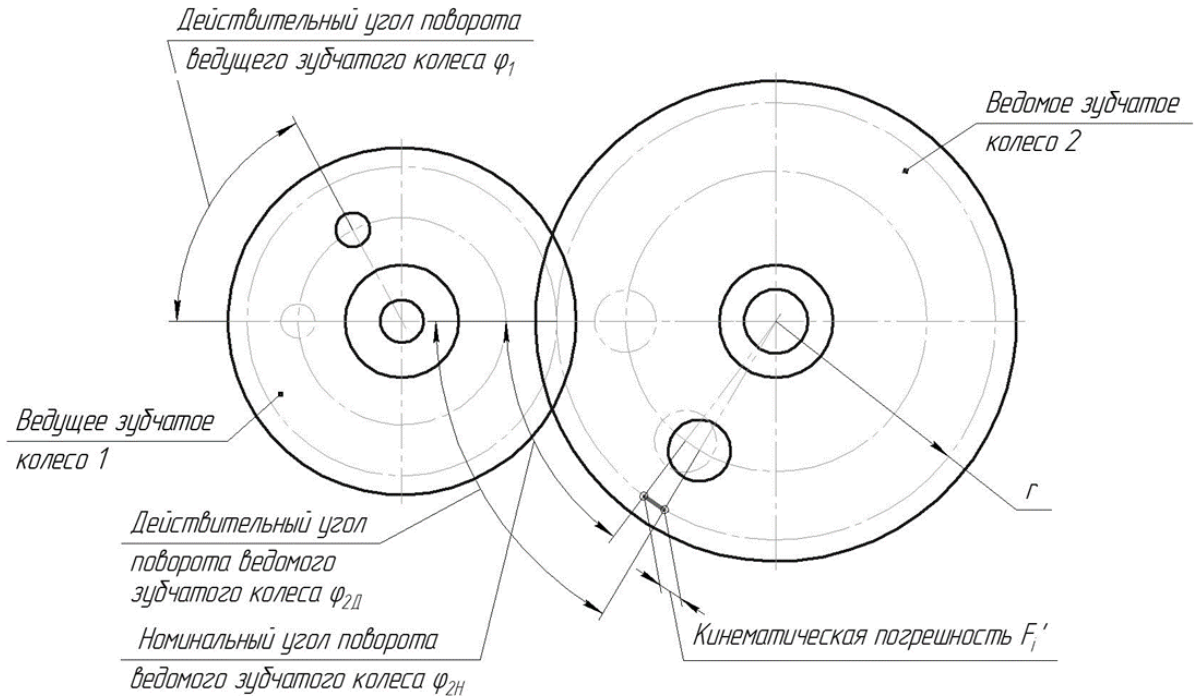
$$F_i' = (\varphi_{2Д} - \varphi_{2Н}) \cdot r,$$

где $\varphi_{2Д}$ – действительный угол поворота ведомого колеса 2, радианы;

$\varphi_{2Н}$ – номинальный угол поворота ведомого колеса 2, радианы;

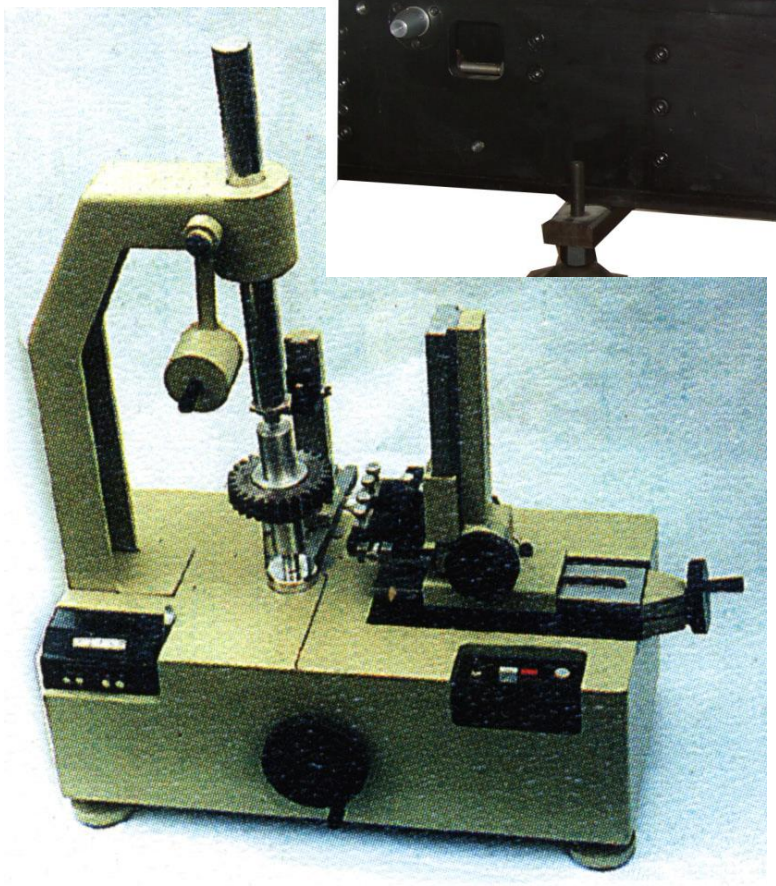
r – радиус делительной окружности ведомого колеса 2, мм.

Пересчет и построение диаграммы осуществляется с помощью метрологического ПО «ТехноКоорд-МК»

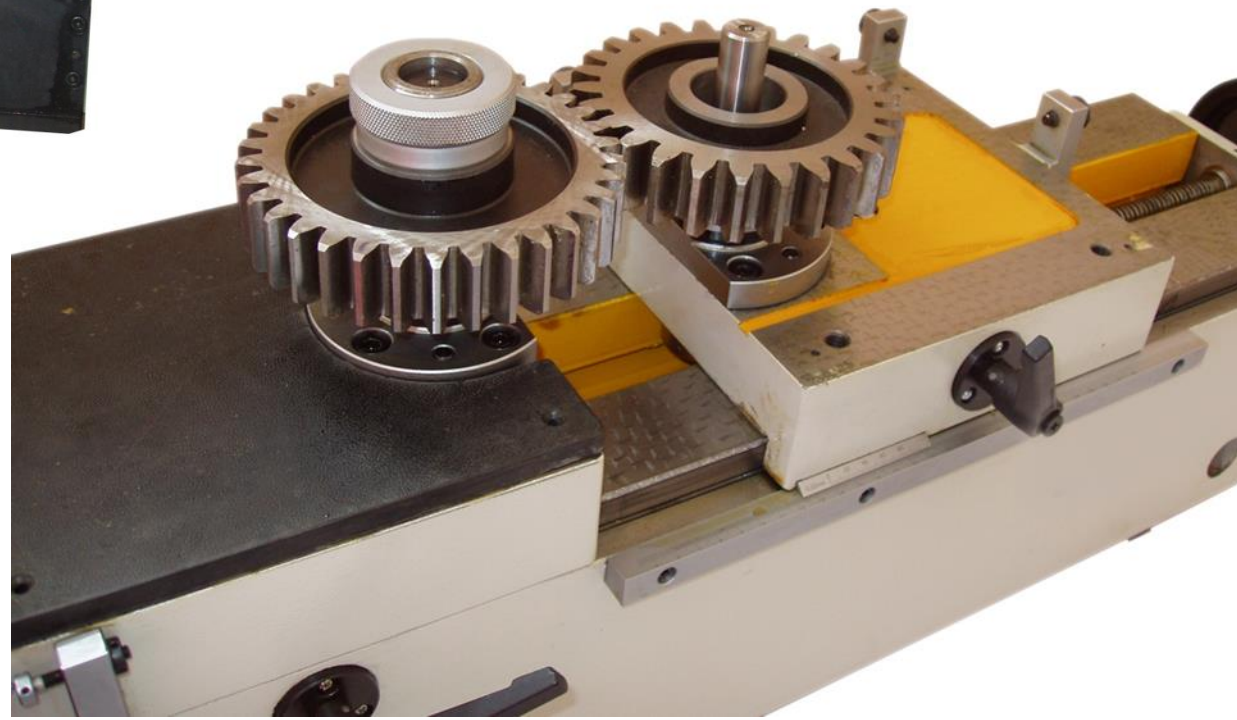


© Сурков И.В.

Для измерений колебаний межосевого расстояния за оборот (**комплексный двухпрофильный контроль**) применяют **межосемеры/межцентромеры** серии НИИК-1020 типоразмера 160 (аналог МЦ-160), 320 (МЦ-320), 400 (МЦ-400), 800 (МЦ-800) выпускаемые ЗАО «ЧелябНИИконтроль». Приборы оснащаются наладками для контроля насадных и валковых колес, существуют варианты ручного, механизированного и автоматизированного исполнения приборов.

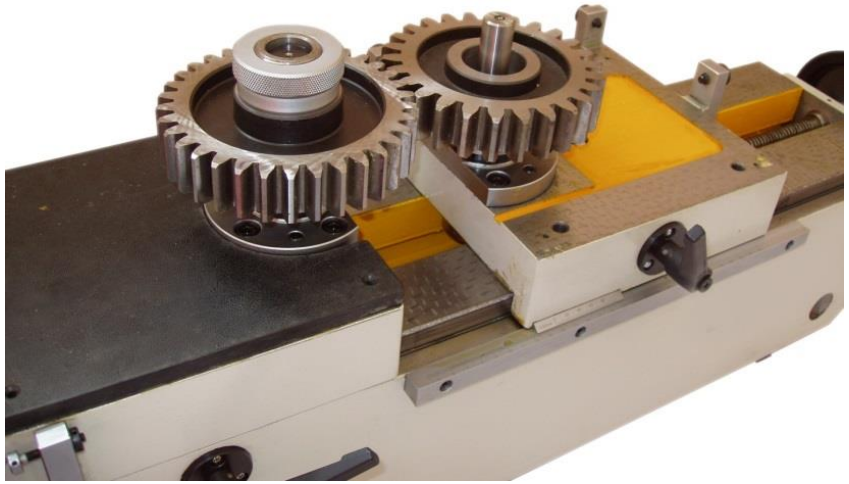


Межцентромер НИИК-1020-400 (МЦ-400)



© Сурков И.В.

Контроль комплексных показателей кинематической точности цилиндрических зубчатых колес



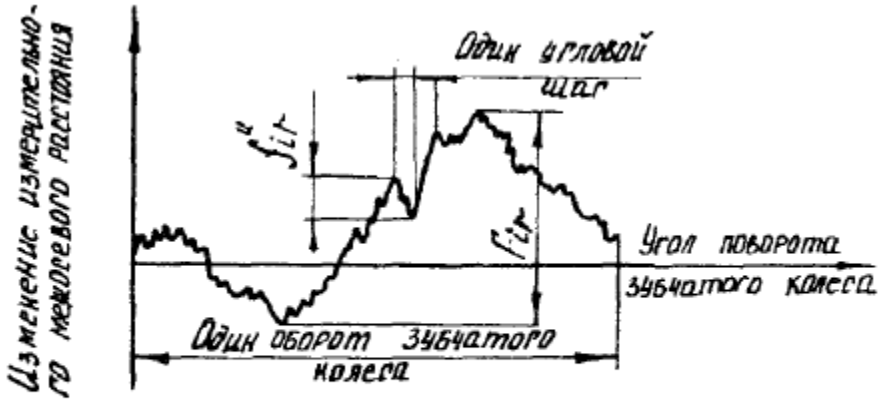
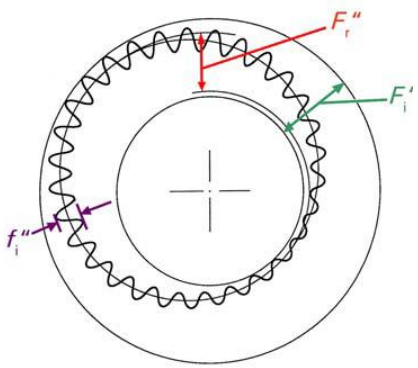


Рис. 5: колебание измерительного межосевого расстояния:
F''_{ir} — за один оборот з. к.; f''_{ir} — на одном зубе

Двухпрофильный контроль - колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса F''_{ir}. Измеряется на приборах-межосемерах, например, НИИК-1020 различных модификаций. Фиксируется разность между наибольшим и наименьшим действительными межосевыми расстояниями при двухпрофильном зацеплении измерительного зубчатого колеса с контролируемым зубчатым колесом при повороте последнего на полный оборот.



© Сурков И.В.

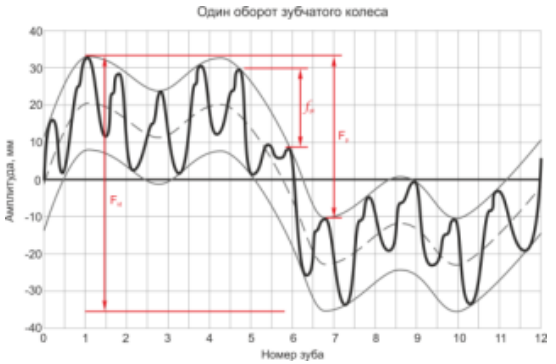


Схема большинства приборов для измерения колебания межосевого расстояния в принципе одна и та же и заключается в том, что на двух оправках *4* и *5* устанавливают проверяемое *6* и измерительное 3 зубчатые колеса. Оправка 5 располагается на каретке прибора, которая остается неподвижной в процессе измерения, и на ней обычно устанавливают проверяемое колесо, а оправку *4* располагают на каретке, которая обычно имеет направляющие качения и поджимается (например, пружиной) к первой каретке, и на ней чаще всего располагается измерительное колесо 3.

Кареткой *2* измерительное колесо 3 поджимается к проверяемому *6*, осуществляя беззазорный контакт при их вращении в процессе измерения. Регистрация смещения и колебания подвижной каретки *3* производится с помощью отсчетных *1* или записывающих устройств. Конструкции приборов, которых очень много, обычно включают набор сменных узлов, обеспечивающих возможность измерения не только цилиндрических колес разных размеров и конструкций, но и измерения конических, и червячных передач. Все приборы для комплексного двухпрофильного контроля обычно называют **межосемерами (межцентромерами).**

© Сурков И.В.

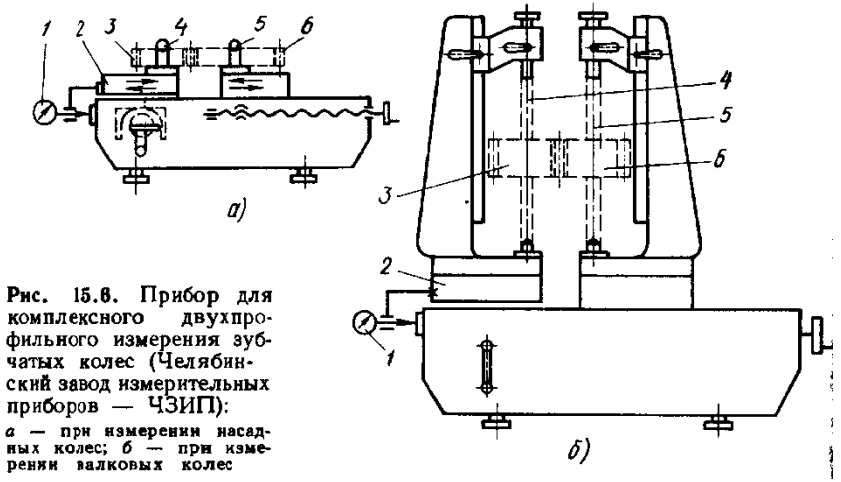
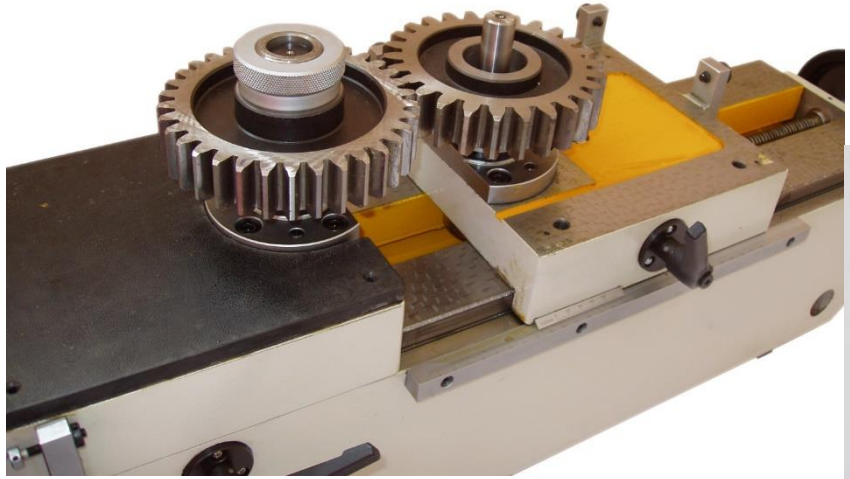
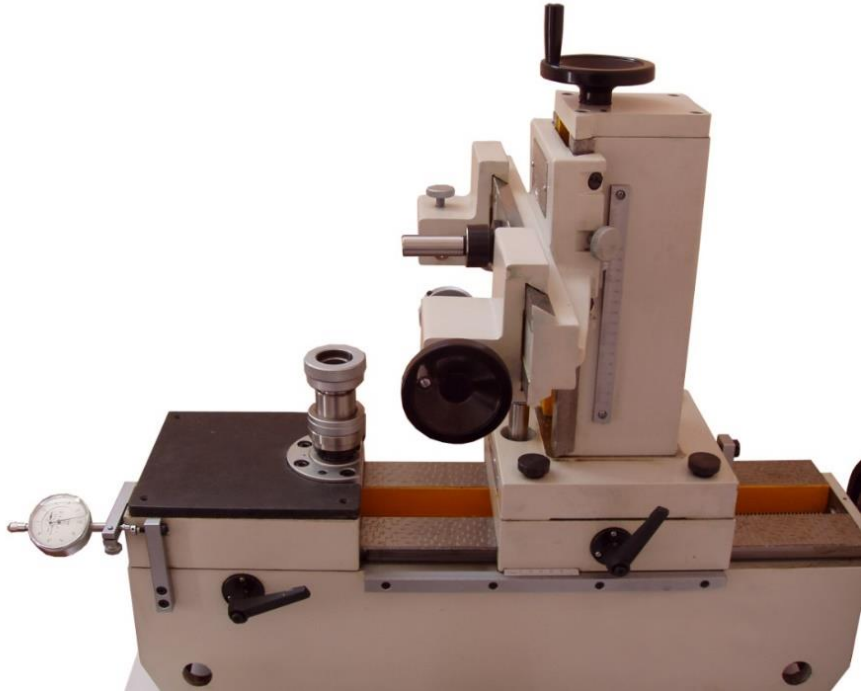


Рис. 15.8. Прибор для комплексного двухпрофильного измерения зубчатых колес (Челябинский завод измерительных приборов — ЧЗИП):
а — при измерении насадных колес; *б* — при измерении валковых колес

Варианты наладок для НИИК-1020

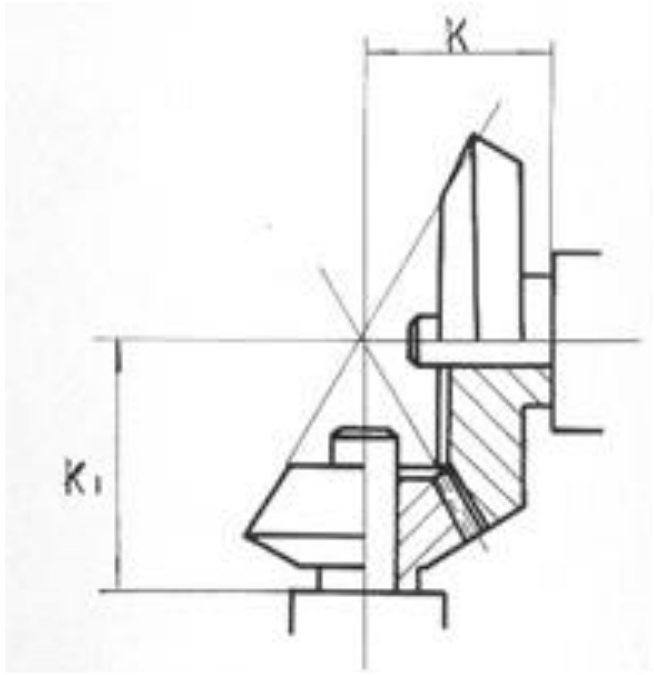


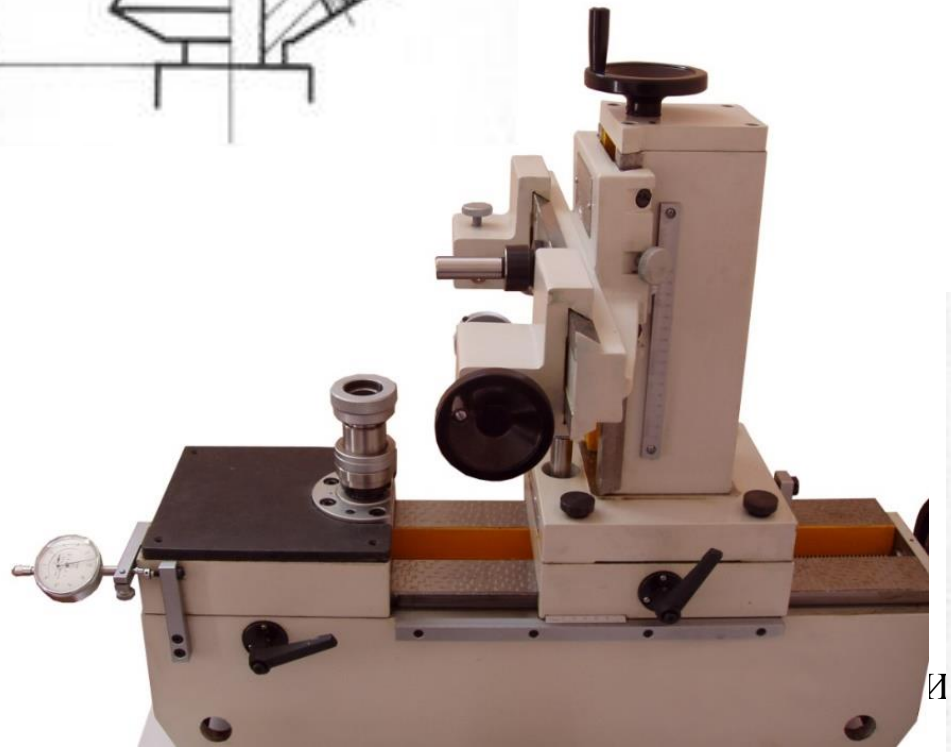


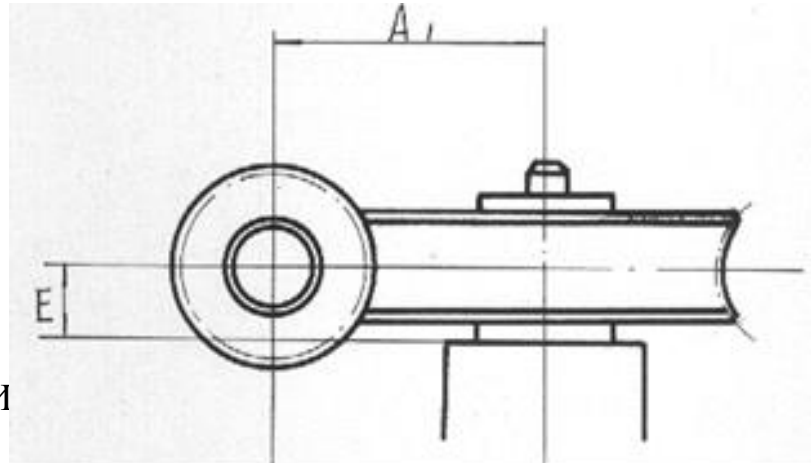
© Сурков И.В.

Варианты наладок для НИИК-1020

Контроль червячной пары

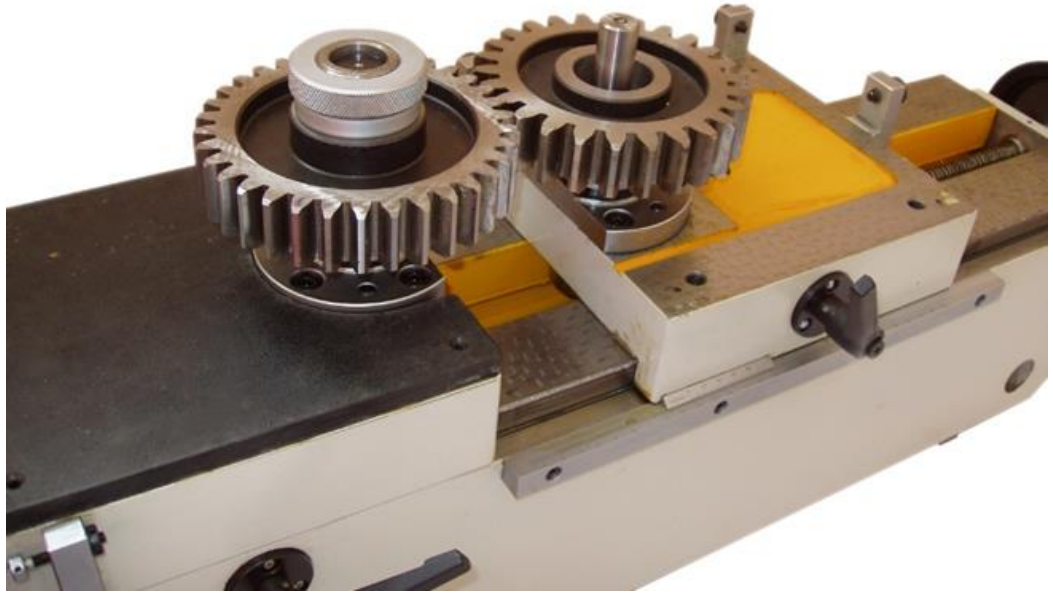






© Сурков И.В.

Проблемы изготовления и поверки измерительных зубчатых колес



ГОСТ 8.235-77. Государственная система обеспечения единства измерений. Колеса зубчатые измерительные. Методы и средства поверки.

ГОСТ 6512-74. Колеса зубчатые измерительные цилиндрические прямозубые. Технические условия.

© Сурков И.В.

Проблемы изготовления и поверки измерительных зубчатых колес

Форма по МИК-МС 7.6-03

ОАО « АЗ «Урал» Метрологическая служба

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ № Г2/85

Действительно до
" 24 " декабря 2015 г.

Средство измерений Колесо зубчатое измерительное
наименование , тип
отсутствует
Серия и номер клейма предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)

заводской номер 1073

принадлежащее ЧЕЛЯБНИИКОНТРОЛЬ
наименование юридического (физического) лица

поверено в соответствии с ГОСТ 8.235-77
наименование и номер документа на МП

с применением эталонов Машина измерительная SP-60 № 401906,
универсальный зубоизмерительный прибор ф.К.Цейсс № 1962
наименование, заводской номер, разряд, класс или погрешность

при следующих значениях влияющих факторов
температура 18 С
перечень влияющих факторов, нормированных в МП, с указанием их значений

поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано пригодным к применению.

Поверительное клеймо

Начальник ЛГИ — подпись — Трубеева Е.Б.
должность руководителя подразделения — инициалы, фамилия

Поверитель — подпись — Карманова А.В.
инициалы, фамилия

" 24 " 12 20 13 г.

Форма по МИК-МС 7.6-03

ОАО « АЗ «Урал» Метрологическая служба

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ № Г2/84

Действительно до
" 24 " декабря 2015 г.

Средство измерений Колесо зубчатое измерительное
наименование , тип
отсутствует
Серия и номер клейма предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)

заводской номер 2262

принадлежащее ЧЕЛЯБНИИКОНТРОЛЬ
наименование юридического (физического) лица

поверено в соответствии с ГОСТ 8.235-77
наименование и номер документа на МП

с применением эталонов Машина измерительная SP-60 № 401906,
универсальный зубоизмерительный прибор ф.К.Цейсс № 1962
наименование, заводской номер, разряд, класс или погрешность

при следующих значениях влияющих факторов
температура 18 С
перечень влияющих факторов, нормированных в МП, с указанием их значений

поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано пригодным к применению.

Поверительное клеймо

Начальник ЛГИ — подпись — Трубеева Е.Б.
должность руководителя подразделения — инициалы, фамилия

Поверитель — подпись — Карманова А.В.
инициалы, фамилия

" 24 " 12 20

ПРОТОКОЛ № Г2/451
Поверки зубчатого колеса

Заводской номер 1073 принадлежит ЧЛЯБНИИКОНТРОЛЬ
Температура 18ºС влажность 60% .
Средства поверки: Машина измерительная SP-60 № 401906, зубомерный измерительный прибор ф. К.Цейсс № 1962

№ п/п	Измеряемый параметр	Обозначение	Результат измерений
1	Радиальное биение зубчатого венца	F_r	8 мкм
2	Биение окружности вершин зубьев		12 мкм
3	Торцевое биение ступицы относительно оси отверстия		7 мкм
4	Накопленная погрешность	$F_{p\ левая}$	6 мкм
		$F_{p\ правая}$	10 мкм
5	Размер по роликам (диаметр роликов 8,767 мм)	M	142,554 - 142,564 мм
6	Отклонение шага зацепления	$f_{Pв}$	3 мкм
7	Погрешность профиля зуба	f_f (левая сторона)	+2 мкм
		f_f (правая сторона)	-5 мкм
8	Погрешность направления зуба	f_β (левая сторона)	+2 мкм
		f_β (правая сторона)	-3 мкм
9	Колебание длины общей нормали	W	5 мкм

Поверку выполнил Карманова А.В. « 24» декабря 2013 г.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы»
ВНИИМС

СВИДЕТЕЛЬСТВО
О ПОВЕРКЕ

№ 203-6198

Действительно до
«23» мая 2018 г.

Эталон (Средство измерений) Колесо зубчатое измерительное
m=3; z=42; β=0°; x=-0,09
НАИМЕНОВАНИЕ, ТИП, РЕГИСТРАЦИОННЫЙ НОМЕР
отсутствует
СЕРИЯ И НОМЕР КЛЕЙМА ПРЕДЫДУЩЕЙ ПОВЕРКИ (ЕСЛИ ТАКИЕ СЕРИЯ И НОМЕР ИМЕЮТСЯ)

Заводской номер 2262
поверено не предусмотрено методикой поверки
НАИМЕНОВАНИЕ ВЕЛИЧИН, ДИАПАЗОНОВ, НА КОТОРЫХ ПОВЕРЕНО СИ
поверено в соответствии с МИ 2165-91
НАИМЕНОВАНИЕ И НОМЕР ДОКУМЕНТА, НА МЕТОДИКУ ПОВЕРКИ
с применением эталонов ГЭТ 165-2010
НАИМЕНОВАНИЕ, ЗАВОДСКОЙ НОМЕР, РАЗРЯД
при следующих значениях влияющих факторов Температура 20,7°С; влажность 49%
ПРИВОДЯТ ПЕРЕЧЕНЬ ВЛИЯЮЩИХ

Поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Поверительное клеймо

Начальник отдела 203 — подпись — В. Г. Лысенко, инициалы, фамилия

Поверитель — подпись — Н. А. Зуйкова, инициалы, фамилия

«23» мая 2016 г.

Аттестат аккредитации № RA.RU 311493
477747

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС)
Russian Research Institute for Metrological Service (VNIIMS)

Сертификат калибровки
Calibration certificate

Номер сертификата RU-04-203-282-2018 Дата калибровки 25.12.2018 Страница 1 из 6
Certificate number Date when calibrated Page 1 of 6

Объект калибровки зубчатое колесо (зав. № 2262)
Item calibrated

Заказчик ЗАО «ЧелябНИИконтроль»
Customer 454008, г. Челябинск, Свердловский тракт, 38

Метод калибровки прямой, МК.МС 203.09-2008 «Меры эвольвентные. Методика калибровки»
Method of calibration

Заместитель директора по управлению качеством С.В. Гусенков Дата выдачи 27.12.2018

007672

Сертификат калибровки
Calibration certificate

Номер сертификата RU-04-203-282-2018 Страница 2 из 6
Certificate number Page 2 of 6

Калибровка выполнена с помощью (для эталона указать прослеживаемость)
Calibration is performed by using
(for measuring standard to specify a traceability)

Государственный первичный специальный эталон единицы длины в области измерений параметров эвольвентных поверхностей и угла наклона линии зуба» ГЭТ 165-2010
(сличения тема KOOMET 507/BY/10, сентябрь 2012)

Условия калибровки температура 20,3 °С, влажность 41 %
Calibration conditions

Результаты калибровки, включая неопределенность
Calibration results including uncertainty

1. Результаты:

Параметр	Среднее значение параметра, мкм Левая сторона	Правая сторона	Расширенная стандартная неопределенность, мкм
отклонение шага f_{pt}	2.09	2.58	0,40
накопленная погрешность F_p	9.21	10.34	0,40
биение зубчатого венца F_r	9.18		
1 зуб			
отклонение профиля зуба $f_{f\alpha}$	1.33	1.56	0,32
отклонение профиля зуба по углу $F_{f\alpha}$	3.70	3.19	0,32
общее отклонение профиля зуба F_α	3.40	2.71	0,32
отклонение формы направления зуба $f_{f\beta}$	1.26	0.68	0,8
отклонение направления зуба по углу $f_{f\beta}$	2.61	2.61	0,8
общее отклонение направления зуба F_β	3.59	2.78	0,8
2 зуб			
отклонение профиля зуба $f_{f\alpha}$	1.16	1.66	0,32
отклонение профиля зуба по углу $F_{f\alpha}$	4.18	3.15	0,32
общее отклонение профиля зуба F_α	3.84	2.71	0,32
отклонение формы направления зуба $f_{f\beta}$	0.85	0.89	0,8
отклонение направления зуба по углу $f_{f\beta}$	3.85	2.73	0,8
общее отклонение направления зуба F_β	3.94	2.63	0,8

2. Результаты измерений.

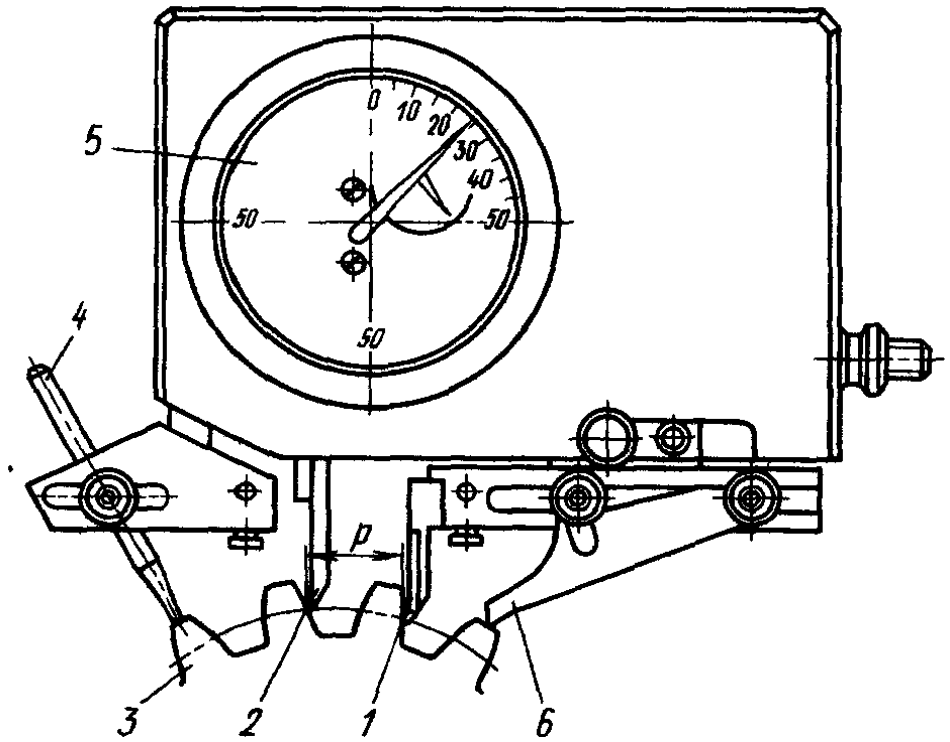
2.1. параметры шага зубчатого колеса

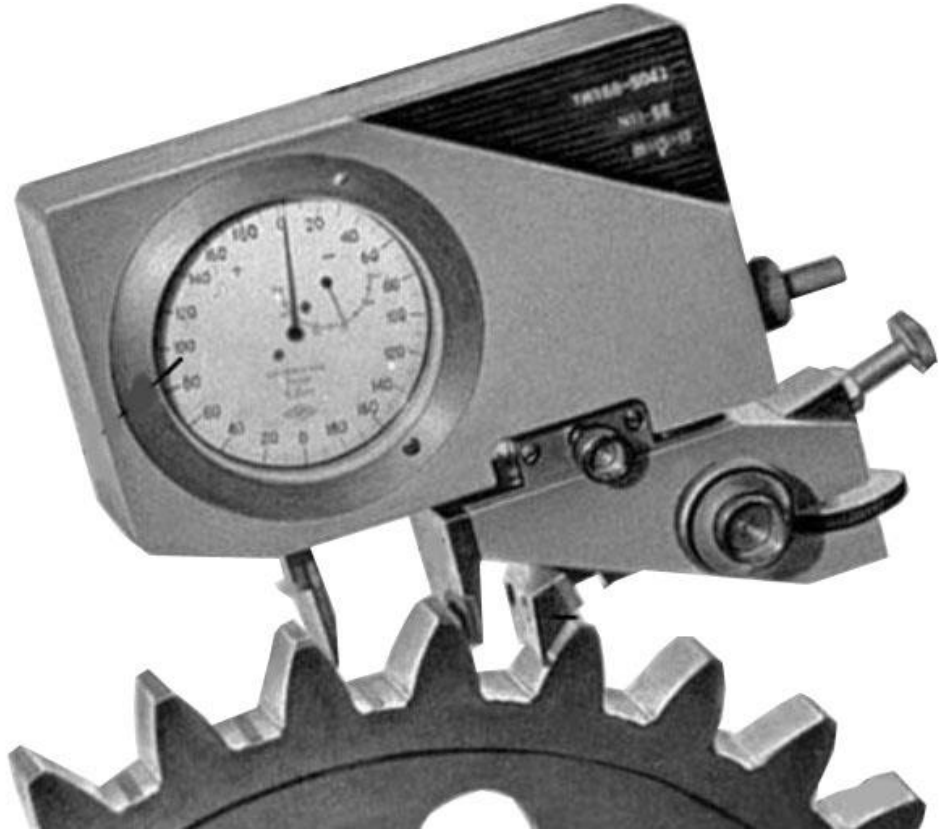
Обозначения параметров	Среднее значение, мкм Левая сторона	Правая сторона
отклонение шага f_{pt}	2.09	2.58
накопленная погрешность F_p	9.21	10.34
биение зубчатого венца F_r	9.18	

© Сурков И.В.

Измерение параметров, характеризующих плавность работы

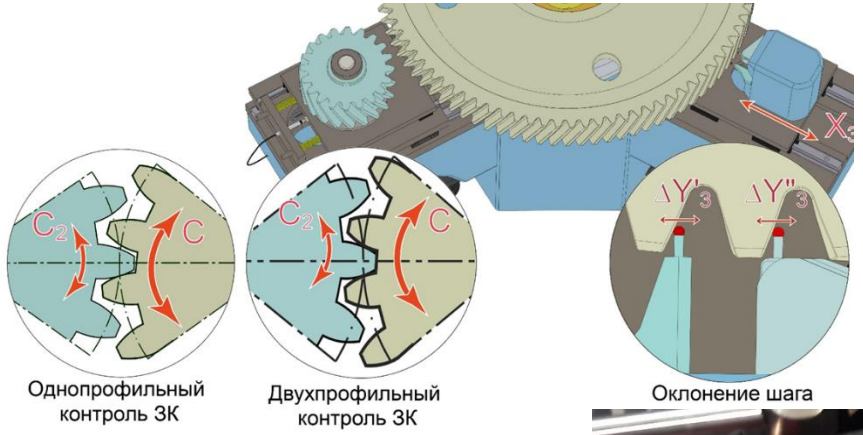
Для определения отклонений шагов f, а более правильно – отклонений шага от средней величины по колесу, обрабатывают результаты измерения всех шагов при использовании накладных приборов. Измерение разности шагов выполняют с помощью накладных шагомеров, например БВ-5070. Переход на другой измеряемый параметр или вид измеряемого колеса осуществляется сменой измерительных головок.



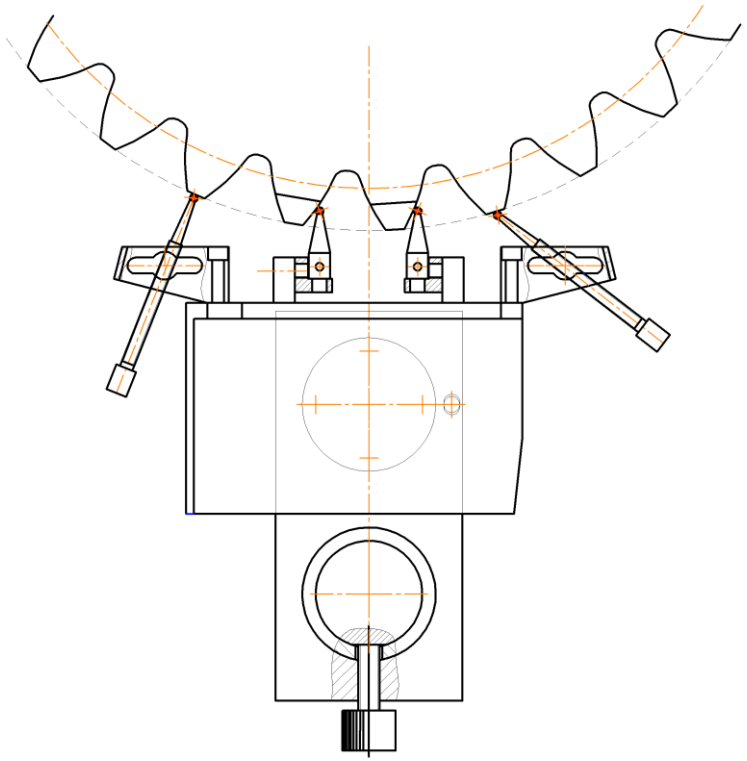


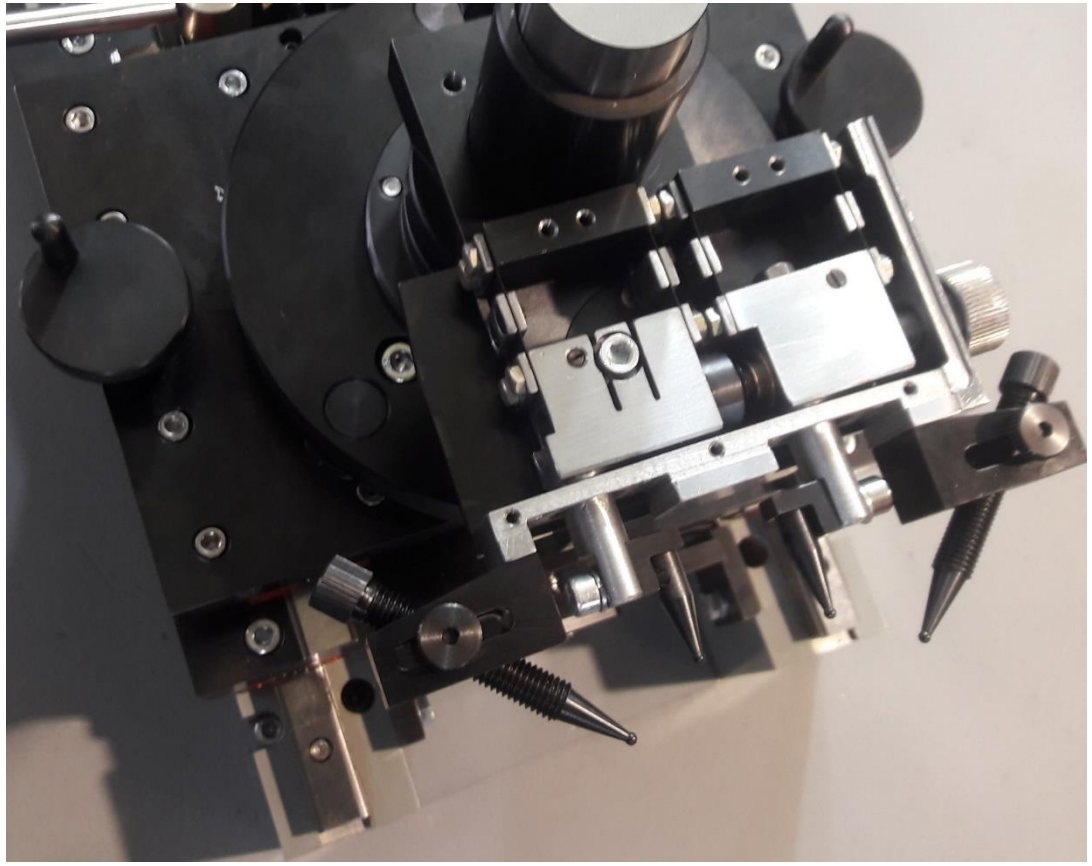
© Сурков И.В.

НИИК-1021. Наладка для контроля отклонения шага зубчатого колеса



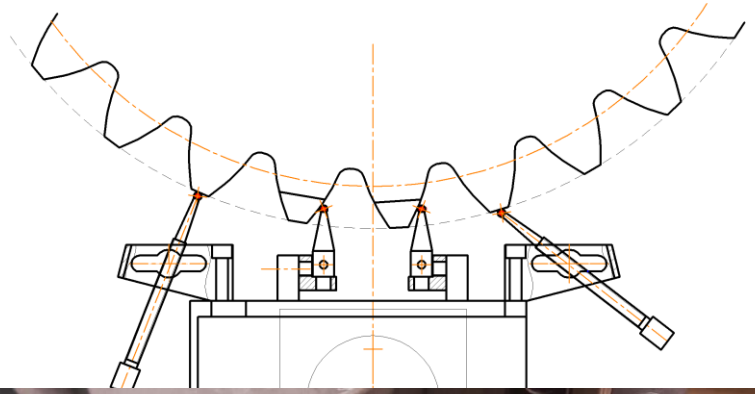
[Испытания шагомера на стенде]



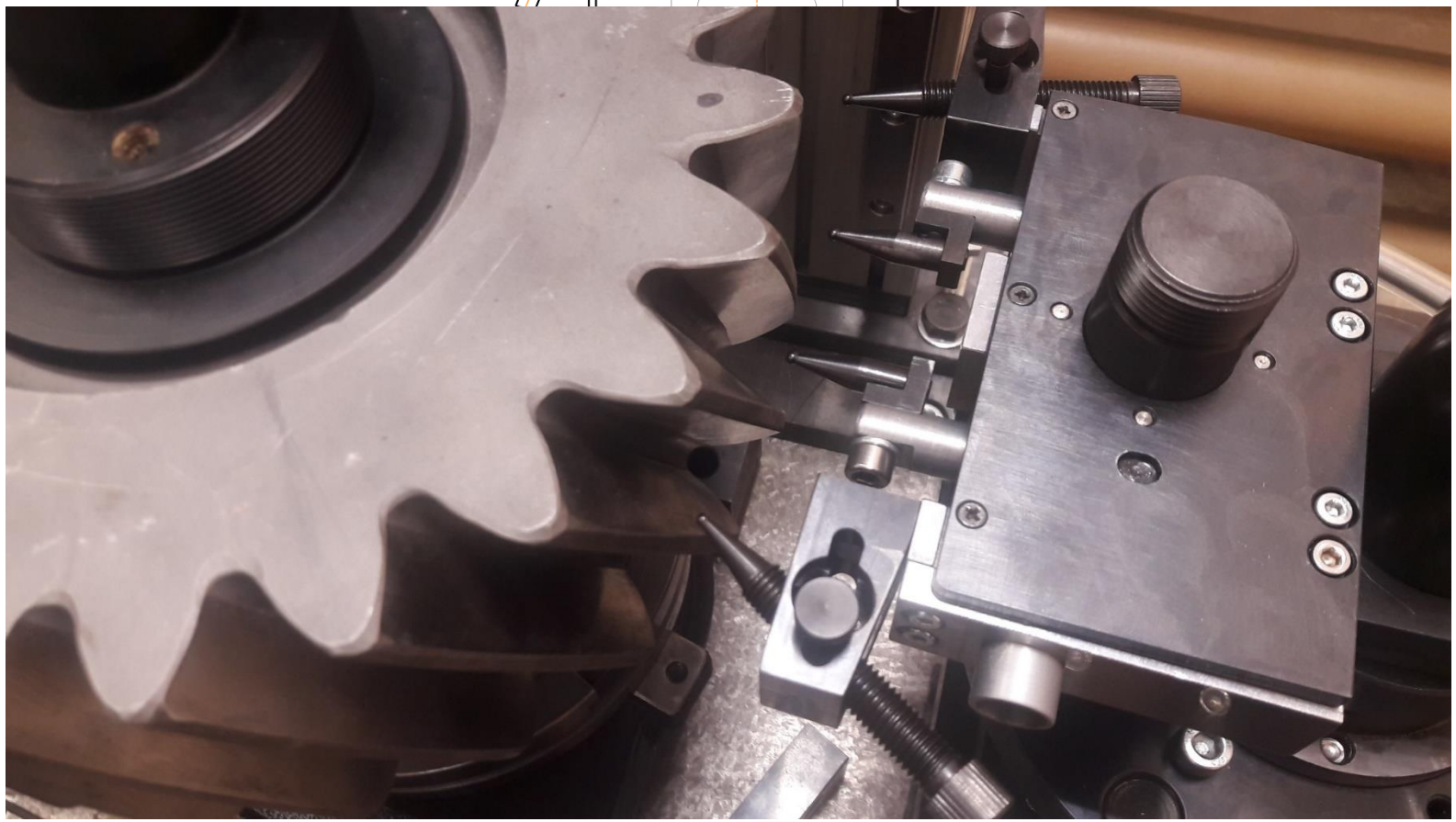


© Сурков И.В.

НИИК-1021. Наладка для контроля отклонения шага зубчатого колеса



[Испытания шагомера на НИИК-1021-1000]



Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе f''_i проводят с помощью межцентромеров серии НИИК-1020 (типа МЦ) и НИИК-1021, описанных выше.

Межцентромер НИИК-1020-400 (МЦ-400)
Измерительная система НИИК-1021-500

НОРМЫ ПЛАВНОСТИ РАБОТЫ, МКМ

Степень точности	Обозначение	Модуль m, мм	Делительный диаметр d, мм	
			До 125	Св.125 до 400
6	f_i''	Св. 3,5 до 6,3	18	20
		Св. 6,3 до 10	20	22
7		Св. 3,5 до 6,3	25	28
		Св. 6,3 до 10	28	32
8		Св. 3,5 до 6,3	36	40
		Св. 6,3 до 10	40	45
9		Св. 3,5 до 6,3	45	50
		Св. 6,3 до 10	50	56

Примечание. f_i'' - допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе.

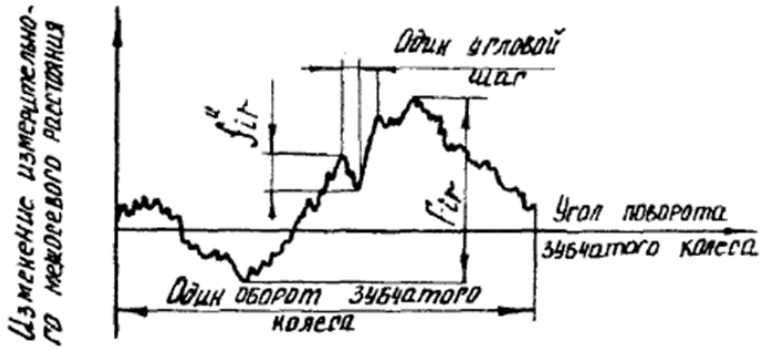


Рис. 5: колебание измерительного межосевого расстояния: F''_{ir} — за один оборот з. к.; f''_{ir} — на одном зубе

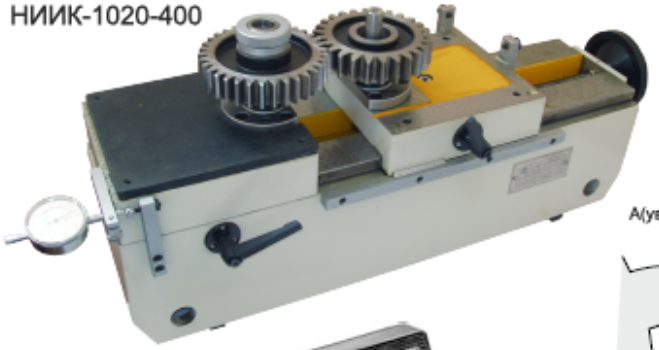
© Сурков И.В.

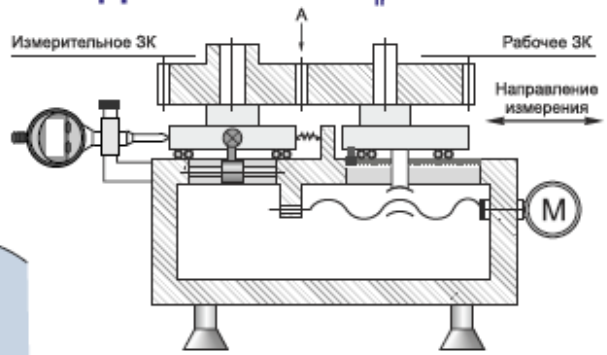
КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАВНОСТИ РАБОТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

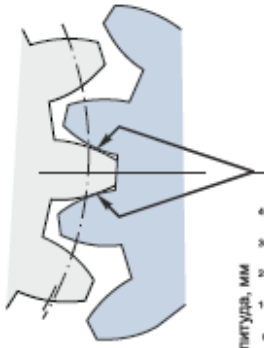
ДВУХПРОФИЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ – КОЛЕБАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МЕЖОСЕВОГО РАССТОЯНИЯ НА ОДНОМ ЗУБЕ f''_{ir}

Измеряется на приборах-межцентромерах, например, НИИК-1020 различных модификаций. Фиксируется разность между наибольшим и наименьшим действительными межосевыми расстояниями при двухпрофильном зацеплении измерительного зубчатого колеса с контролируемым зубчатым колесом при повороте последнего на один угловой шаг. Обычно максимальное значение показателя f''_{ir} фиксируется при выполнении полного оборота контролируемого зубчатого колеса параллельно с контролем колебания измерительного межосевого расстояния за оборот колеса F''_{ir}.

НИИК-1020-400



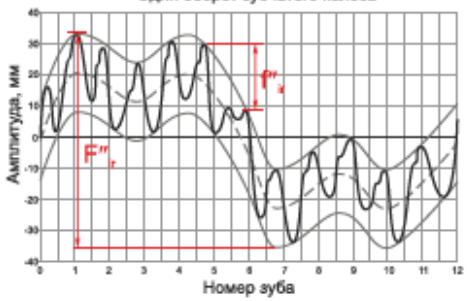




Зацепление без зазора

Прибор-шагомер БВ-5070

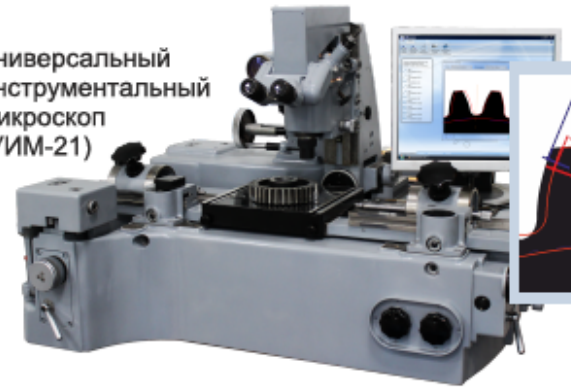
Один оборот зубчатого колеса

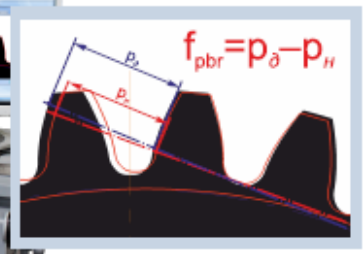


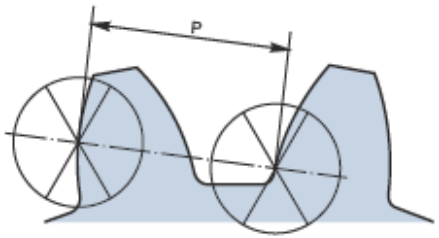
ОТКЛОНЕНИЕ ШАГА ЗАЦЕПЛЕНИЯ f_{pbr}

Измеряется на приборах-шагомерах: БВ-5070, а также с помощью универсальных инструментальных микроскопов различных модификаций, координатно-измерительного оборудования. Фиксируется разность между действительным и номинальным шагами зацепления. Под действительным шагом зацепления понимается кратчайшее расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум одноименным активным боковым поверхностям соседних зубьев зубчатого колеса.

Универсальный инструментальный микроскоп (УИМ-21)



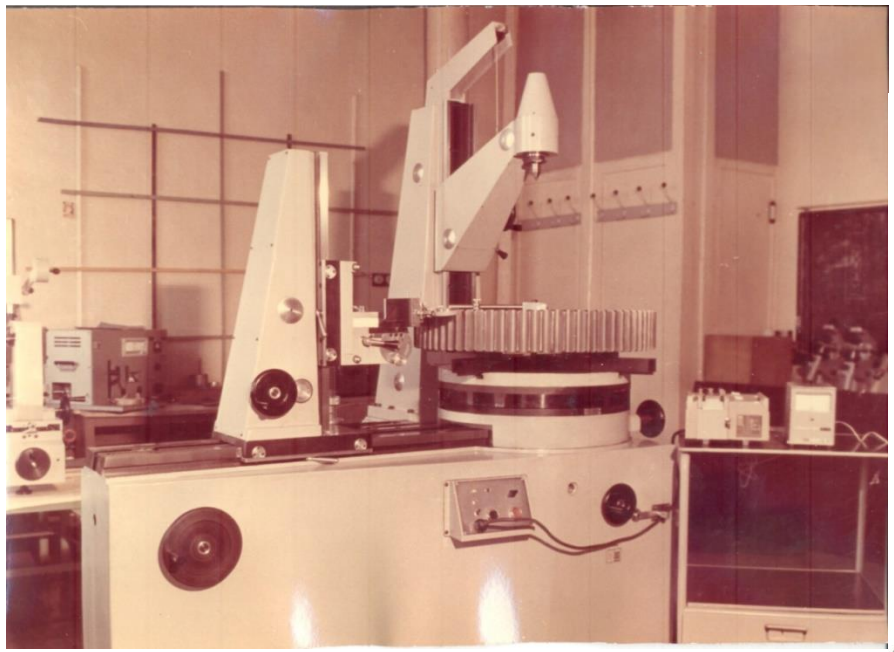




Южно-Уральский государственный университет
Кафедра "Технология машиностроения"

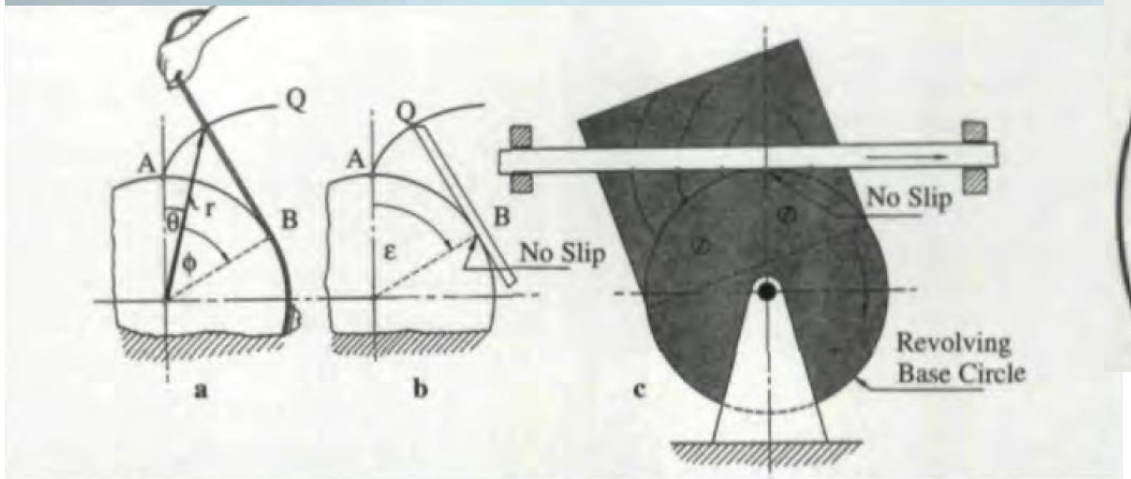
АПП © Сурков И.В.

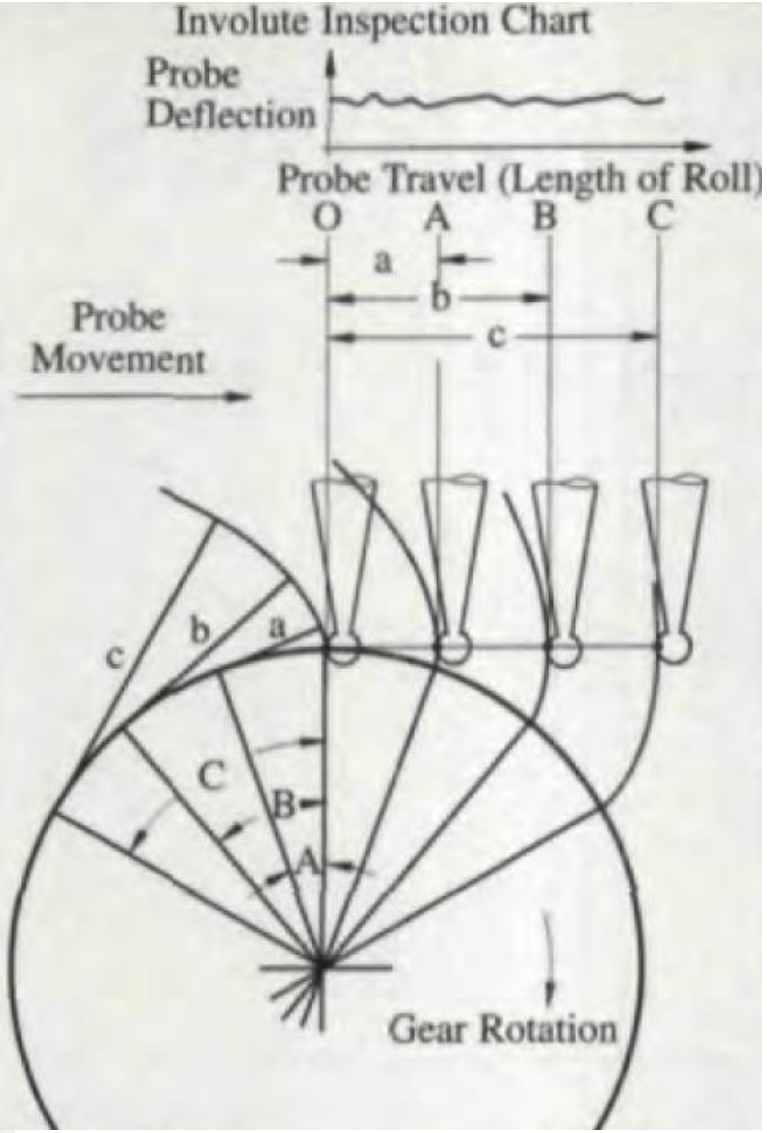
Для измерения погрешности профиля зубчатых колес f применяют в основном **эвольвентомеры**. Принцип измерения заключается в сопоставлении теоретической эвольвентной кривой, воспроизводимой точной **механикой** прибора, с реальной эвольвентной кривой измеряемого зубчатого колеса. По принципиальной схеме воспроизведения теоретической эвольвентной кривой приборы разделяют на **индивидуально-дисковые** и **универсальные**. В метрологических лабораториях до сих пор используют **снятые с производства эвольвентомеры** БВ-5032, БВ-5062, КЭУ-М (ООО НПП ЧИЗ) и VG450 (Carl Zeiss).



© Сурков И.В.

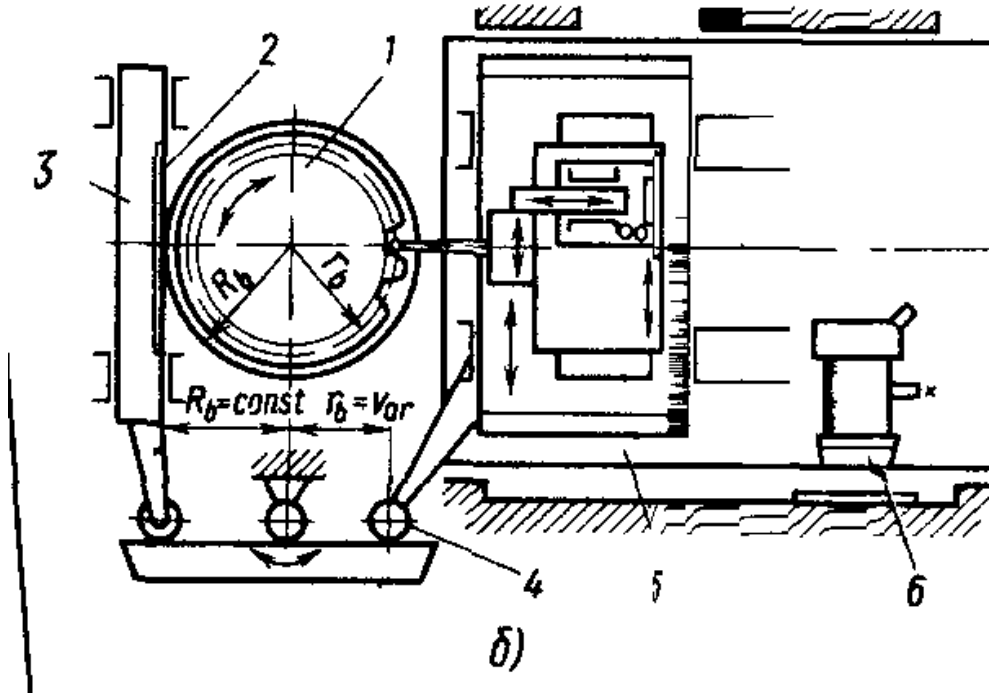
Примеры построения эвольвентного профиля зубчатых колес.

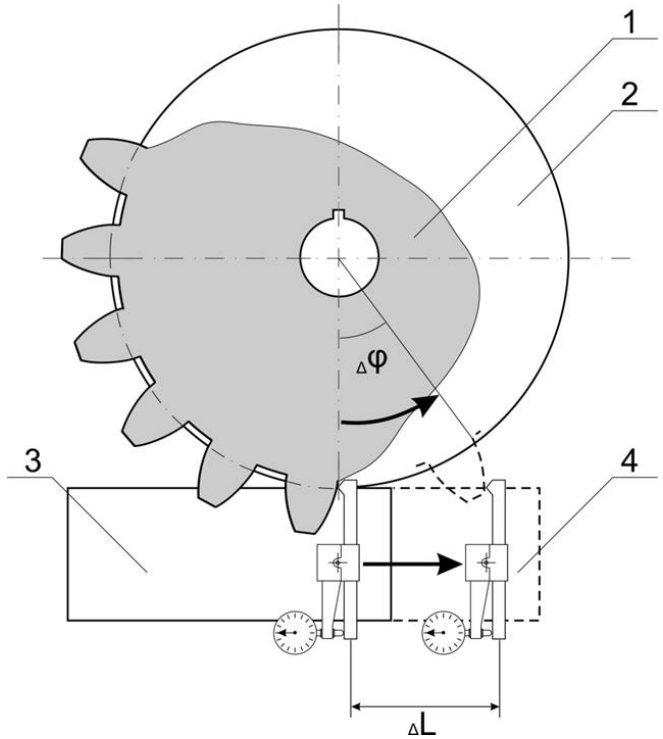




© Сурков И.В.

В индивидуально-дисковых эвольвентомерах, эвольвента воспроизводится с помощью диска *2*, диаметр которого равен диаметру основной окружности измеряемого колеса, и линейки 5, которые без проскальзывания обкатываются относительно друг друга. При этом каждая точка линейки и движении относительно диска перемещается по эвольвенте. Проверяемое колесо *3* устанавливают на одной оси с диском, в процессе измерения оно вращается. Линейка, поджатая к диску перемещается поступательно и несет измерительный узел *4*. Острие наконечника *1* узла *4* находится в плоскости соприкосновения линейки с диском, т. е. острие наконечника перемещается в плоскости измерения по эвольвенте, радиус основной окружности которой равен радиусу диска *2*. Прибор снабжают набором сменных дисков.





© Сурков И.В.

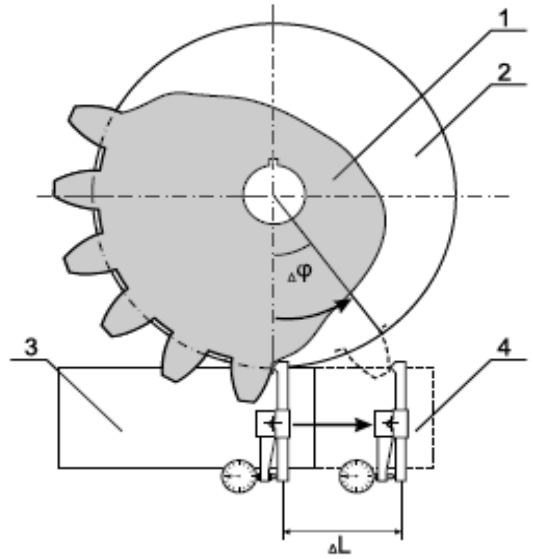
КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАВНОСТИ РАБОТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

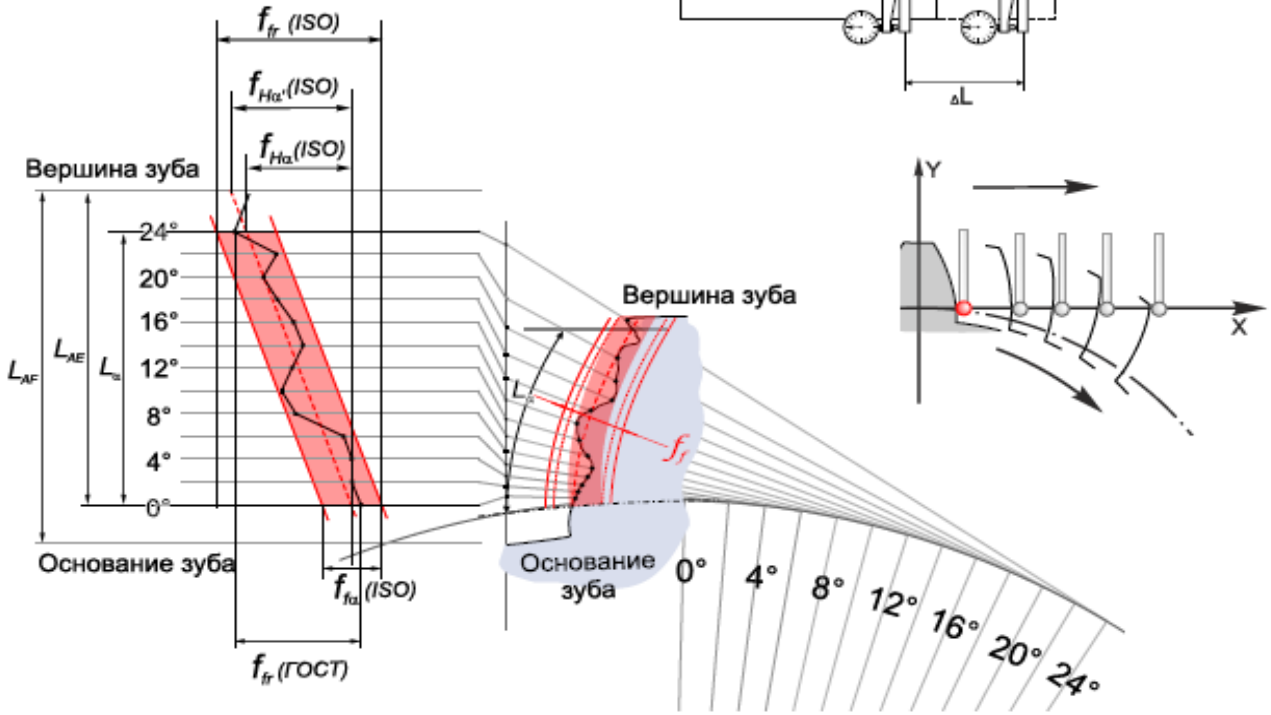
ПОГРЕШНОСТЬ ПРОФИЛЯ ЗУБА f_{fr}

Измерение погрешности профиля зубьев осуществляют специальными приборами - эвольвентомерами. В основе измерения лежит принцип непрерывного сравнения образцовой эвольвенты, воспроизводимой прибором, с действительным профилем измеряемого колеса.

По методу воспроизведения образцовой эвольвенты эвольвентомеры подразделяют на индивидуально-дисковые и универсальные.

В современном машиностроении для контроля погрешности профиля зуба, а также других параметров зубчатого колеса широко используют координатно-измерительные машины и системы различных типов и компоновок с контактными измерительными головками.





В индивидуально-дисковых эвольвентомерах, эвольвента воспроизводится с помощью диска 2, диаметр которого равен диаметру основной окружности измеряемого колеса, и линейки 3, которые без проскальзывания обкатываются относительно друг друга. При этом каждая точка линейки при движении относительно диска перемещается по эвольвенте. Проверяемое колесо 1 устанавливают на одной оси с диском, в процессе измерения оно вращается. Линейка, поджатая к диску перемещается поступательно и несет измерительный узел 4. Острие наконечника узла 4 находится в плоскости соприкосновения линейки с диском, т. е. острие наконечника перемещается в плоскости измерения по теоретически точной эвольвенте, радиус основной окружности которой равен радиусу диска 2. Прибор снабжают набором сменных дисков.

При установке электронного индикатора и самописца погрешность профиля эвольвенты фиксируется в виде диаграммы. В идеальном случае фактический профиль эвольвенты совпадает с теоретическим и наконечник индикатора при обкатке остается неподвижным, следовательно перо самописца также неподвижно и оставляет на движущейся ленте идеальную прямую линию. Наличие погрешностей профиля эвольвенты приводит к отклонению наконечника, что в свою очередь смещает перо самописца и на движущейся ленте отображается ломаная или кривая линия. Анализ получившейся диаграммы позволяет определить погрешность профиля зуба f_f. Ее величина при измерении не должна превышать заданного в ГОСТ 1643 – 81 в соответствии со степенью точности проверяемого зубчатого колеса значения допуска f_f. Дополнительно можно определить нормируемые в ISO 1328-1 погрешность формы профиля зуба $f_{f\alpha}$ и погрешность наклона профиля зуба $f_{H\alpha}$. Эти показатели очень важны при анализе погрешностей технологической системы зубообрабатывающего станка для разработки вариантов его подналадки.

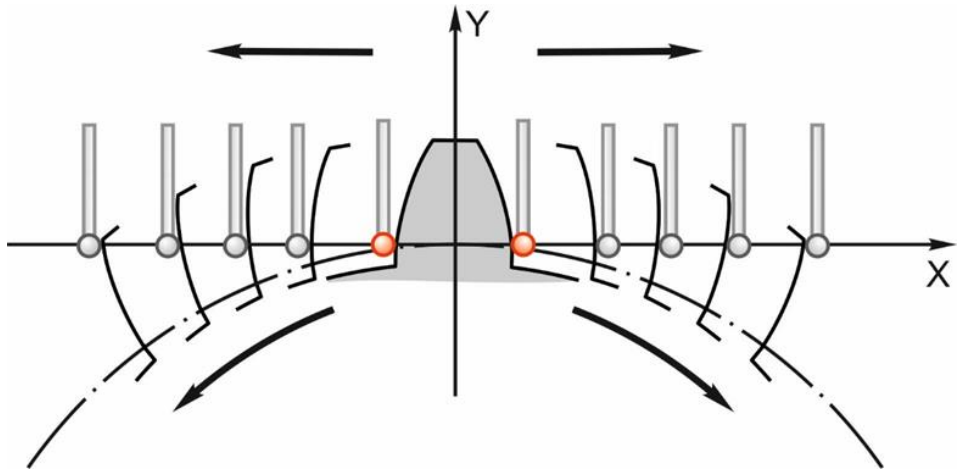
Особенности измерения на эвольвентомерах определили «традиционную» форму графического представления диаграммы: по оси абсцисс (направление перемещения пера самописца) откладывается погрешность профиля, по оси ординат (вдоль перемещения ленты) - угловой шаг поворота зубчатого колеса. При этом точки на эвольвенте располагаются с неравномерным шагом. Современные измерительные приборы и координатно-измерительное оборудование с компьютерной обработкой информации обеспечивают представление диаграммы в протоколе контроля как в «традиционной» форме, так и с равномерным шагом точек вдоль развернутой эвольвенты или с одинаковым интервалом вдоль радиуса зубчатого колеса.

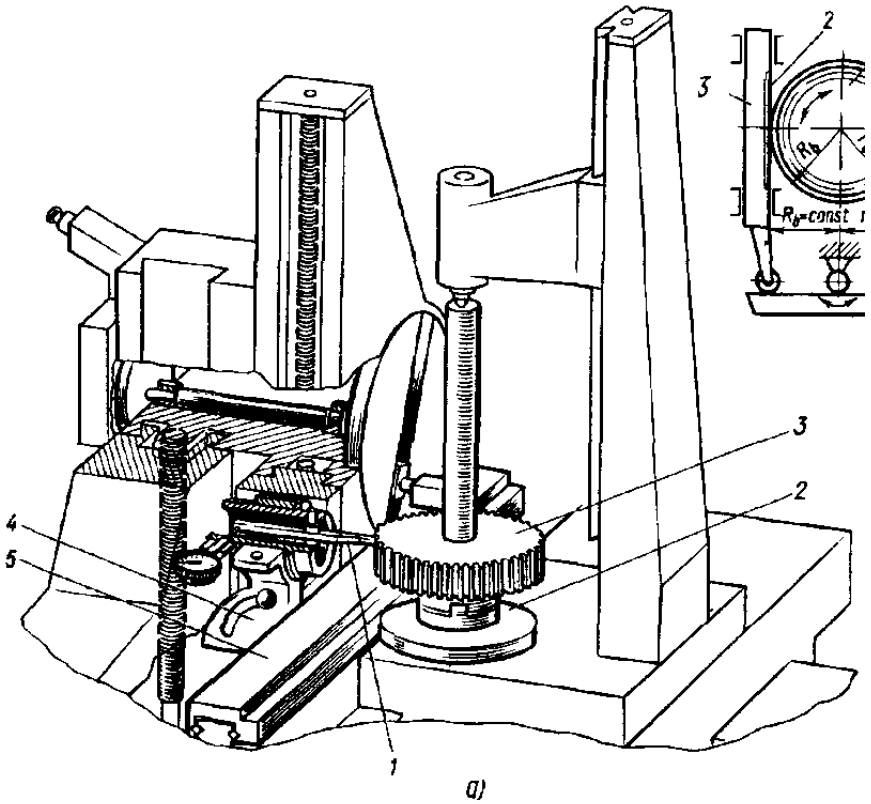
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра "Технология машиностроения"

© Сурков И.В.

В универсальных эвольвентомерах имеются устройства, которые дают возможность настраивать прибор на воспроизведение эвольвенты разных радиусов, основной окружности без сменных элементов.

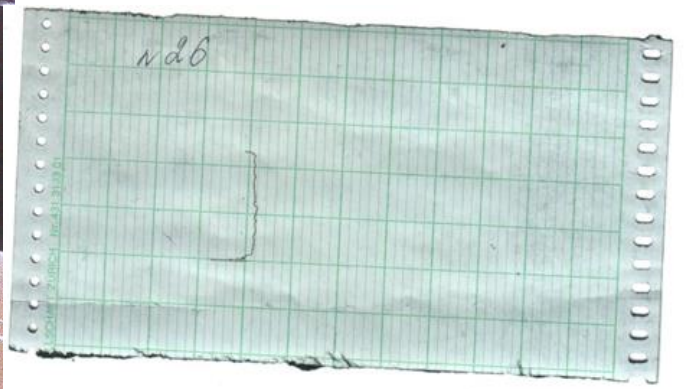
В приборе БВ-5062 эвольвента воспроизводится с помощью сектора *1*, являющегося частью диска постоянной основной окружности в приборе. Связь этого сектора с кареткой 3, которая воспроизводит линейку обката, осуществляется с помощью лент *2*, охватывающих сектор и закрепленных на линейке. Изменение радиуса основной окружности в зависимости от требуемой эвольвентной кривой для измеряемого колеса осуществляется изменением соотношений плеч рычажной передачи положением каретки *5* и упора *4*, находящегося на каретке 5, несущей измерительный узел. Отсчет при настройке на радиус основной окружности производят по оптической шкале с помощью микроскопа 6.

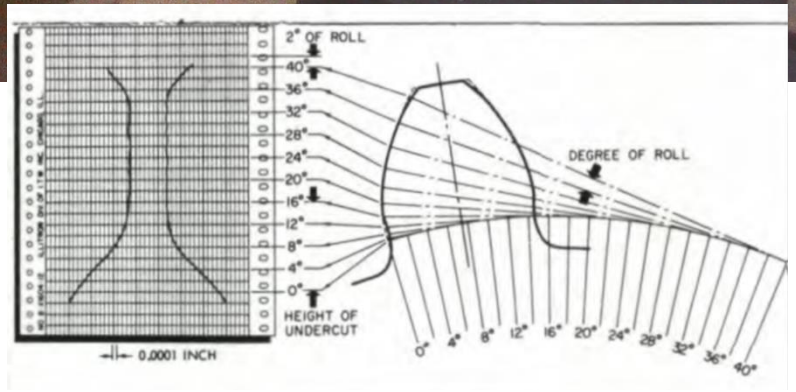


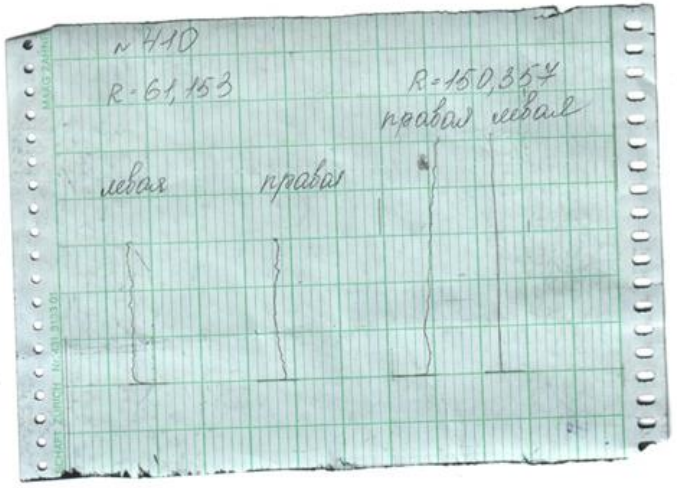


© Сурков И.В.

Прибор контроля эвольвентного профиля зубчатых колес.

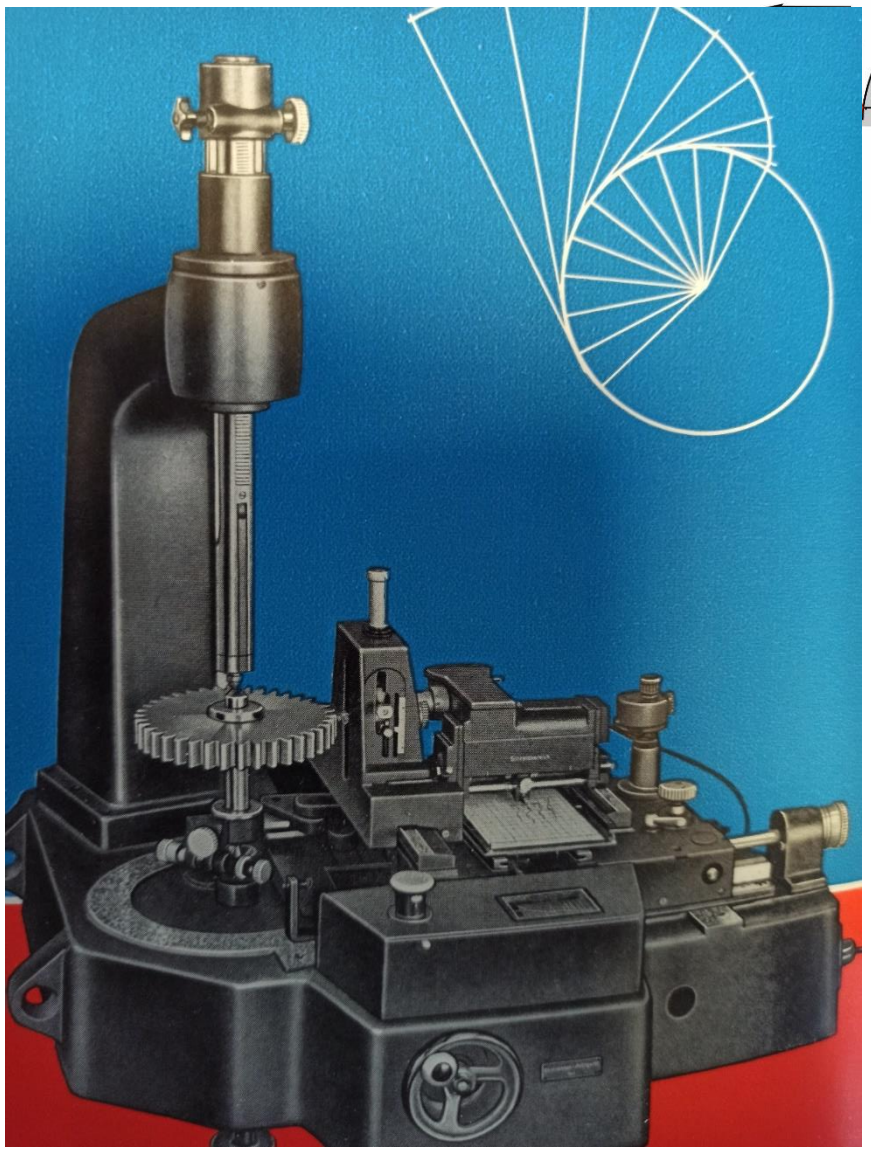




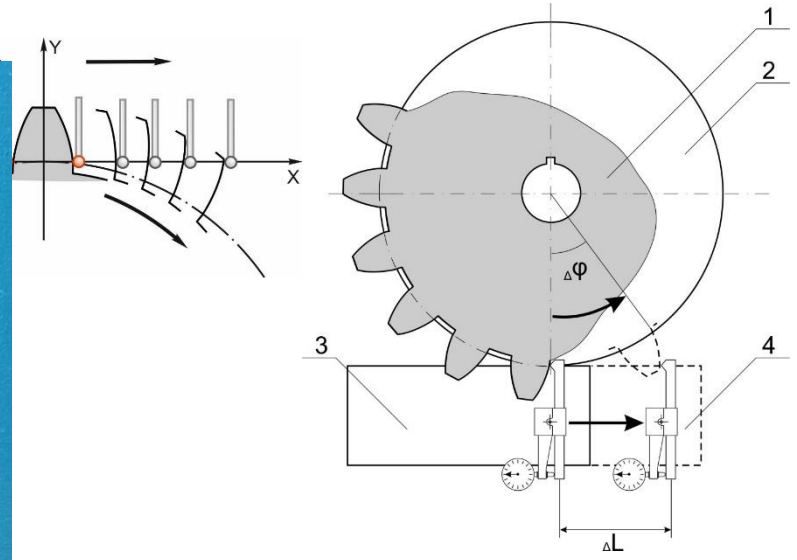


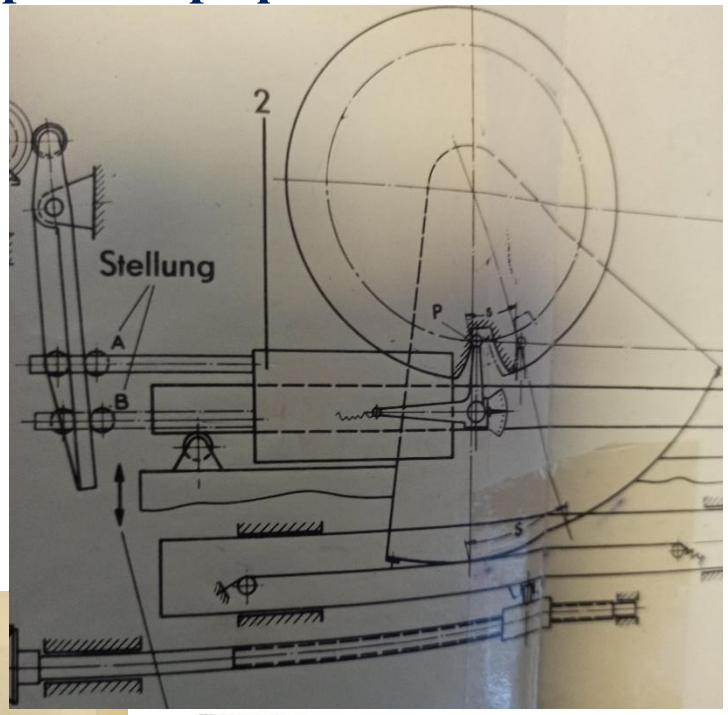
© Сурков И.В.

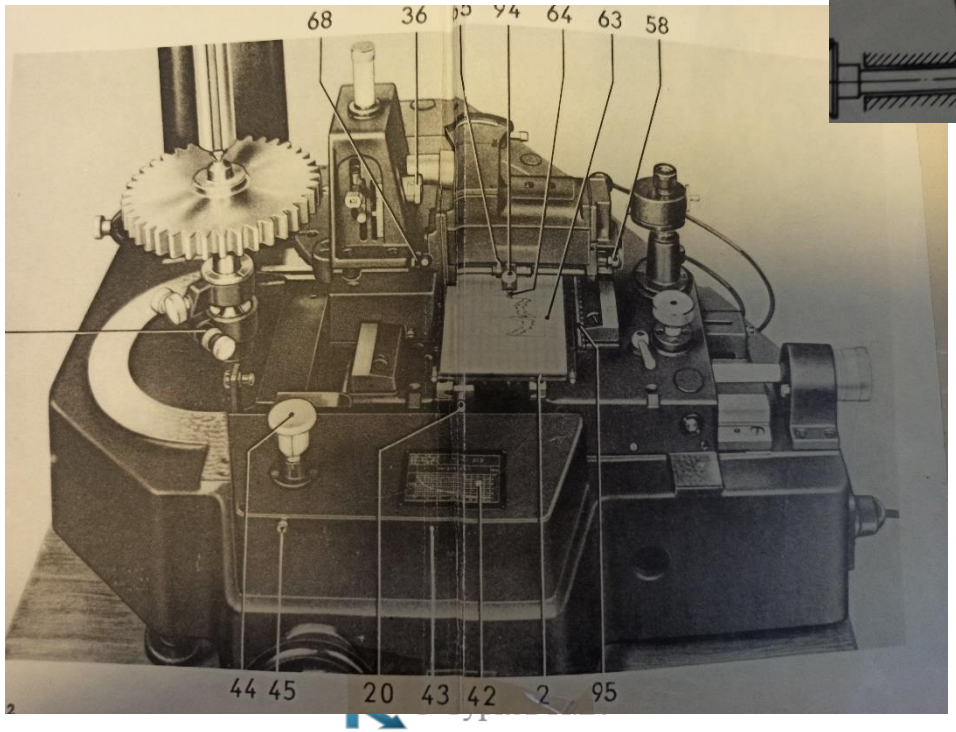
Принципы фиксации графического изображения диаграммы измерения профиля эвольвенты

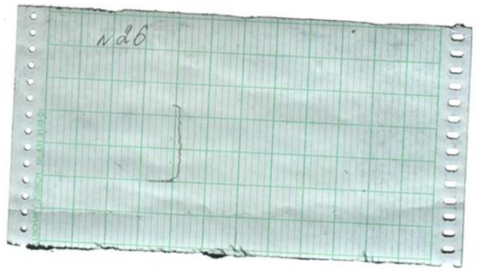


[Видео с выставки-2013]

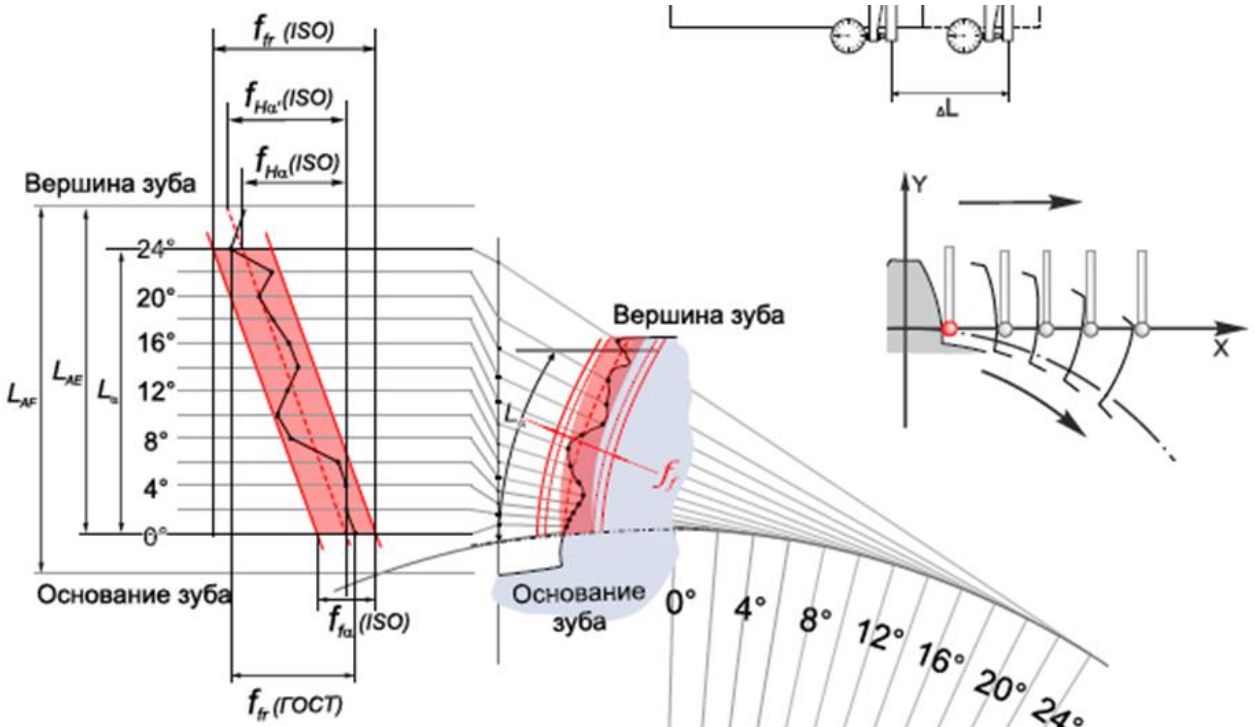


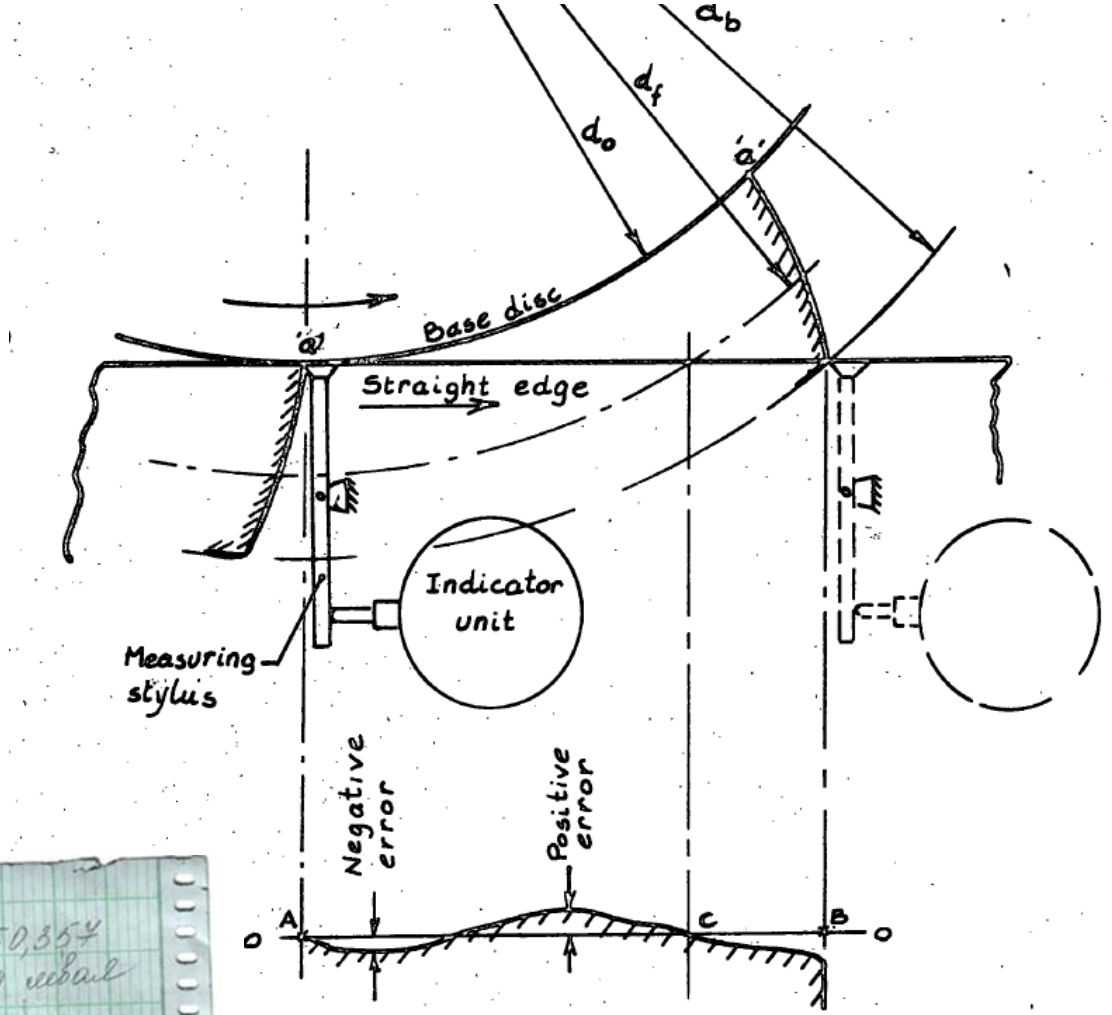


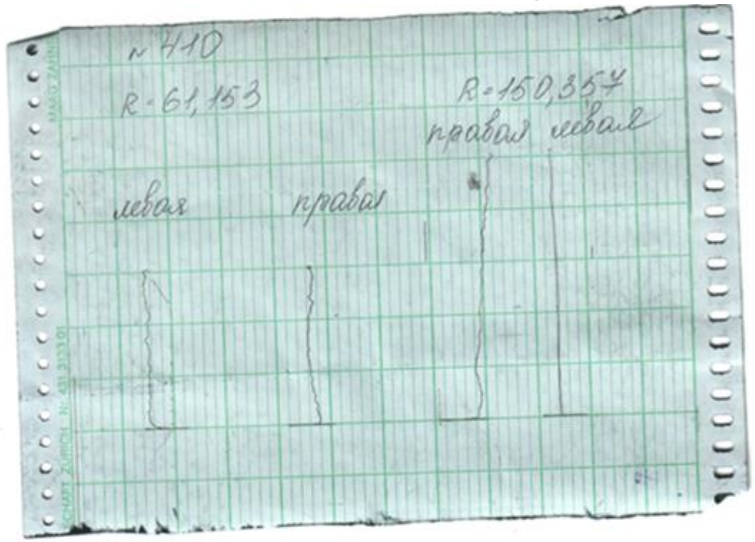




Анализ диаграммы измерения профиля

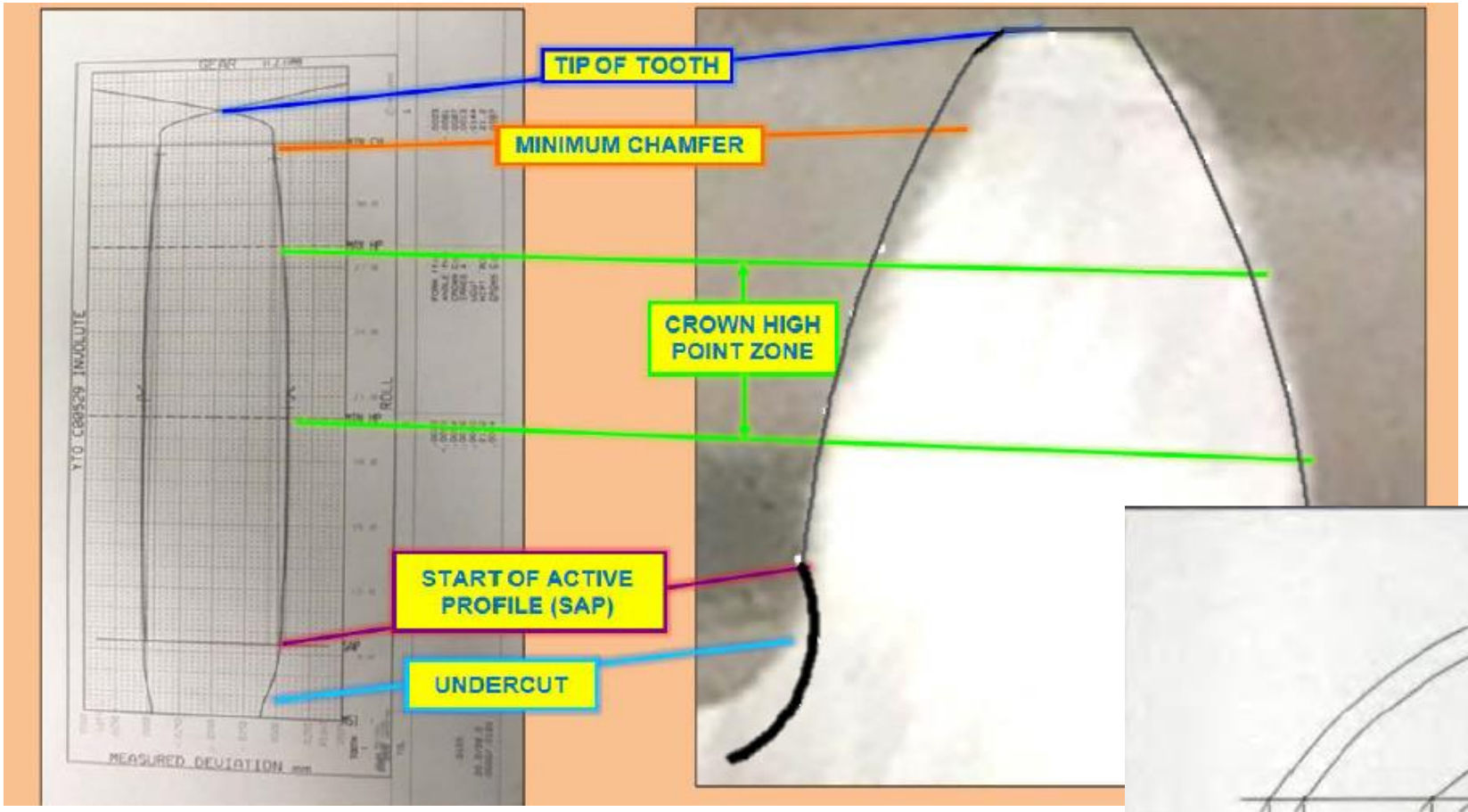


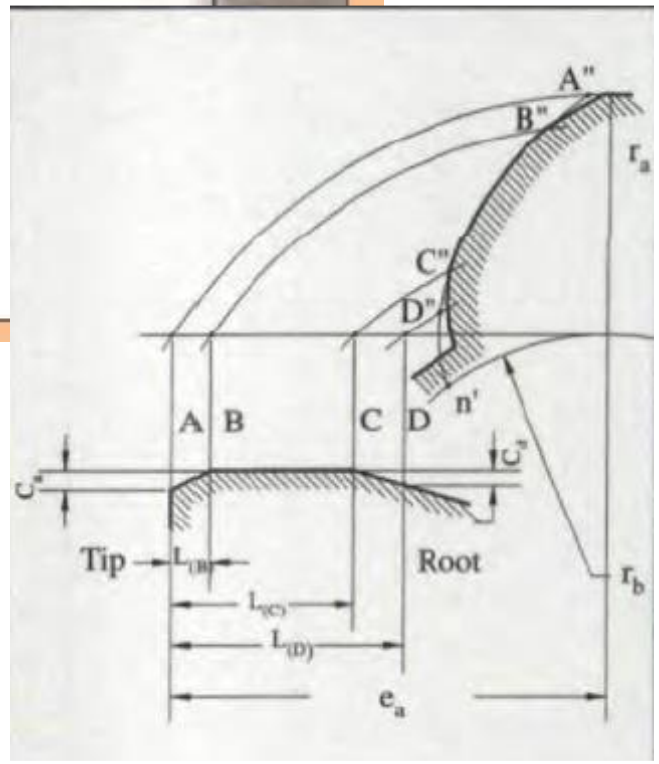




© Сурков И.В.

Анализ диаграммы измерения профиля





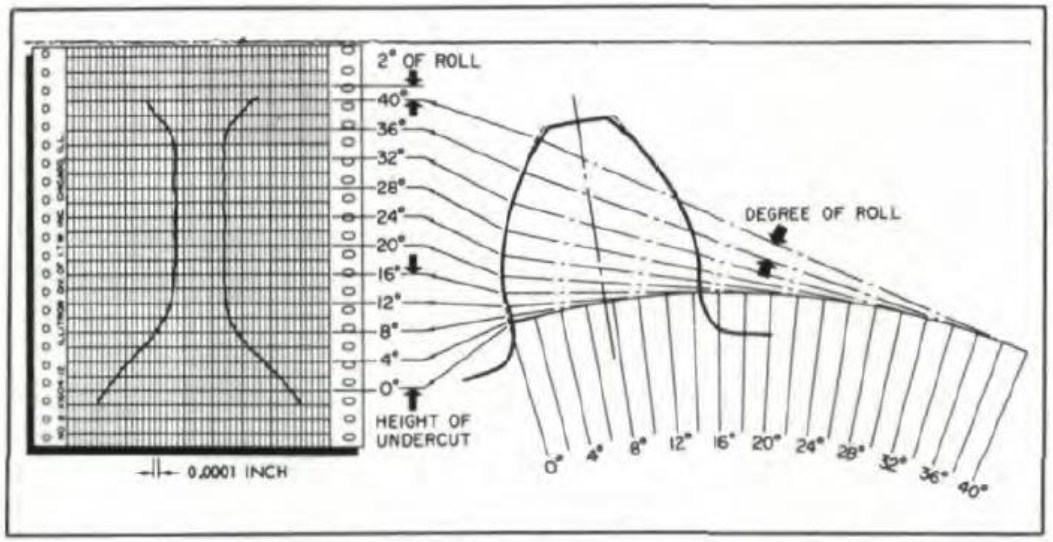
© Сурков И.В.

Анализ диаграммы измерения профиля

Gear Technology, May/June 1985

Gear Inspection and Chart Interpretation

by
Robert H. Moderow
ITW Illitron



Gear Technology, May/June (p.1), July/August (p.2)1994

Computerized Hob Inspection & Applications of Inspection Results — Part I

Yefim Kotlyar
Gear Processing & Metrology Consultant
Skokie, IL

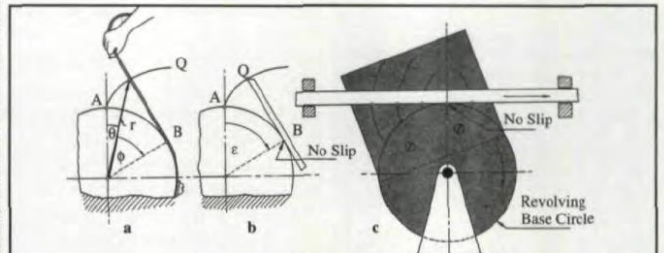
Gear Technology, July/August 1997

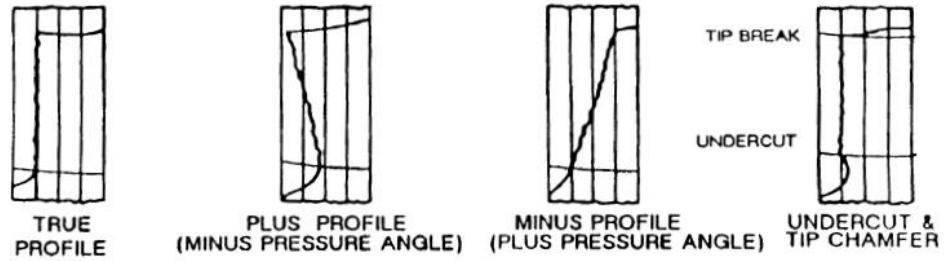
Involute Inspection Methods and Interpretation of Inspection Results

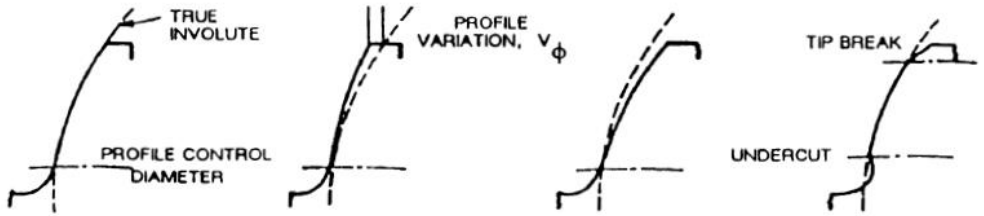
Yefim Kotlyar

Introduction

What is so unique about gear manufacturing and inspection? Machining is mostly associated with making either flat or cylindrical shapes. These shapes can be created by a machine's simple linear or circular movements, but an involute curve is neither a straight line nor a circle. In fact, each point of the involute curve has a different radius and center of curva-

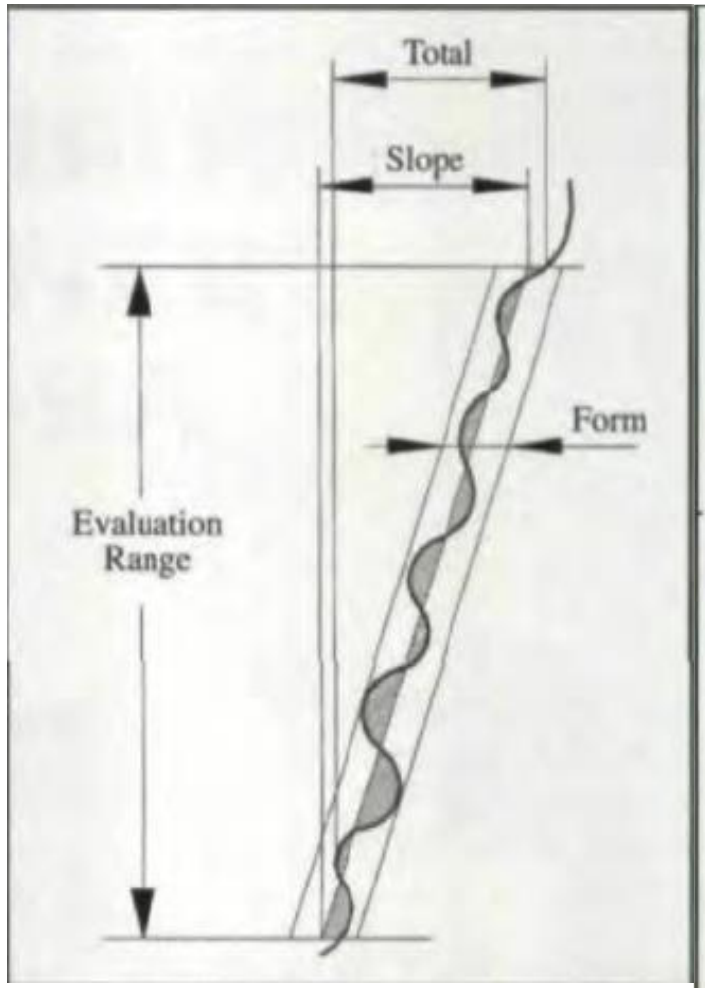


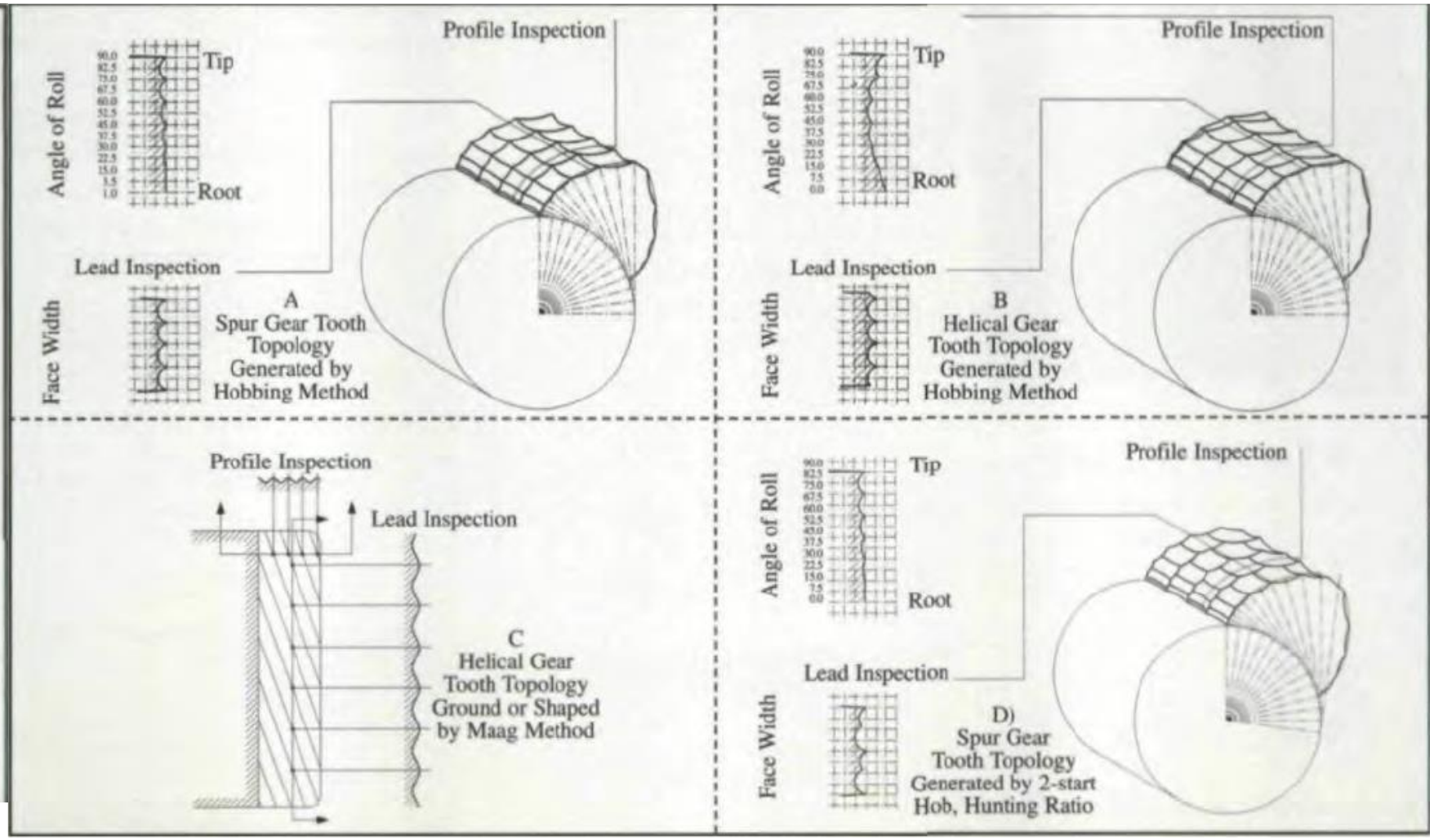




© Сурков И.В.

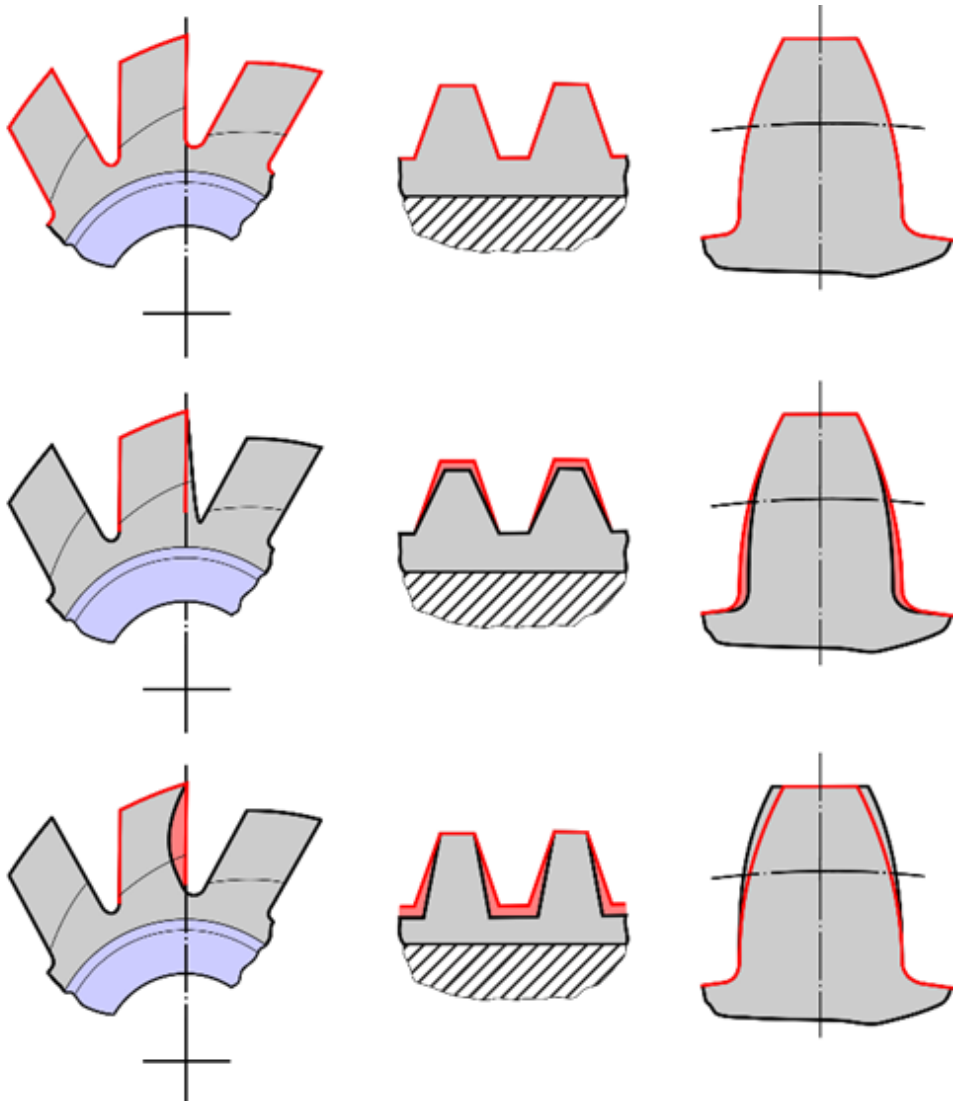
Анализ диаграммы измерения профиля и направления зуба

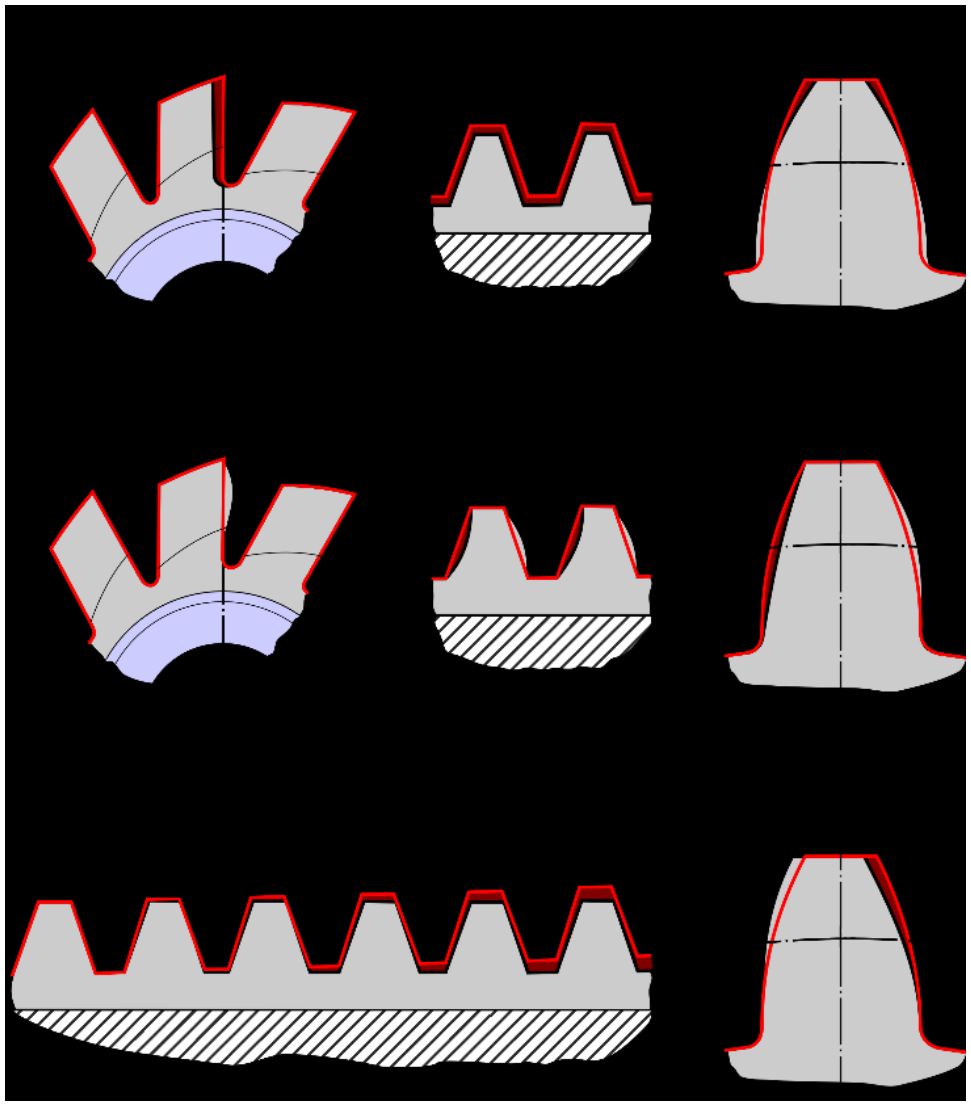




© Сурков И.В.

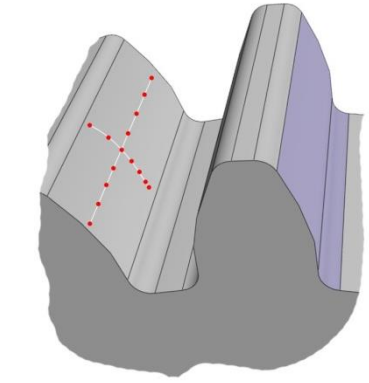
Влияние погрешностей червячной фрезы на отклонение профиля зуба

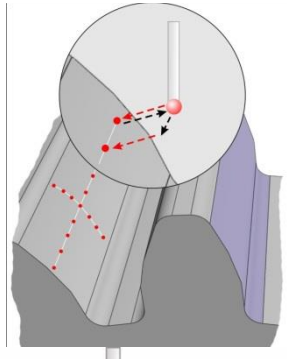


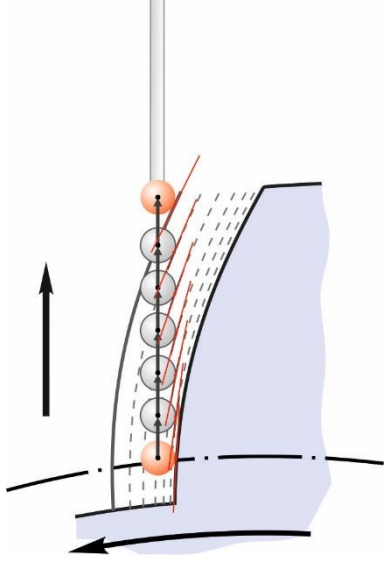


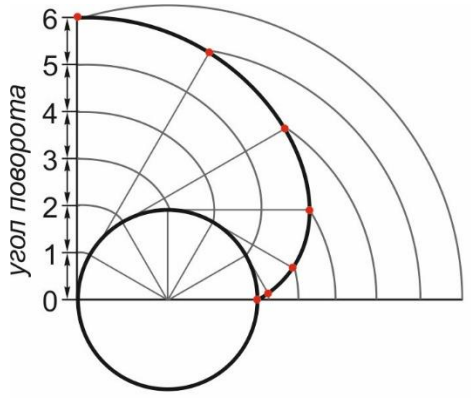
© Сурков И.В.

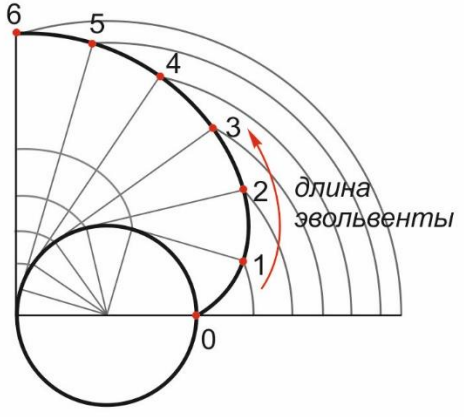
Разработка стратегий координатных измерений зубчатых колес. Влияние схемы расположения точек на профиле.

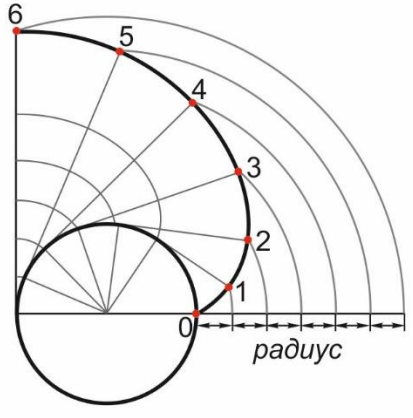


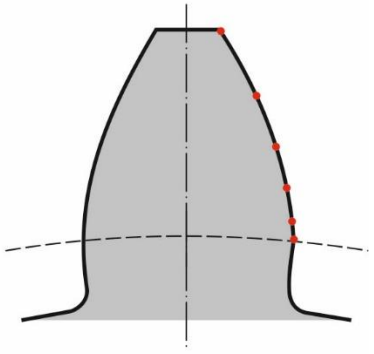


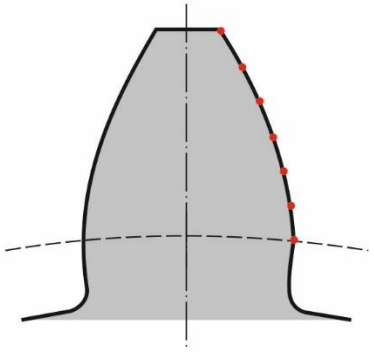


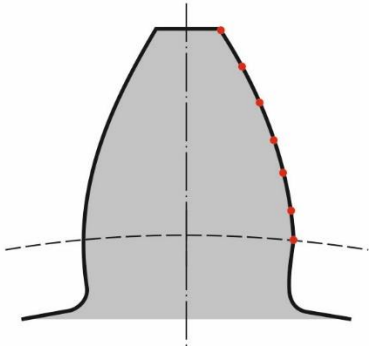




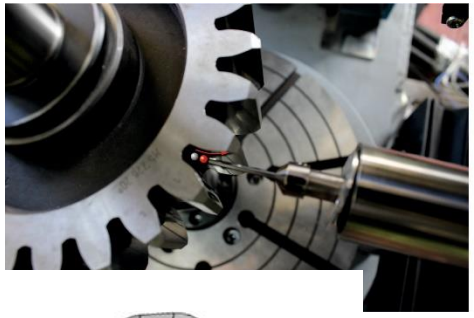


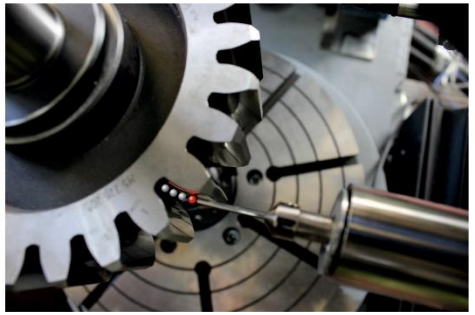


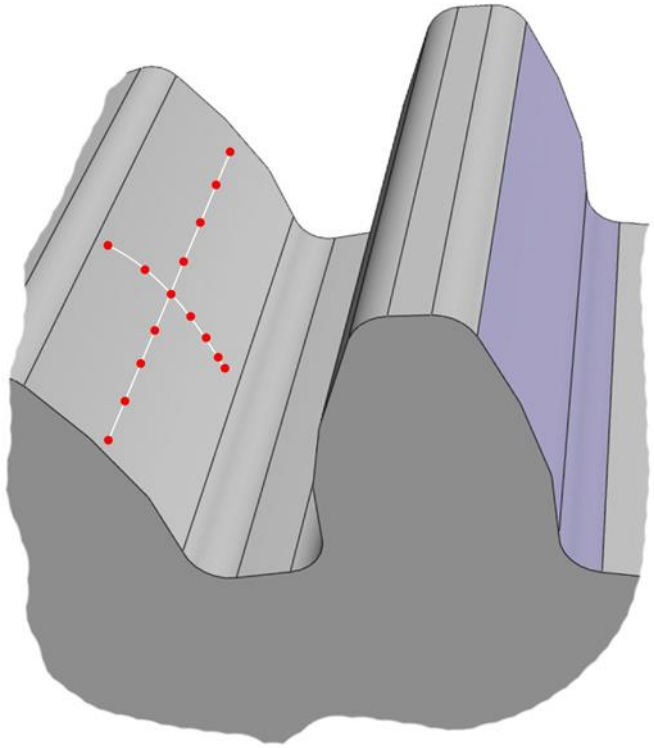


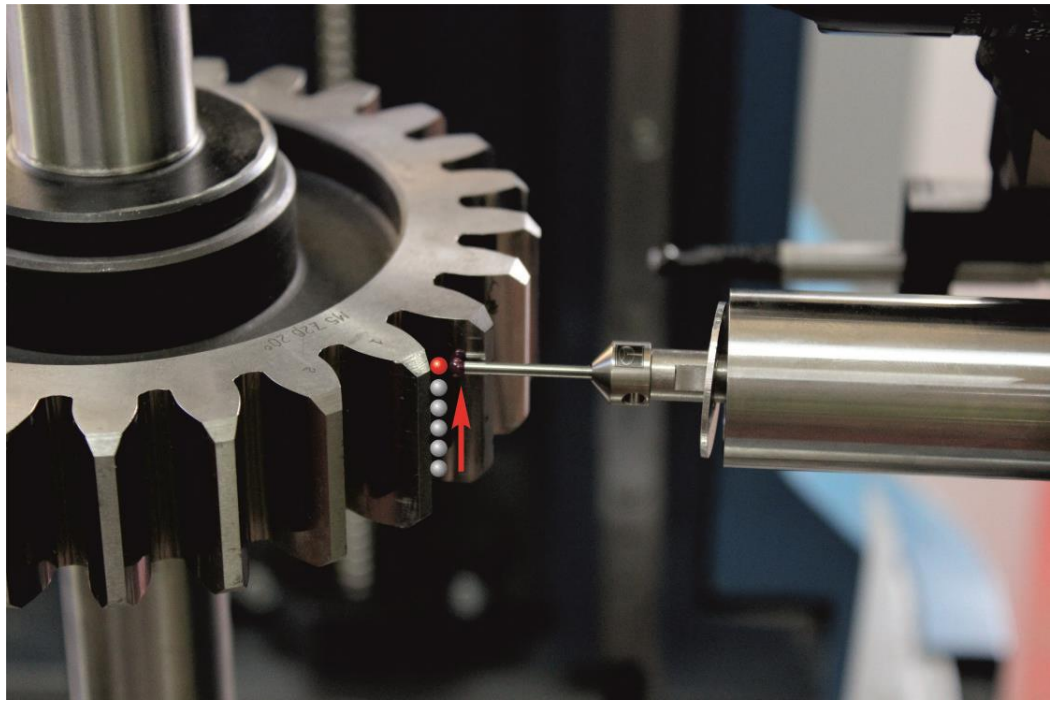


Разработка стратегий координатных измерений зубчатых колес

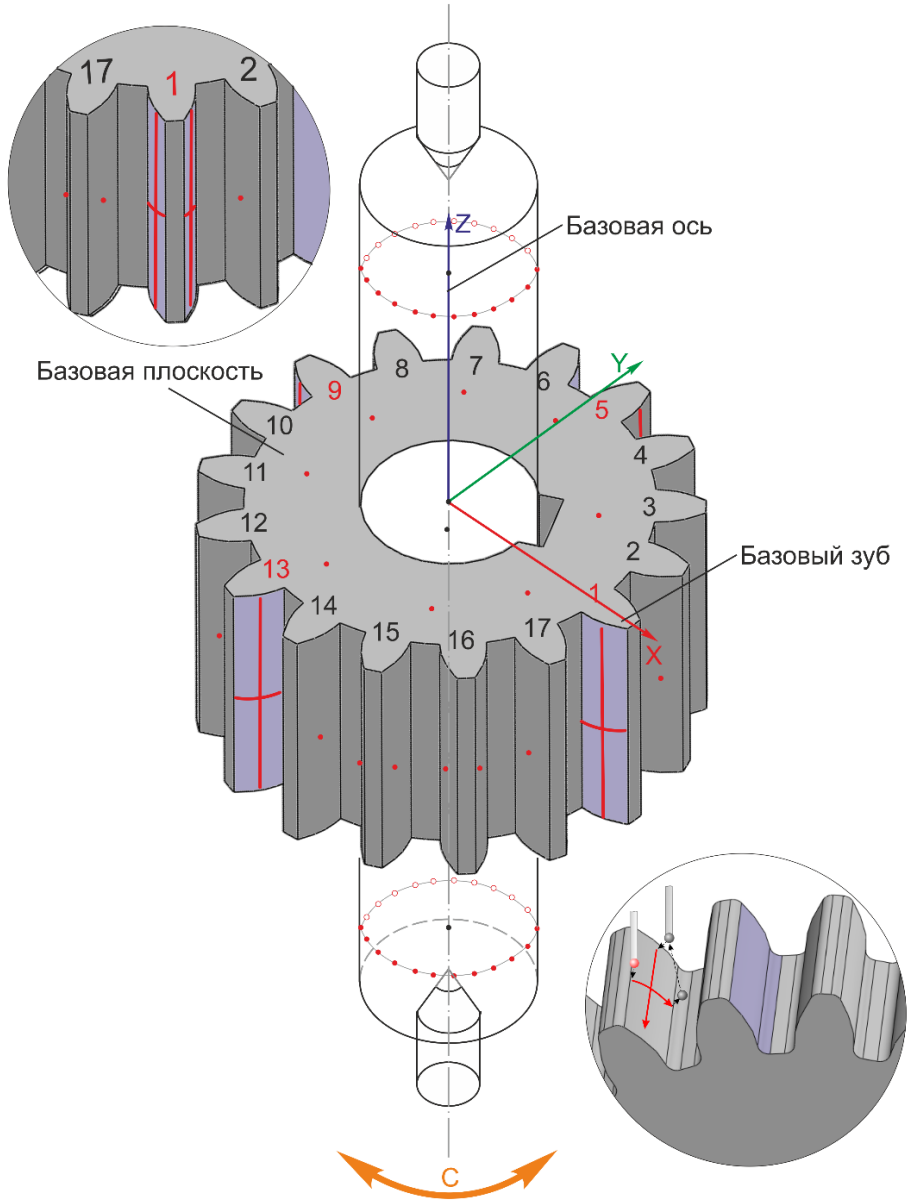




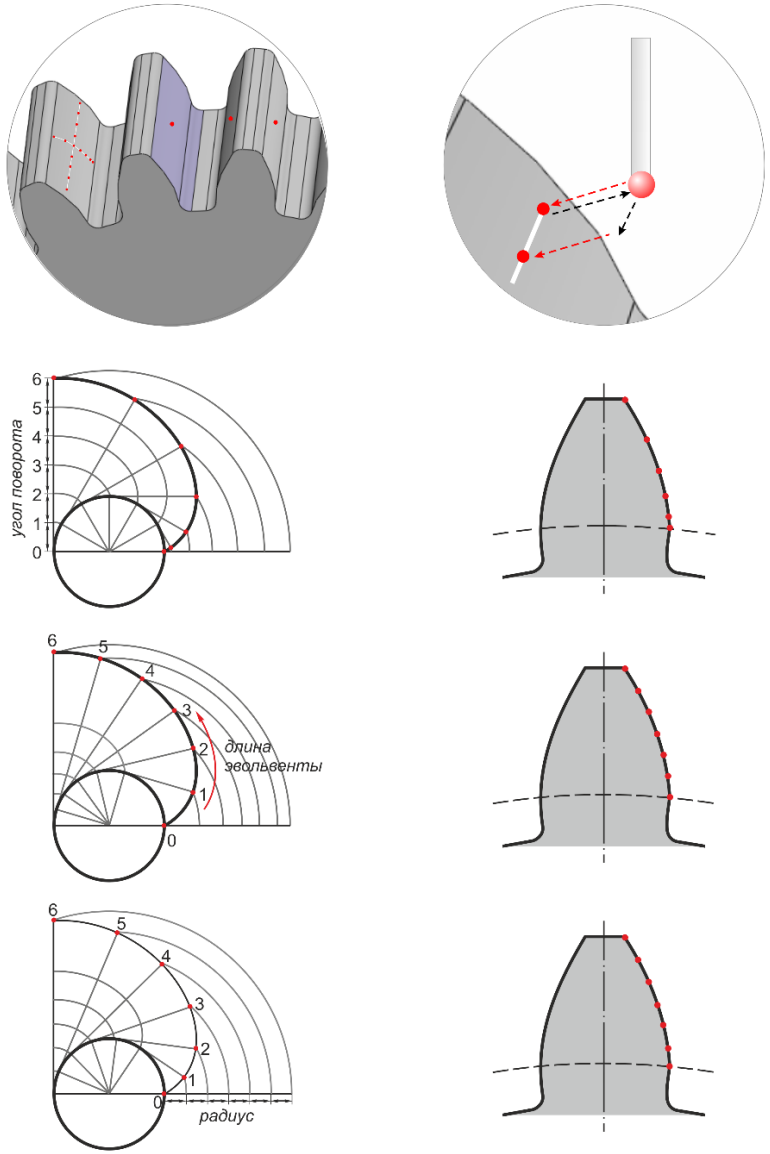




Стратегия измерения зубчатого колеса сканирующей измерительной головкой



Варианты стратегий измерения зубчатого колеса триггерной измерительной головкой



Варианты оформления диаграммы измерения профиля

Mahr GMX 275 03.10_1.76 PPC

Gear Metrology
Mahr GmbH

18.01.06
11:27:15
Operator:

Signature:

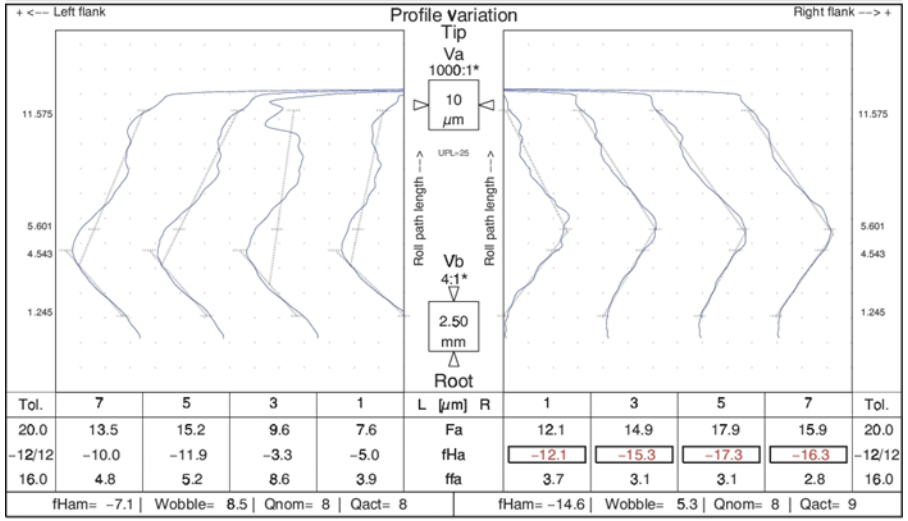
Workpiece:
Drawing No.: P_gear_TB
Operation: qpm

Wagner

Comments:

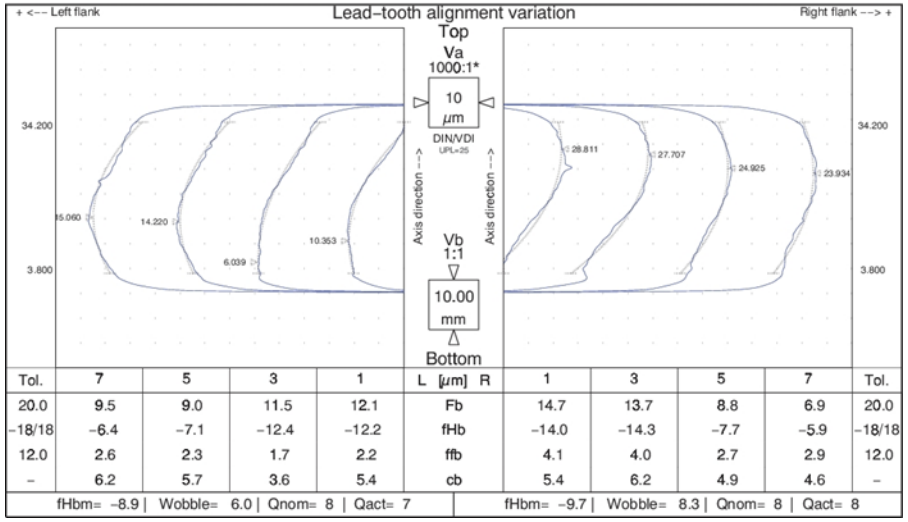
No. of teeth	11	Base diameter	27.6845 mm	Total quality (DIN3962):
Normal module	2.5730 mm	Normal Press. angle	12.0000 °	Qnom= 8 Qact= 9
Face width	38.0000 mm	Helix angle	0.0000 °	
Probe stylus diameter	2.0009 mm	Addend. modif.	0.0000	

df(act)= 24.3832 Tol.= −0.030/ 0.030 (24.300) mm da(act)= 37.2353 Tol.= −0.020/ 0.020 (37.230) mm



Tol.	7	5	3	1	L [µm] R	1	3	5	7	Tol.
20.0	13.5	15.2	9.6	7.6	Fa	12.1	14.9	17.9	15.9	20.0
−12/12	−10.0	−11.9	−3.3	−5.0	fHa	−12.1	−15.3	−17.3	−16.3	−12/12
16.0	4.8	5.2	8.6	3.9	ffa	3.7	3.1	3.1	2.8	16.0

fHam= −7.1 | Wobble= 8.5 | Qnom= 8 | Qact= 8 fHam= −14.6 | Wobble= 5.3 | Qnom= 8 | Qact= 9



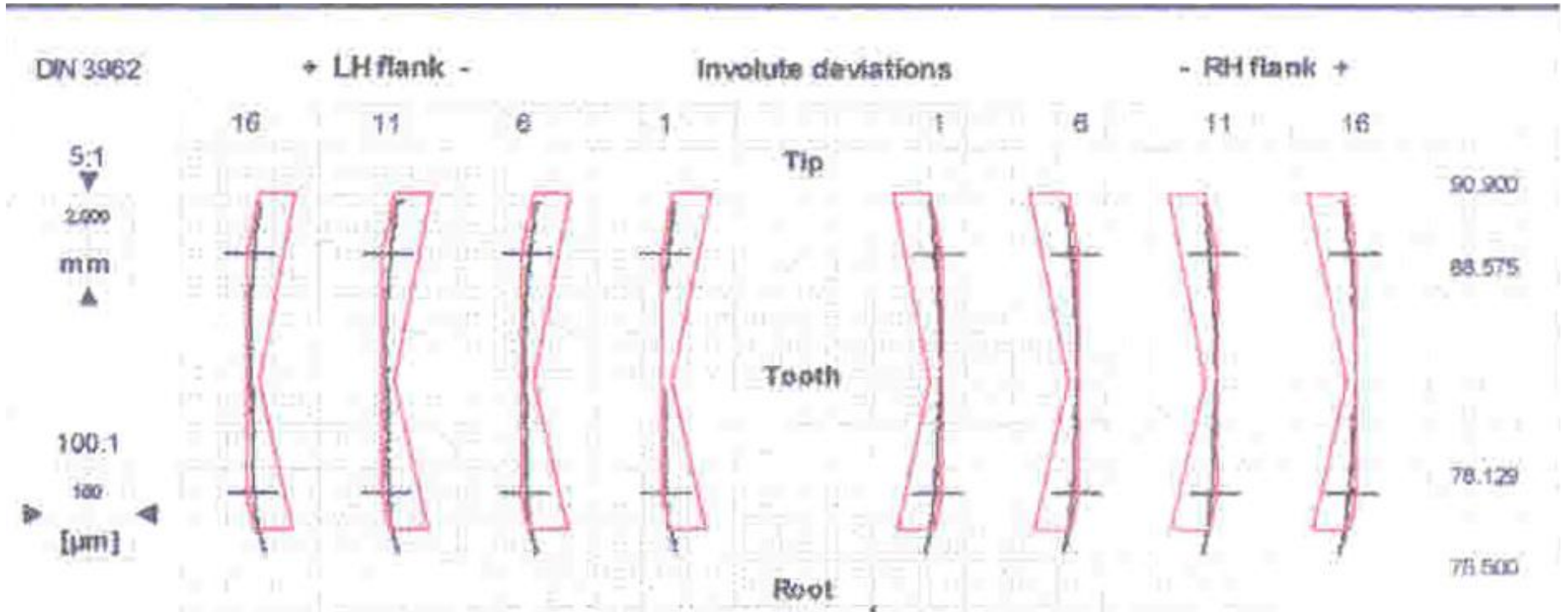
Tol.	7	5	3	1	L [µm] R	1	3	5	7	Tol.
20.0	9.5	9.0	11.5	12.1	Fb	14.7	13.7	8.8	6.9	20.0
−18/18	−6.4	−7.1	−12.4	−12.2	fHb	−14.0	−14.3	−7.7	−5.9	−18/18
12.0	2.6	2.3	1.7	2.2	ffb	4.1	4.0	2.7	2.9	12.0
–	6.2	5.7	3.6	5.4	cb	5.4	6.2	4.9	4.6	–

fHbm= −8.9 | Wobble= 6.0 | Qnom= 8 | Qact= 7 fHbm= −9.7 | Wobble= 8.3 | Qnom= 8 | Qact= 8

[Видео Mahr MARGEAR (видео)](#)
[Инструкция](#)

© Сурков И.В.

Варианты оформления диаграммы измерения профиля

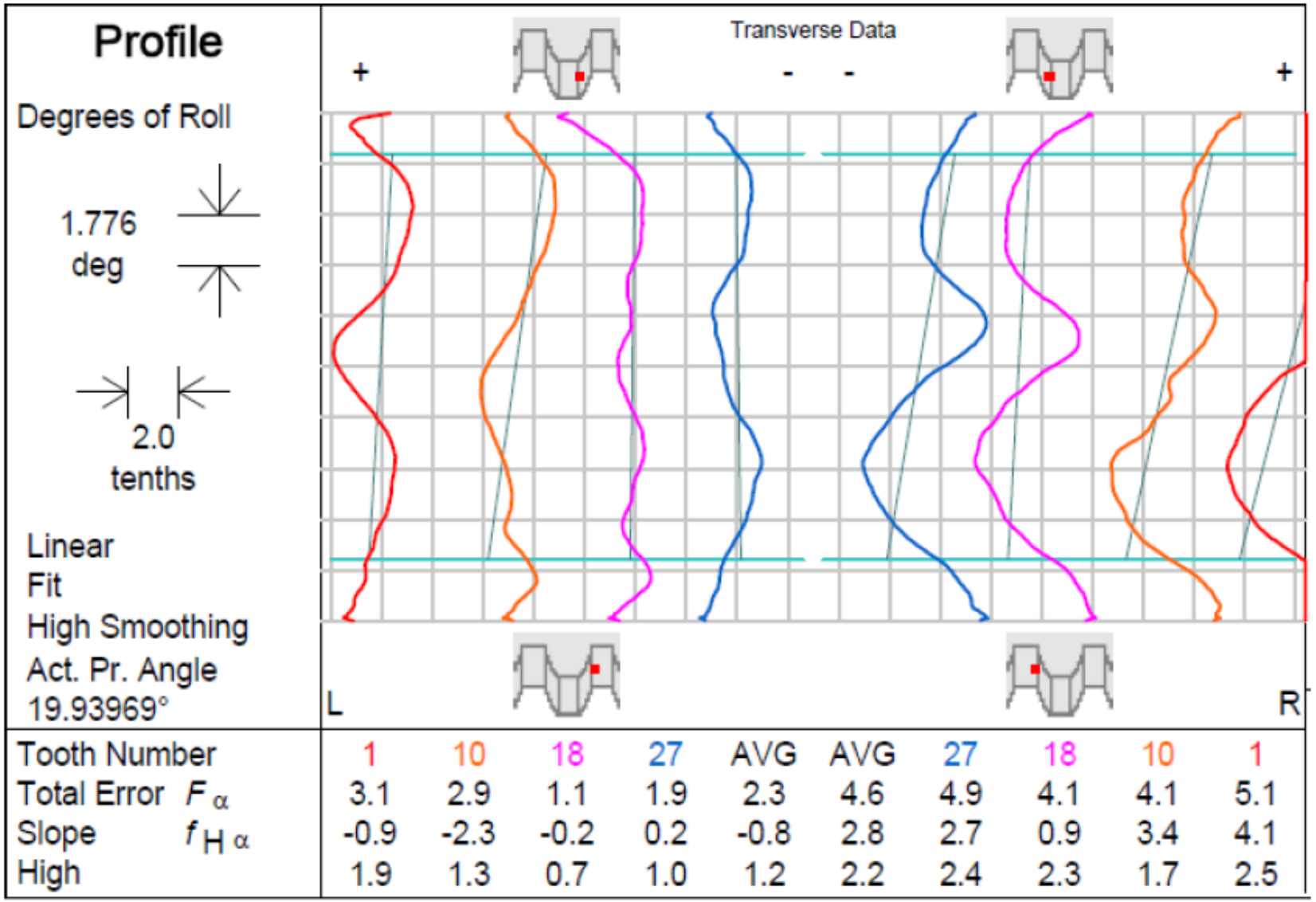


Adm. value		Measured value					Measured value				
F_f	18.0 / 7										
$f_{H\alpha}$	10.0 / 7	2.1/3	-0.5/1	-1.2/1	0.2/1	0.2/3	1.4/1	-0.8/1	-1.6/2	1.8/2	0.2/2
f_f	14.0 / 7										
c_{α}											

© Сурков И.В.

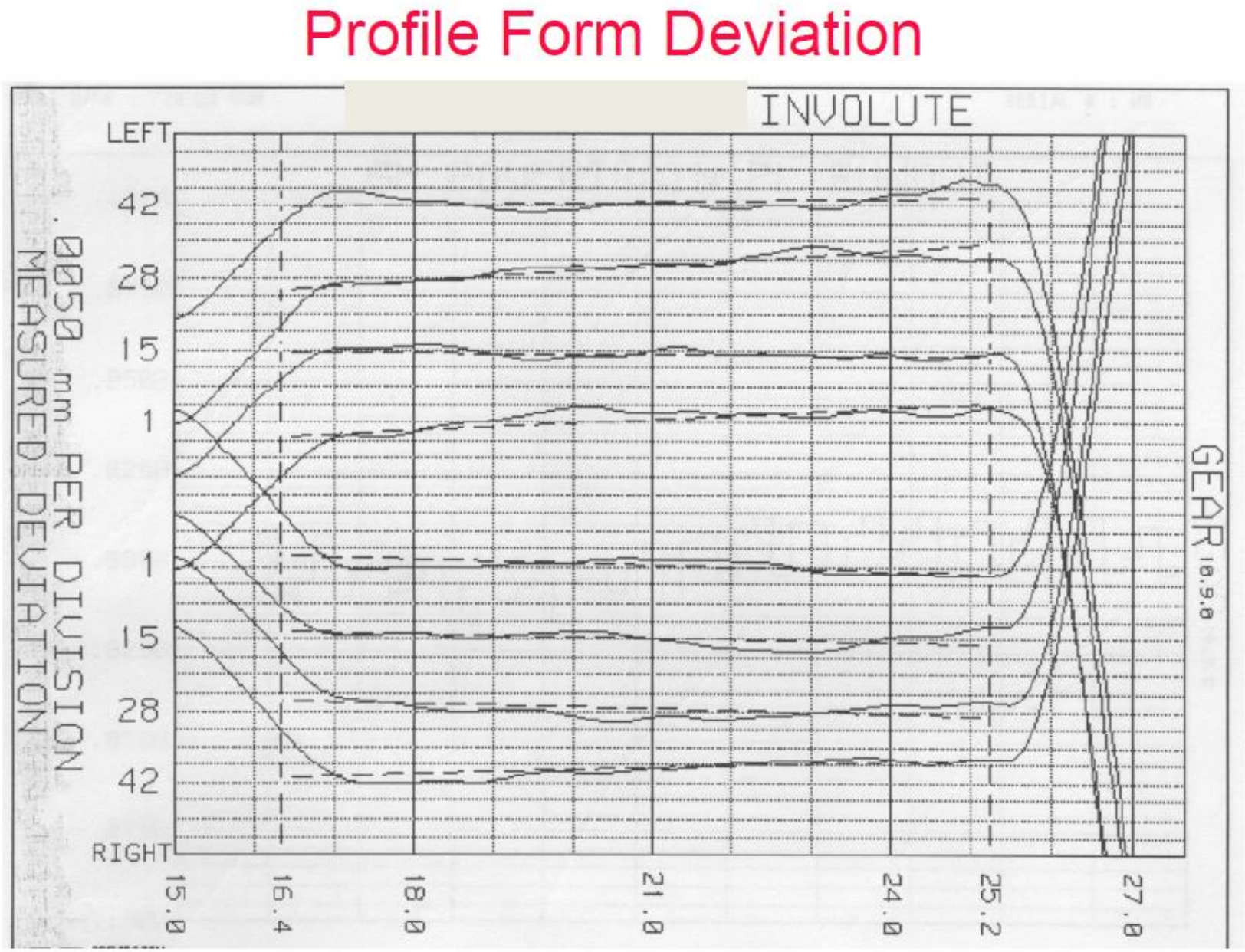
Варианты оформления диаграммы измерения профиля

Involute Form Waviness



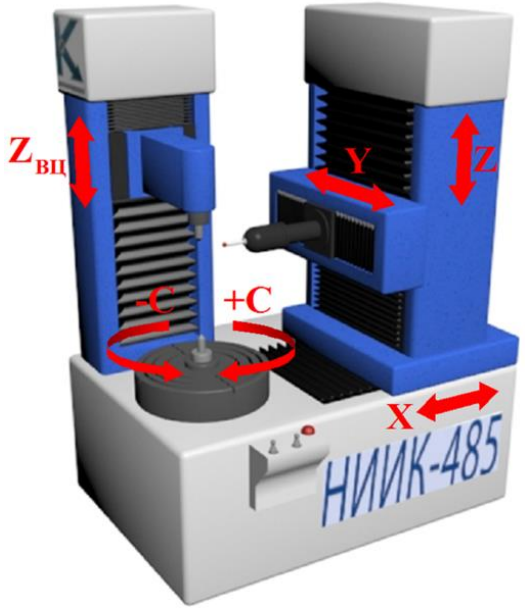
Tooth Number	1	10	18	27	AVG	AVG	27	18	10	1
Total Error F_α	3.1	2.9	1.1	1.9	2.3	4.6	4.9	4.1	4.1	5.1
Slope $f_{H\alpha}$	-0.9	-2.3	-0.2	0.2	-0.8	2.8	2.7	0.9	3.4	4.1
High	1.9	1.3	0.7	1.0	1.2	2.2	2.4	2.3	1.7	2.5

Варианты оформления диаграммы измерения профиля



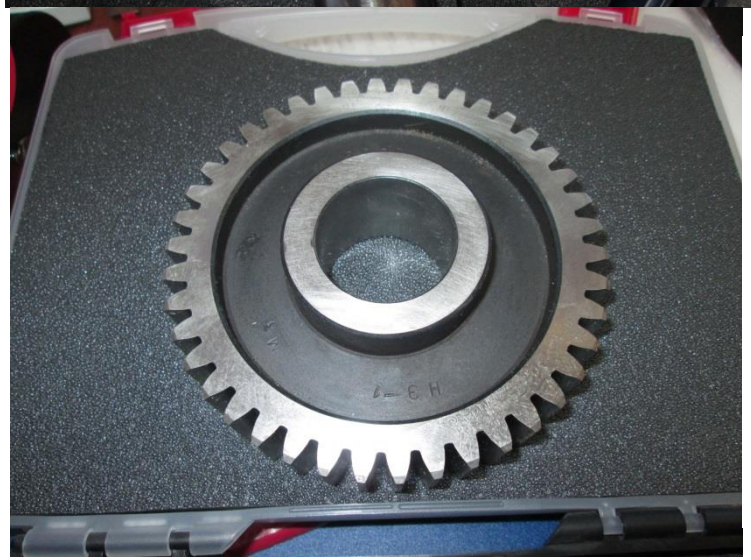
Возобновление производства **механических эвольвентомеров** вряд ли целесообразно. За последние 20 лет интерес к возможности изготовления ЗАО «ЧелябНИИконтроль» нового прибора КЭУ-М проявили только 3 потенциальных покупателя. Прибор очень трудоемок в изготовлении и при таком «высоком» спросе производство единичных экземпляров – это очень длительный и дорогостоящий процесс. Как подробно будет описано ниже, выход в производстве нового поколения многопараметрических универсальных приборов и измерительных систем модульной конструкции, одной из функциональных возможностей которых является измерение погрешности профиля зубчатых колес.

Начиная с конца 1970-х гг для контроля геометрических параметров зубчатых колес применяют универсальные КИМ с дополнительным специализированным ПО. Их часто оснащают накладными или встроенными поворотными столами. Затем наладили производство **специализированных четырехкоординатных измерительных машин и систем** (3 линейные и 1 угловая координаты). Подробнее **во второй части презентации.**



© Сурков И.В.

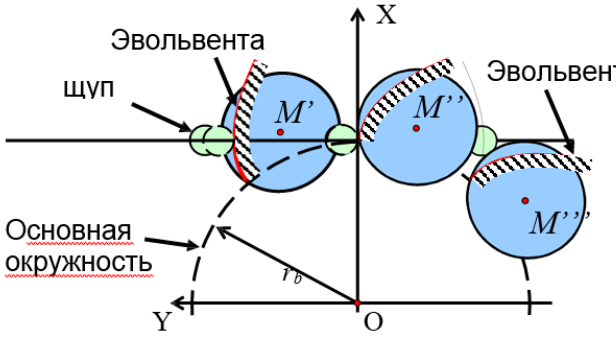
Эталоны эвольвентного профиля зубчатых колес ранее применялись для настройки, поверки и калибровки механических эвольвентомеров. Сейчас эти эталоны профиля совместно с эталонами шага и направления зуба ЗК используют для поверки и калибровки универсальных и специализированных КИМ и КИС.

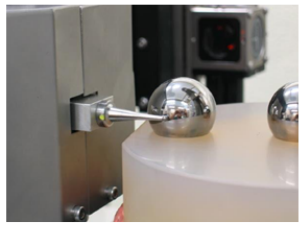


© Сурков И.В.

[Sonko Osawa, Osamu Sato, Yohan Kondo, Toshiyuki Takatsuji (NMIJ/AIST), Masaharu Komori (Киотский университет)]
Предложено использовать для калибровки зубоизмерительных приборов и систем (в том числе универсальных и специализированных КИМ и КИС) эталоны на основе простых геометрических элементов: сфер, клиновидных элементов.

Принцип оценки профиля



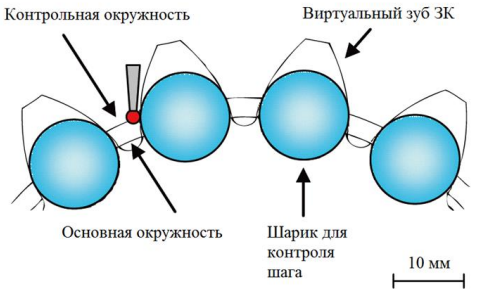

Измерение DBA

Эвольвента:
может быть выражена математически.
Однако, получить идеальную эвольвенту сложно.

Эвольвента и дуга (часть окружности) схожи между собой.
Эту разность можно выразить математически.
Поэтому вместо эвольвенты можно использовать дугу.

Артефакты шага с шариками

Применение метода DBA для оценки отклонения шага

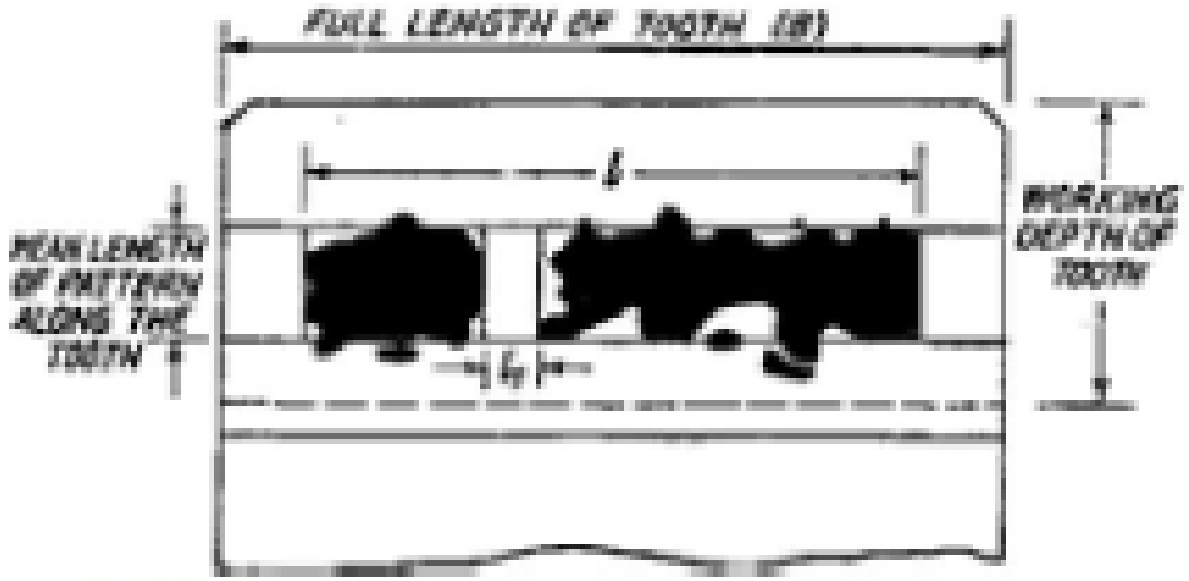


© Сурков И.В.

Измерение параметров, характеризующих полноту контакта

Для **измерения суммарного пятна контакта** (обычно после некоторой приработки зубчатой передачи) используют краску или клейкую ленту, наносимую на боковую поверхность зуба. После обката оценивают в процентах размеры отпечатка по отношению к длине и высоте рабочей поверхности зуба.

$$(L-L_1)/B \times 100\%$$

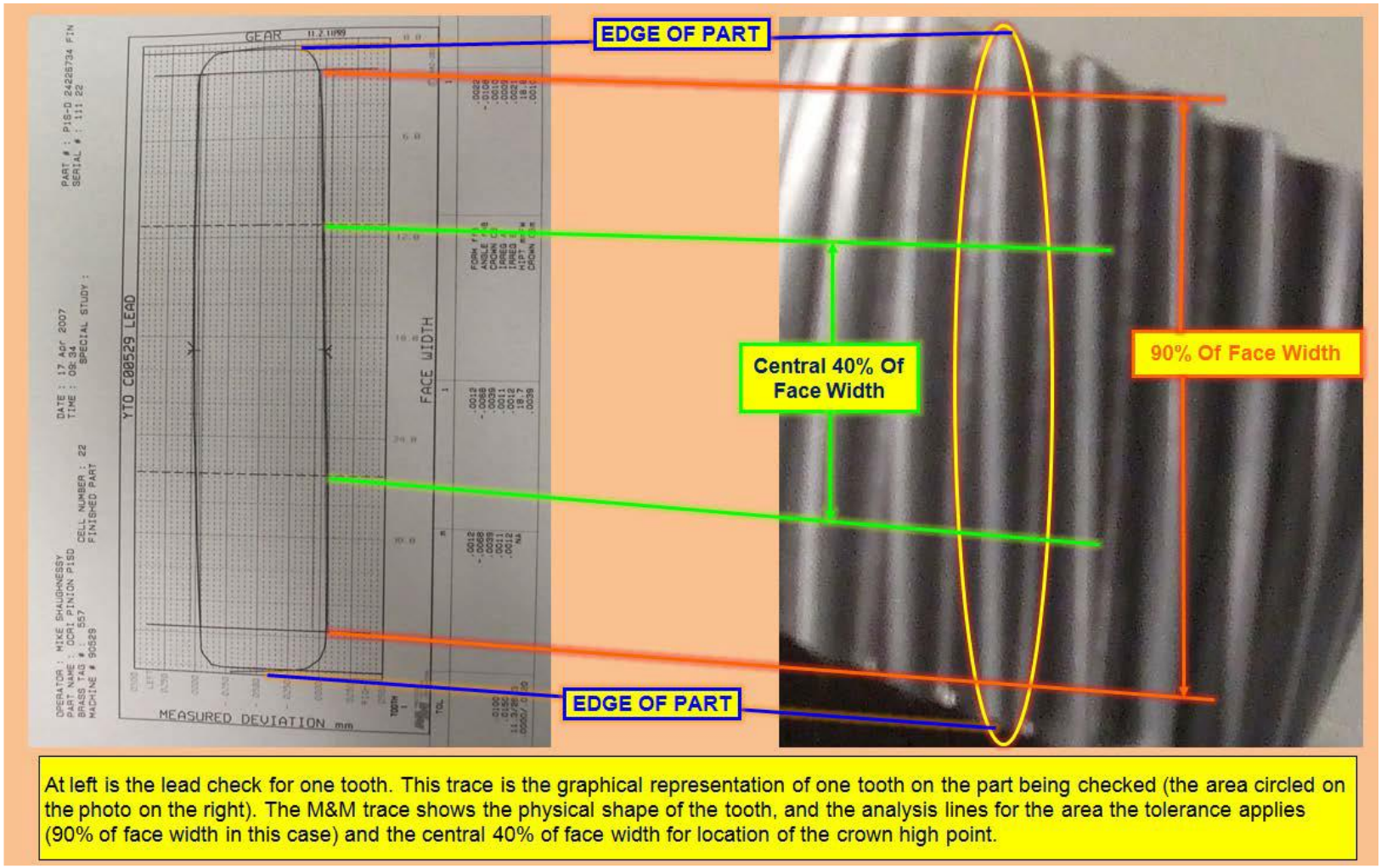


© Сурков И.В.

Измерение параметров, характеризующих полноту контакта

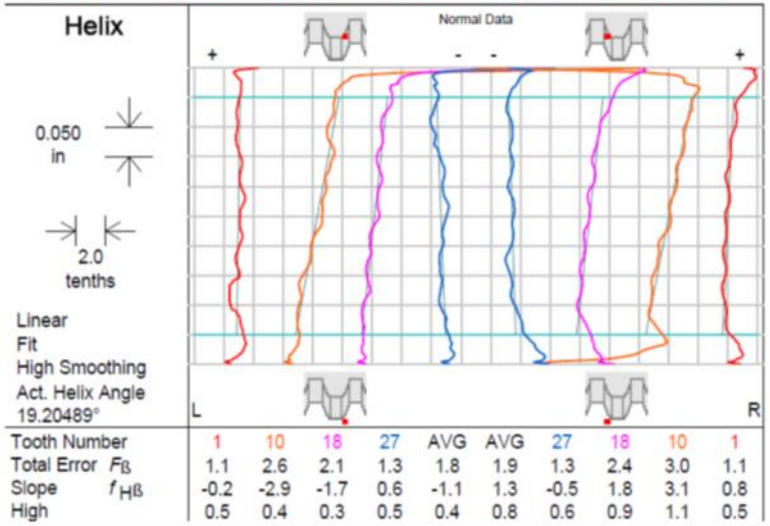
Измерение направления зуба. Для измерения направления зуба **прямозубых** зубчатых колес редко делают специальные приборы, а используют различные приспособления или приборы другого назначения, в которых измерительный узел перемещается с необходимой точностью параллельно оси измеряемого колеса.

Наладка для эвольвентомеров позволяет согласовать 2 движения: линейное (вдоль оси ЗК) и круговое.



At left is the lead check for one tooth. This trace is the graphical representation of one tooth on the part being checked (the area circled on the photo on the right). The M&M trace shows the physical shape of the tooth, and the analysis lines for the area the tolerance applies (90% of face width in this case) and the central 40% of face width for location of the crown high point.

Helix Chart – Variation and Form Deviation



© Сурков И.В.

Прибор контроля эвольвентного профиля и направления зуба зубчатых колес.

Mahr GMX 275 03.10_1.76 PPC

Gear Metrology
Mahr GmbH

18.01.06
11:27:15
Operator:

Signature:

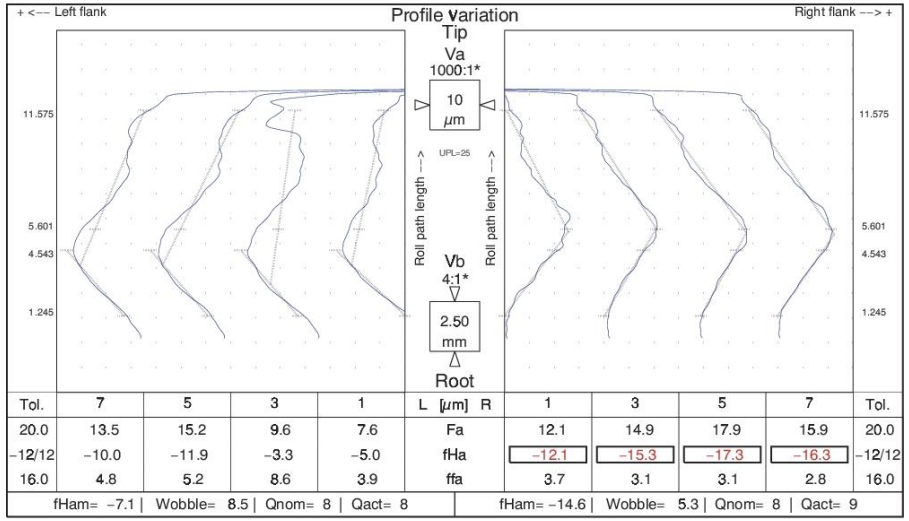
Wagner

Workpiece:
Drawing No.: P_gear_TB
Operation: qpm

Comments:

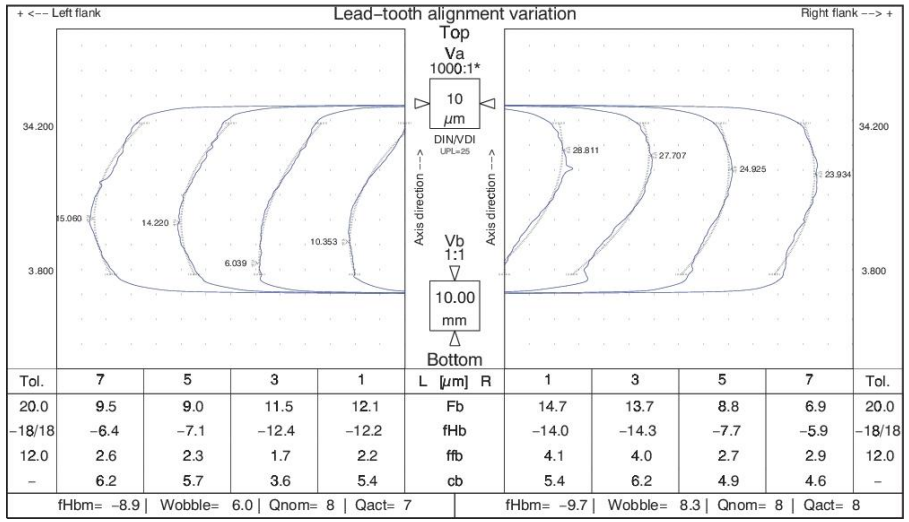
No. of teeth	11	Base diameter	27.6845 mm	Total quality (DIN3962):
Normal module	2.5730 mm	Normal Press. angle	12.0000 °	Qnom= 8 Qact= 9
Face width	38.0000 mm	Helix angle	0.0000 °	
Probe stylus diameter	2.0009 mm	Addend. modif.	0.0000	

df(act)= 24.3832 Tol.= −0.030/ 0.030 (24.300) mm da(act)= 37.2353 Tol.= −0.020/ 0.020 (37.230) mm



Tol.	7	5	3	1	L [µm] R	1	3	5	7	Tol.
20.0	13.5	15.2	9.6	7.6	Fa	12.1	14.9	17.9	15.9	20.0
−12/12	−10.0	−11.9	−3.3	−5.0	fHa	−12.1	−15.3	−17.3	−16.3	−12/12
16.0	4.8	5.2	8.6	3.9	ffa	3.7	3.1	3.1	2.8	16.0

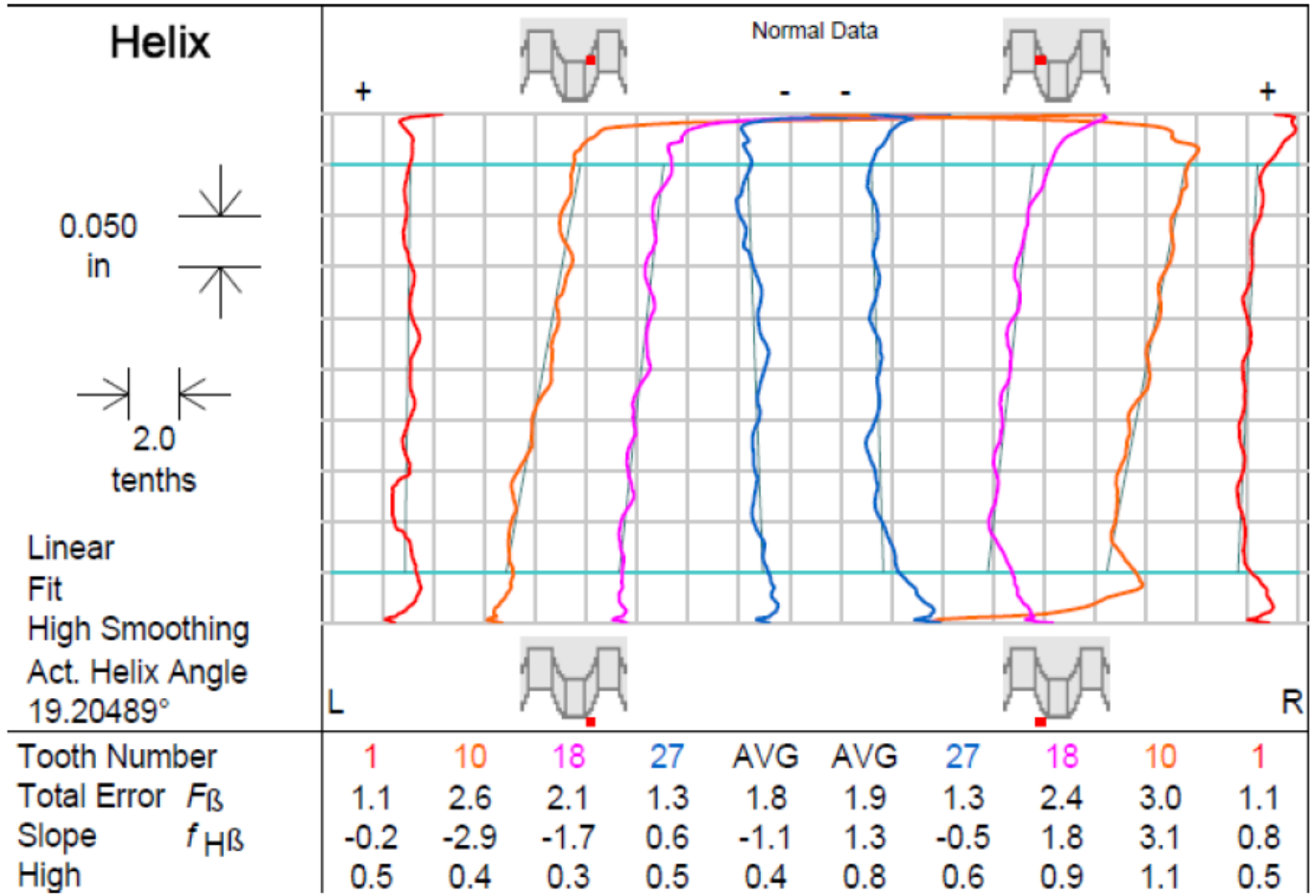
fHam= −7.1 | Wobble= 8.5 | Qnom= 8 | Qact= 8 fHam= −14.6 | Wobble= 5.3 | Qnom= 8 | Qact= 9



Tol.	7	5	3	1	L [µm] R	1	3	5	7	Tol.
20.0	9.5	9.0	11.5	12.1	Fb	14.7	13.7	8.8	6.9	20.0
−18/18	−6.4	−7.1	−12.4	−12.2	fHb	−14.0	−14.3	−7.7	−5.9	−18/18
12.0	2.6	2.3	1.7	2.2	ffb	4.1	4.0	2.7	2.9	12.0
–	6.2	5.7	3.6	5.4	cb	5.4	6.2	4.9	4.6	–

fHbm= −8.9 | Wobble= 6.0 | Qnom= 8 | Qact= 7 fHbm= −9.7 | Wobble= 8.3 | Qnom= 8 | Qact= 8

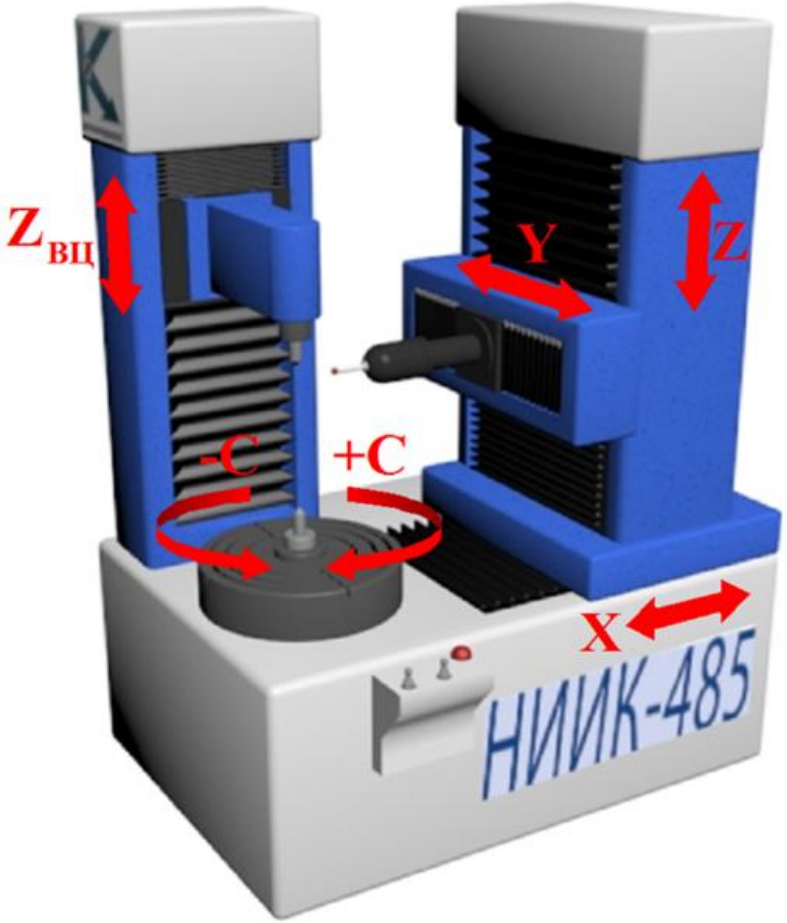
Helix Chart – Variation and Form Deviation



Tooth Number	1	10	18	27	AVG	AVG	27	18	10	1
Total Error F_{β}	1.1	2.6	2.1	1.3	1.8	1.9	1.3	2.4	3.0	1.1
Slope $f_{H\beta}$	-0.2	-2.9	-1.7	0.6	-1.1	1.3	-0.5	1.8	3.1	0.8
High	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.8	0.6	0.9	1.1	0.5

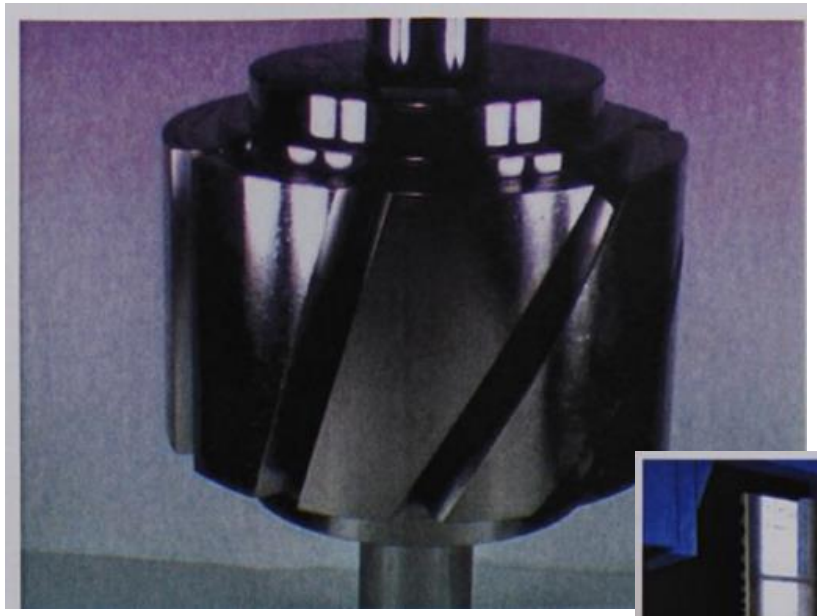
© Сурков И.В.

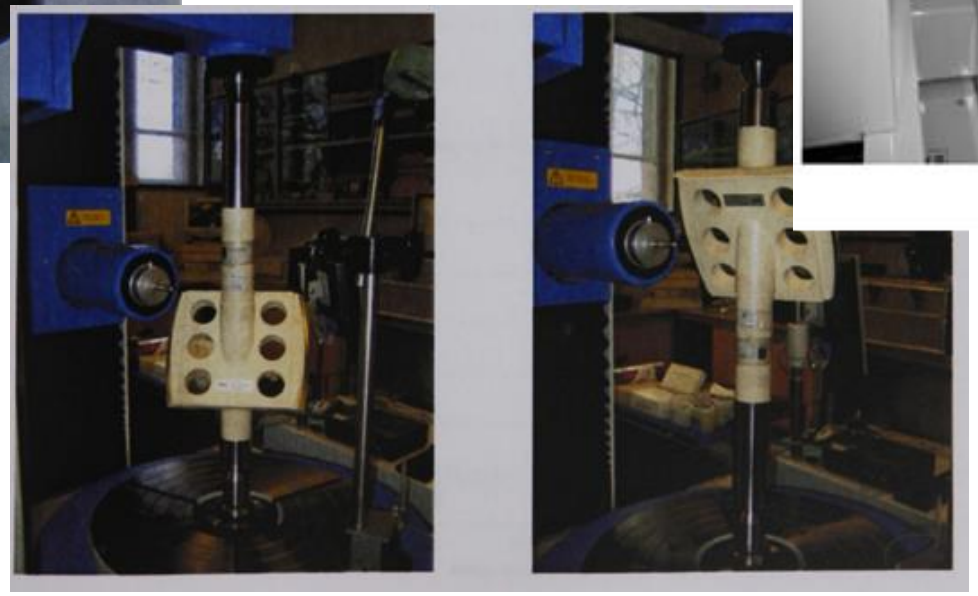
Начиная с конца 1970-х гг для контроля геометрических параметров зубчатых колес применяют универсальные КИМ с дополнительным специализированным ПО. Их часто оснащают накладными или встроенными поворотными столами. Затем наладили производство **специализированных четырехкоординатных измерительных машин и систем** (3 линейные и 1 угловая координаты). Подробнее **во второй части презентации.**



© Сурков И.В.

Эталоны направления зуба бокового профиля зубчатых колес ранее применялись для настройки, поверки и калибровки механических приборов. Сейчас эти эталоны направления зуба совместно с эталонами шага и эвольвентного профиля зубчатых колес используют для поверки и калибровки универсальных и специализированных КИМ и КИС.





(a) (b)

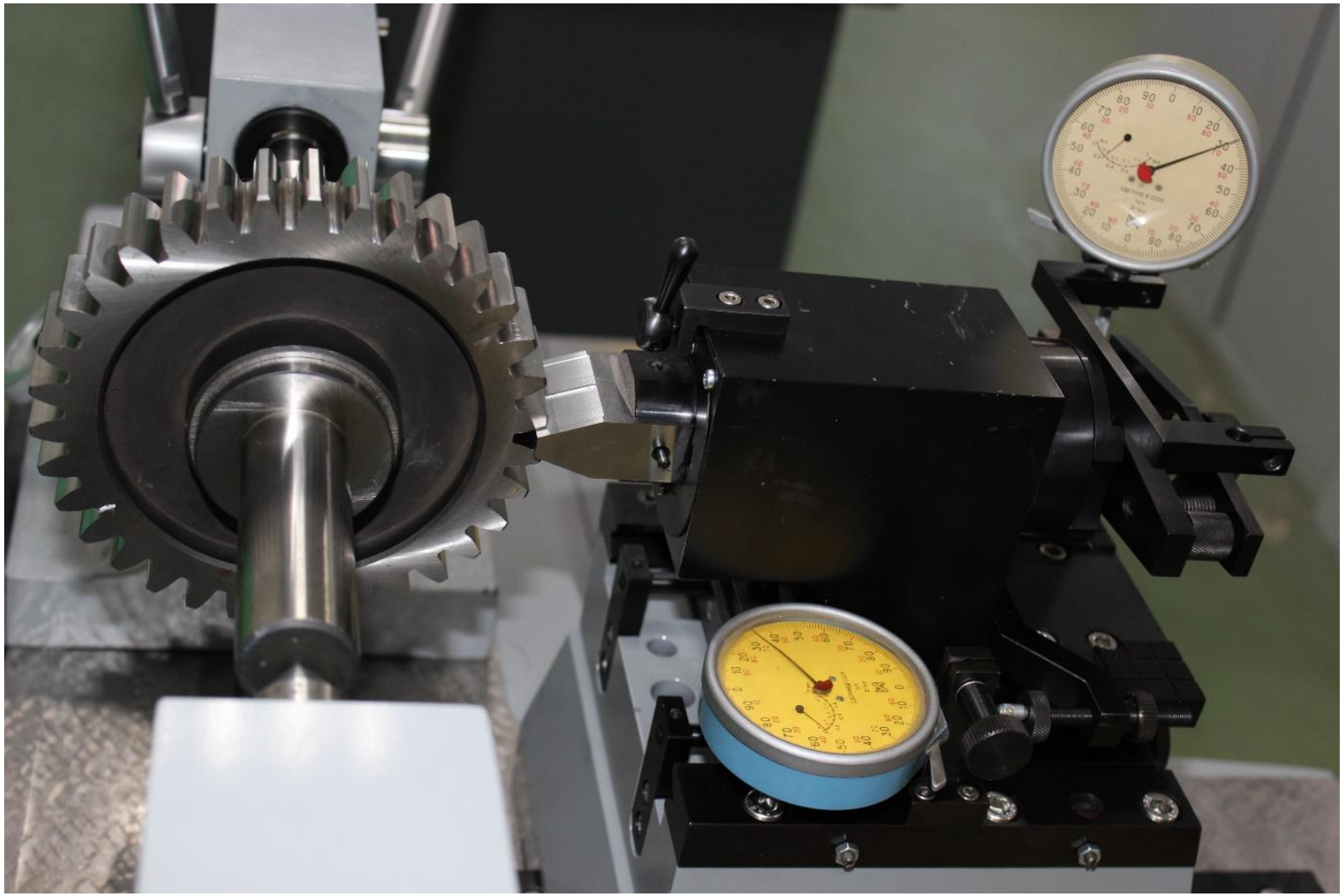
[Sonko Osawa, Osamu Sato, Yohan Kondo, Toshiyuki Takatsuji (NMIJ/AIST), Masaharu Komori (Киотский университет)]

Предложено использовать для калибровки зубоизмерительных приборов и систем (в том числе универсальных и специализированных КИМ и КИС) эталоны на основе простых геометрических элементов: сфер, клиновидных элементов.

© Сурков И.В.

Измерение параметров, характеризующих полноту контакта

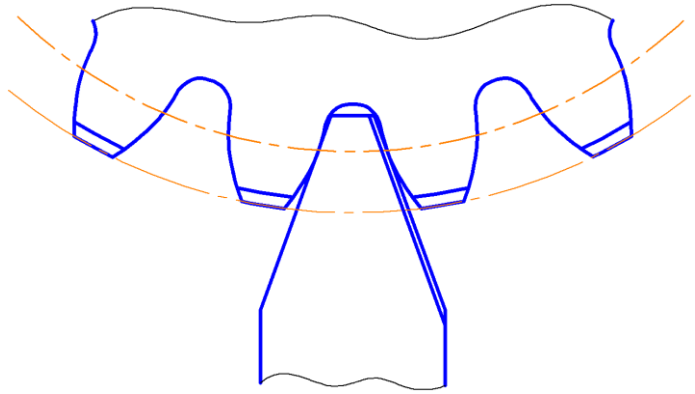
Как уже отмечалось, для контроля направления контактной линии косозубых цилиндрических колес может использоваться биениемер НИИК-1010 (Б-10М) с дополнительной наладкой НИИК-1010.03 (Б-10М.03).

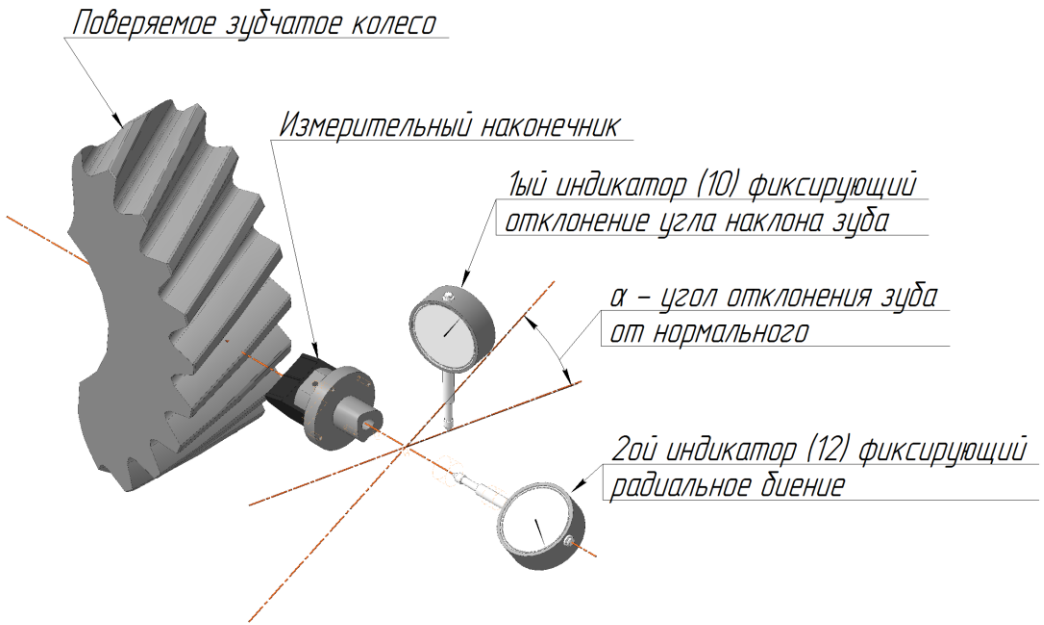


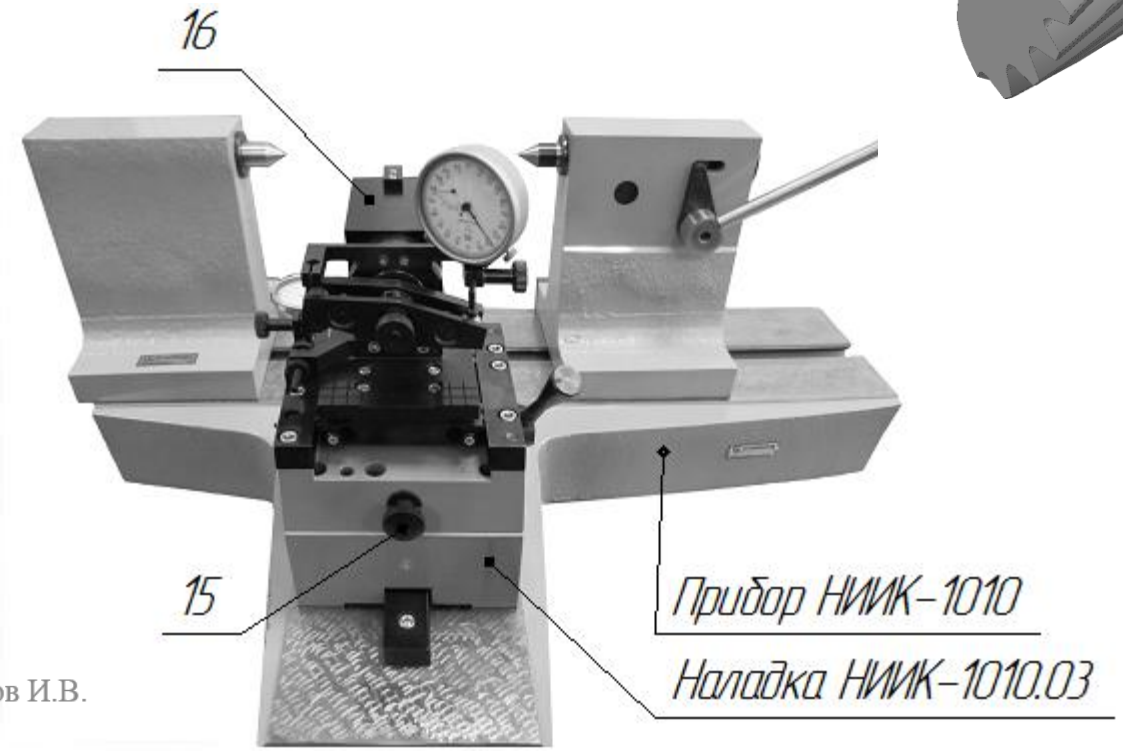
© Сурков И.В.

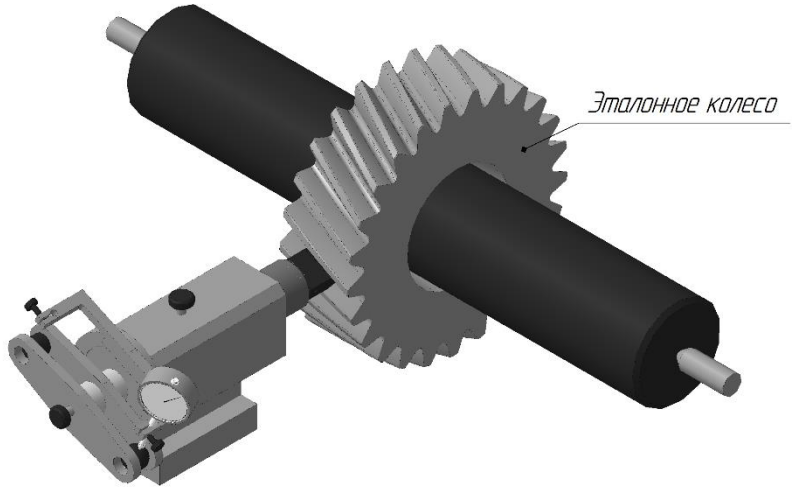
Измерение параметров, характеризующих полноту контакта

Как уже отмечалось, для контроля направления контактной линии косозубых цилиндрических колес может использоваться биениемер НИИК-1010 (Б-10М) с дополнительной наладкой НИИК-1010.03.







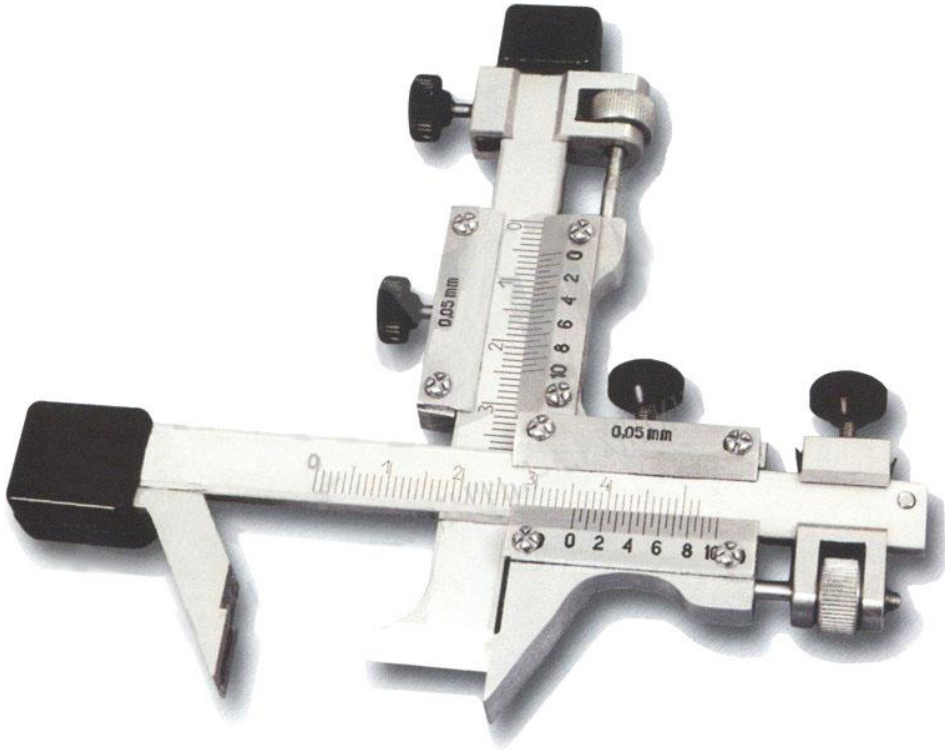


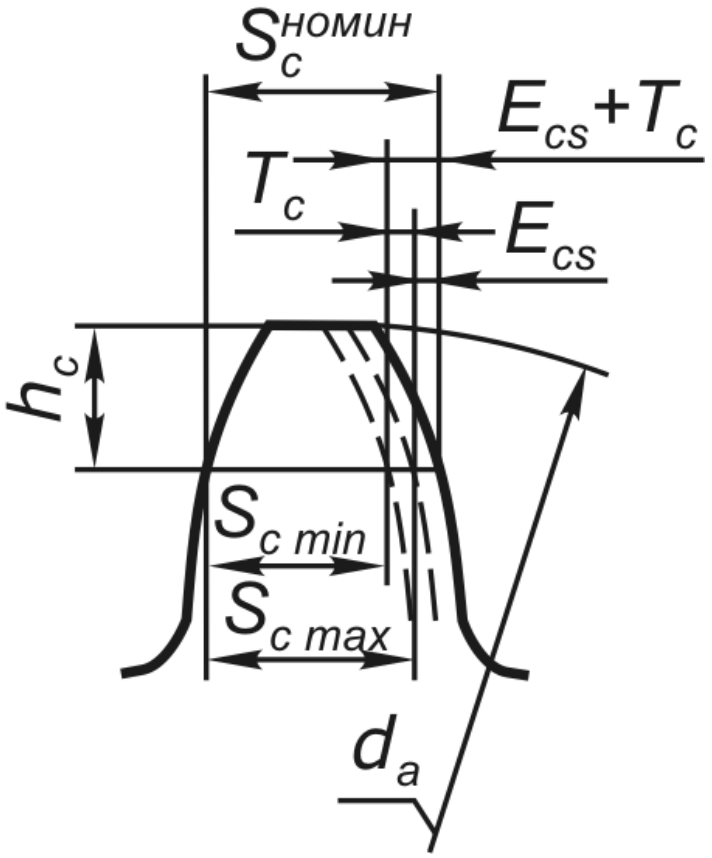
© Сурков И.В.

Измерение параметров, характеризующих боковой зазор

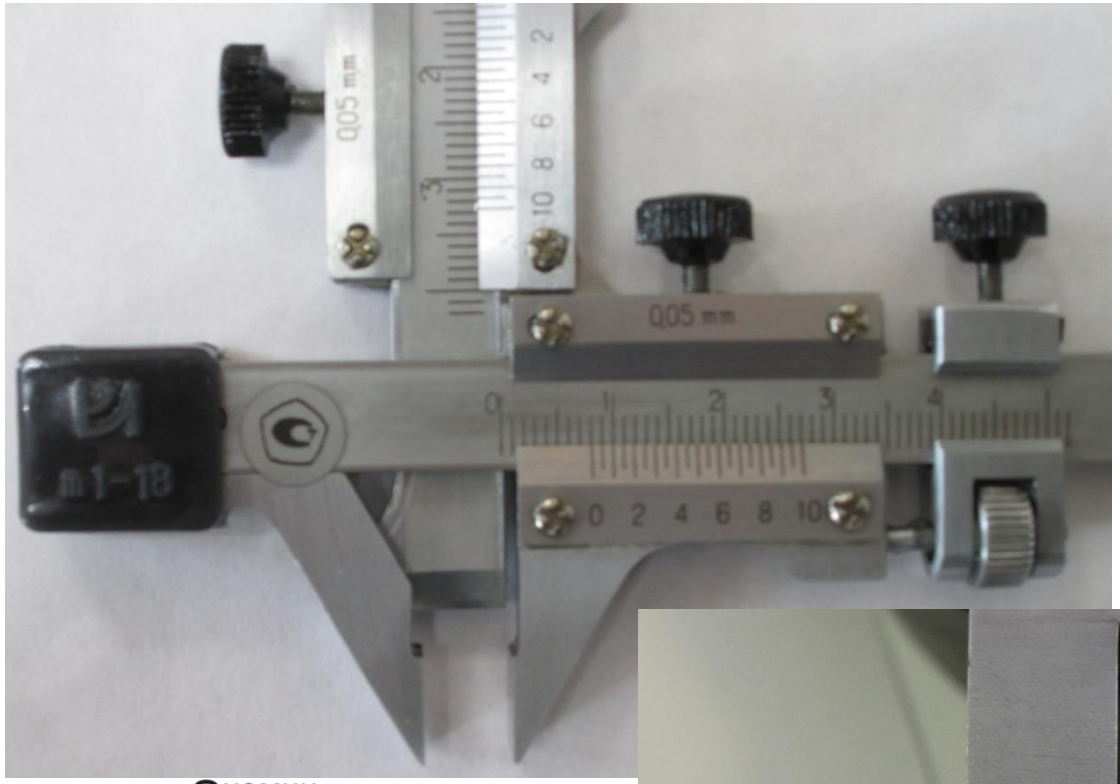
Гарантированный боковой зазор j между нерабочими боковыми поверхностями зубьев колес определяют в собранной передаче с помощью щупа или измеряя толщину свинцовой проволочки, заложенной со стороны нерабочих поверхностей и обжатой в процессе обката.

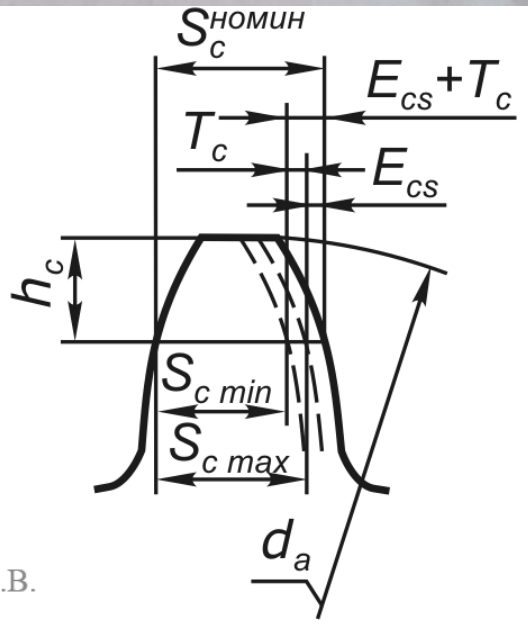
Наиболее распространенным прибором для измерения толщины зуба является штангензубомер (КРИН).

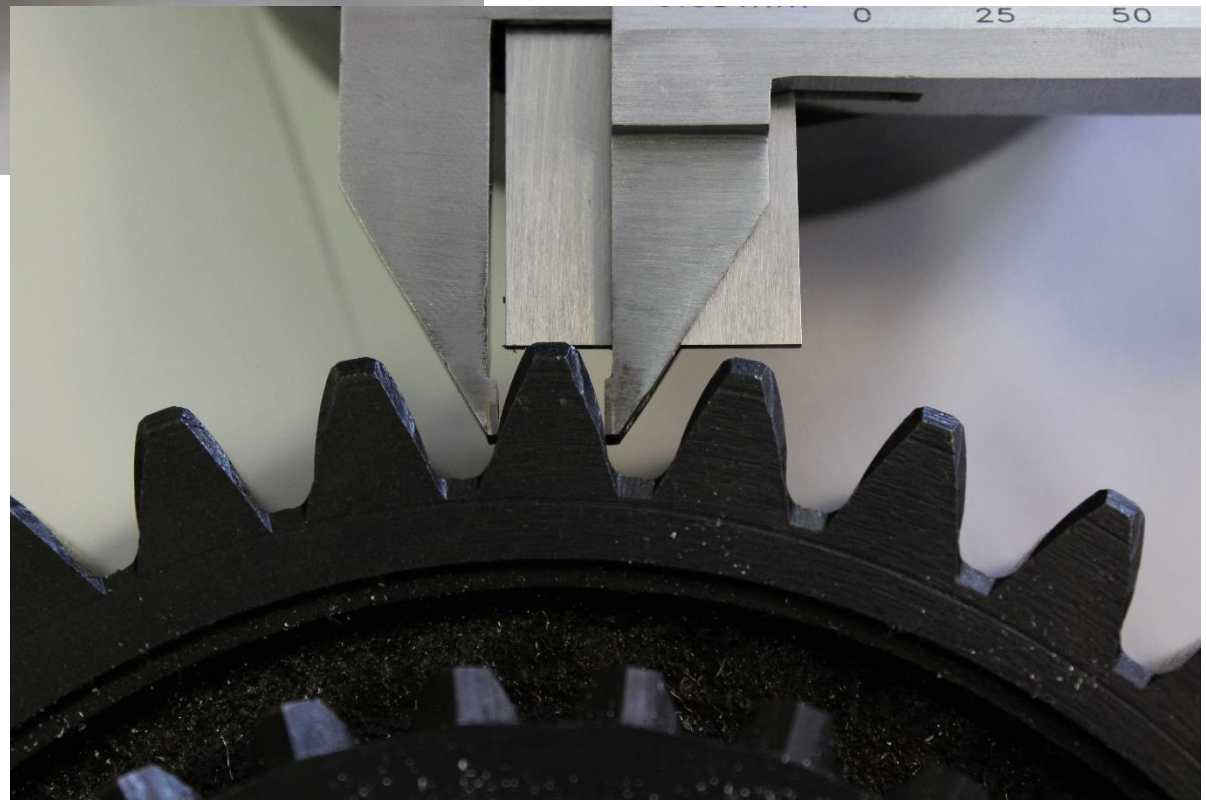




© Сурков И.В.


0,05 mm
0,05 mm
0 1 2 3 4
0 2 4 6 8 10


$S_{c\,номин}$
$E_{cs}+T_c$
T_c
E_{cs}
h_c
$S_{c\,min}$
$S_{c\,max}$
d_a


0 25 50

© Сурков И.В.

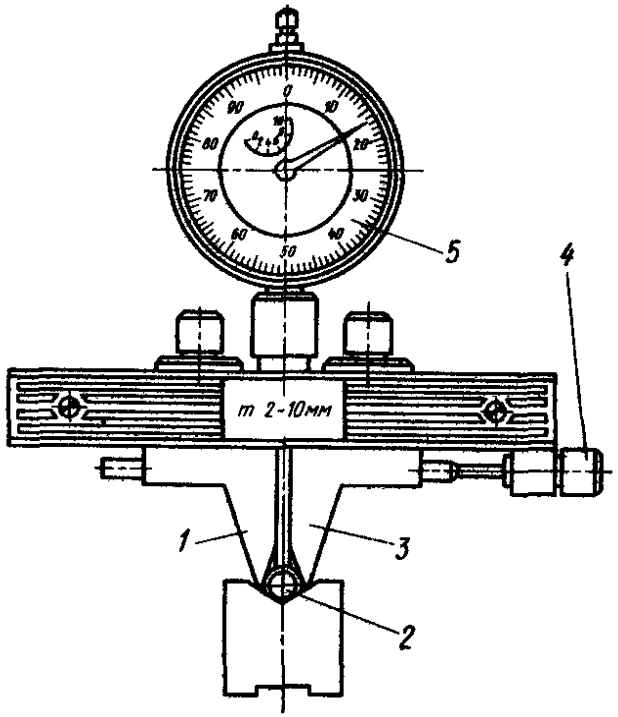
Измерение смещения исходного контура. В реальном колесе минимальное утонение зуба создается благодаря наименьшему смещению исходного контура, а максимальное утонение — вследствие допуска на это смещение.

Широко распространены накладные приборы — **зубомеры смещения,** чаще известные под названием **тангенциальные зубомеры**.

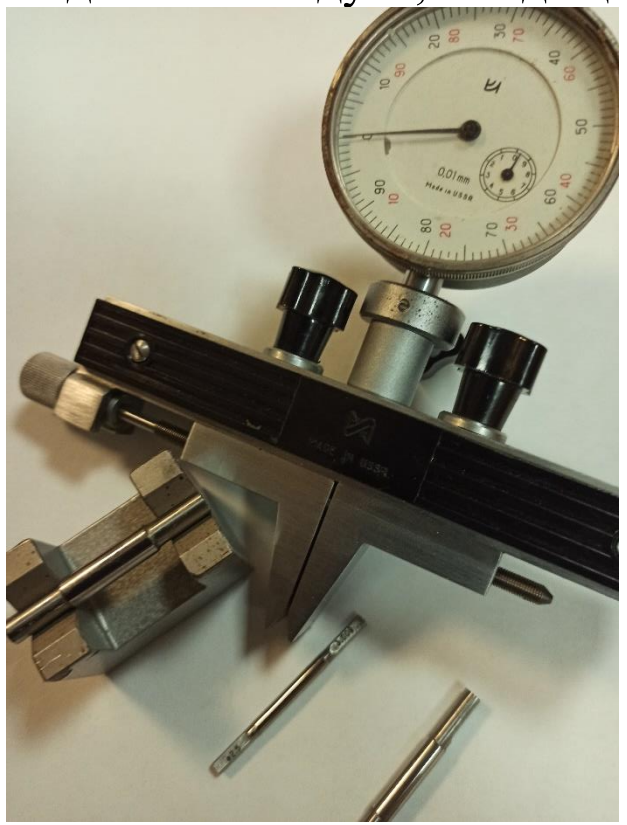
Исходный контур в этом приборе создается с помощью двух измерительных губок *1* и *3 со* скосами 20°, с измерительными плоскостями, расположенными под углом 20° к оси измерительной головки *5*. С помощью винта *4* с правой и левой резьбой эти измерительные губки могут перемещаться относительно головки *5*. Перед измерением головку настраивают на нулевое показание по ролику *2* данного модуля, входящему в комплект прибора.

Таблица 2 – Диаметры настроечных роликов в зависимости от модуля

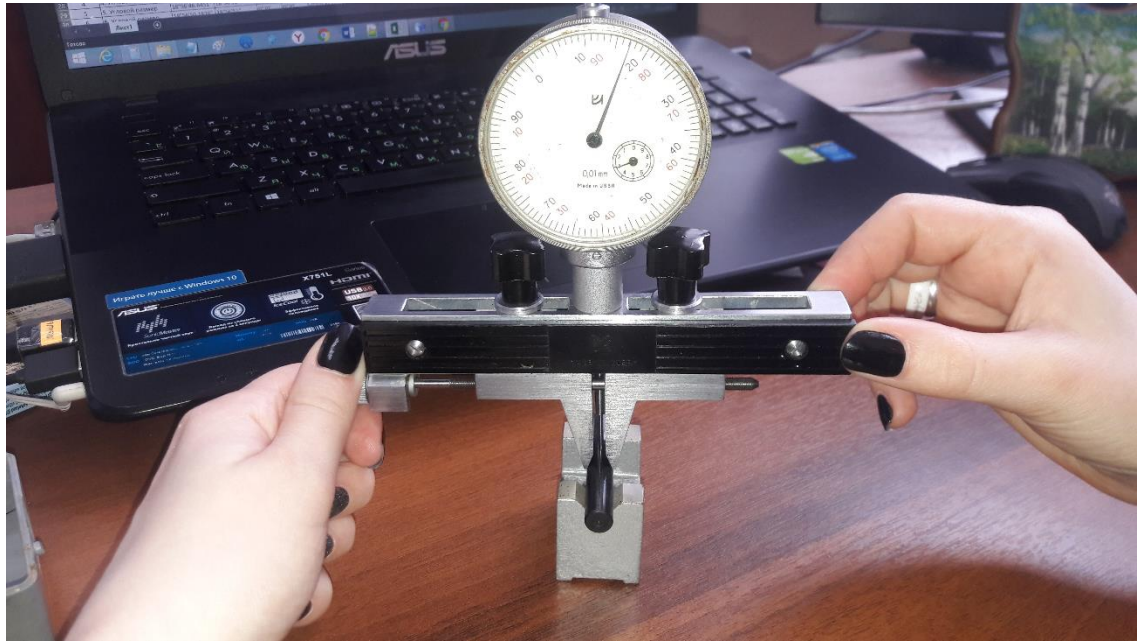
Диаметр по маркировке, мм	Модуль ЗК, мм
2,407	2
2,708	2,25
3,009	2,5
3,310	2,75
3,611	3
4,213	3,5
4,815	4
5,417	4,5
6,019	5
6,620	5,5
7,222	6
8,426	7
9,630	8
10,834	9
12,037	10

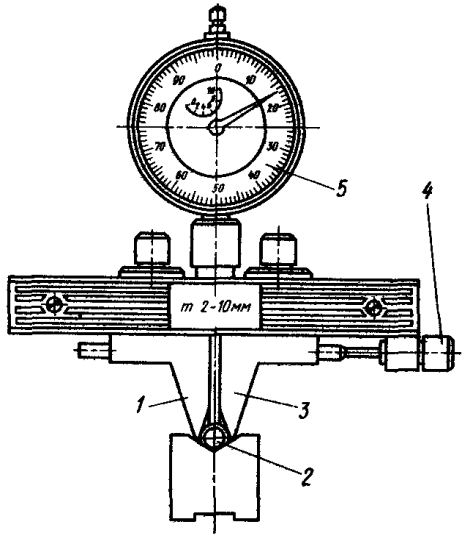


© Сурков И.В.



Измерение смещения исходного контура. В реальном колесе минимальное утонение зуба создается благодаря наименьшему смещению исходного контура, а максимальное утонение — вследствие допуска на это смещение.





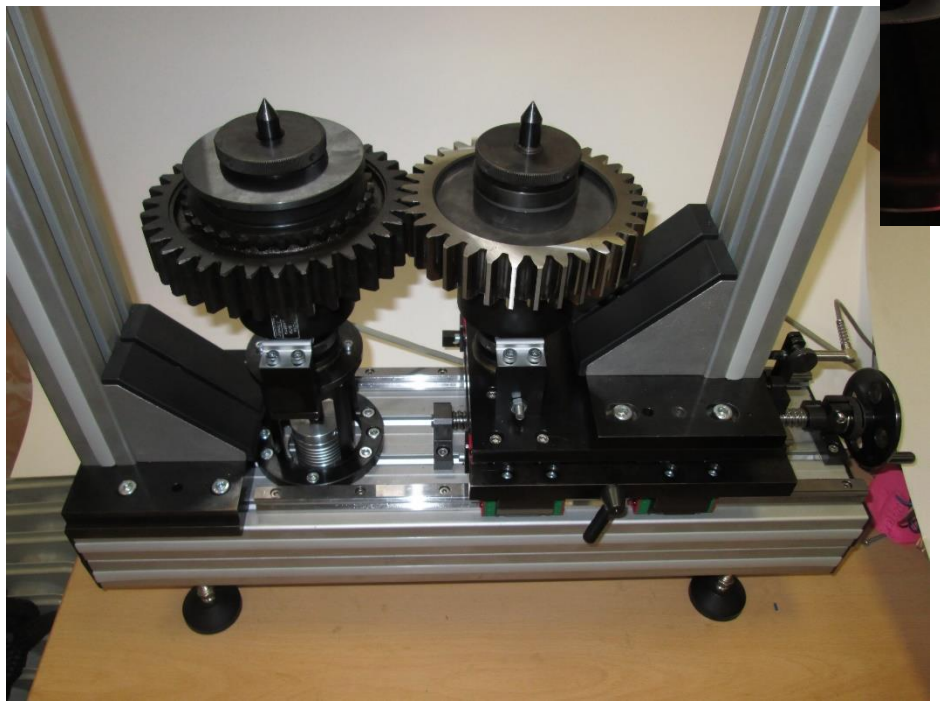
© Сурков И.В.

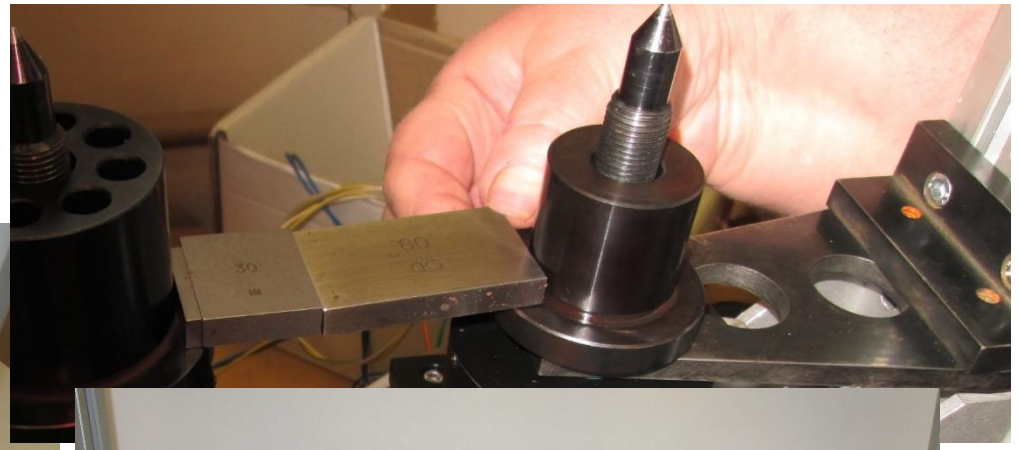
Измерение измерительного межосевого расстояния. Этот параметр выявляют одновременно с измерением колебания измерительного межосевого расстояния за оборот (по нормам кинематической точности) и колебания на одном зубе (по нормам плавности работы). При измерениях отклонения необходимо настраивать прибор на номинальное значение измерительного межосевого расстояния с учетом параметров проверяемого и измерительного зубчатых колес.

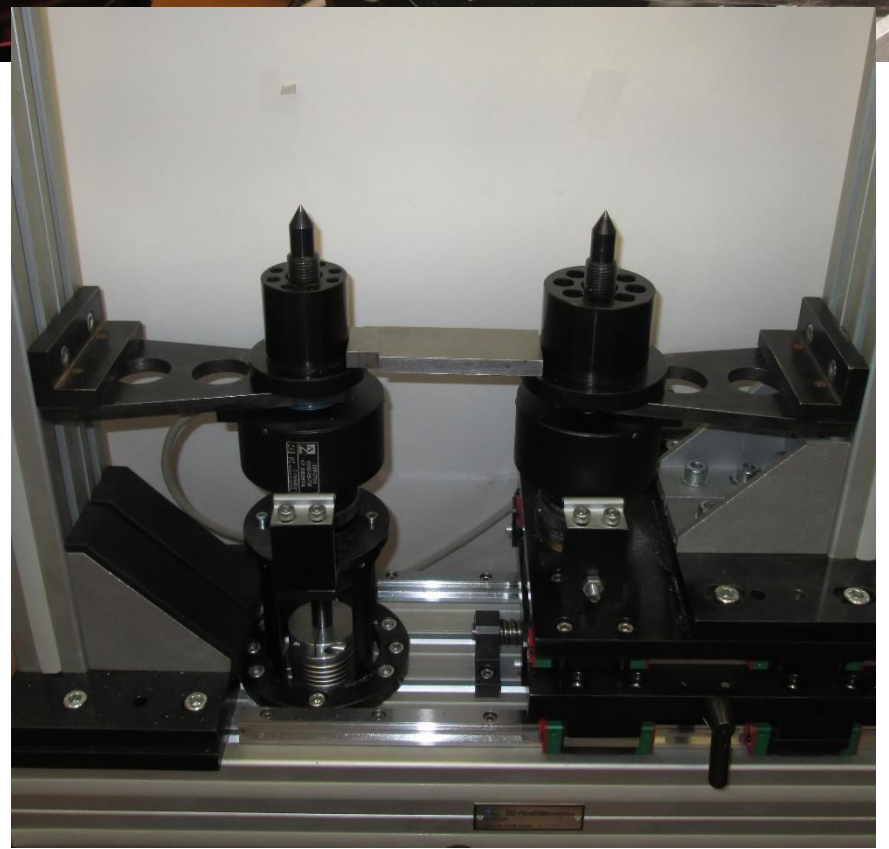
Настройку прибора на номинальное измерительное межосевое расстояние осуществляют либо по шкале прибора, либо с помощью концевых мер длины, устанавливаемых между оправками, либо с помощью дисков, устанавливаемых на оправках прибора.

© Сурков И.В.

Настройку прибора на номинальное измерительное межосевое расстояние осуществляют либо по шкале прибора, либо с помощью концевых мер длины, устанавливаемых между оправками, либо с помощью дисков, устанавливаемых на оправках прибора.



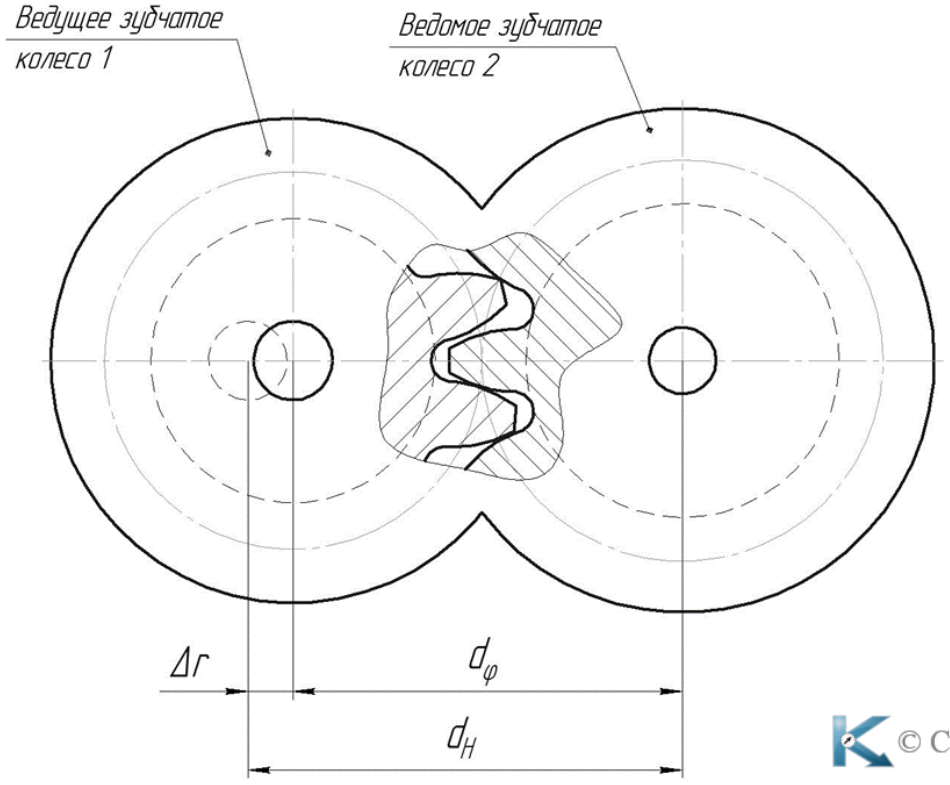




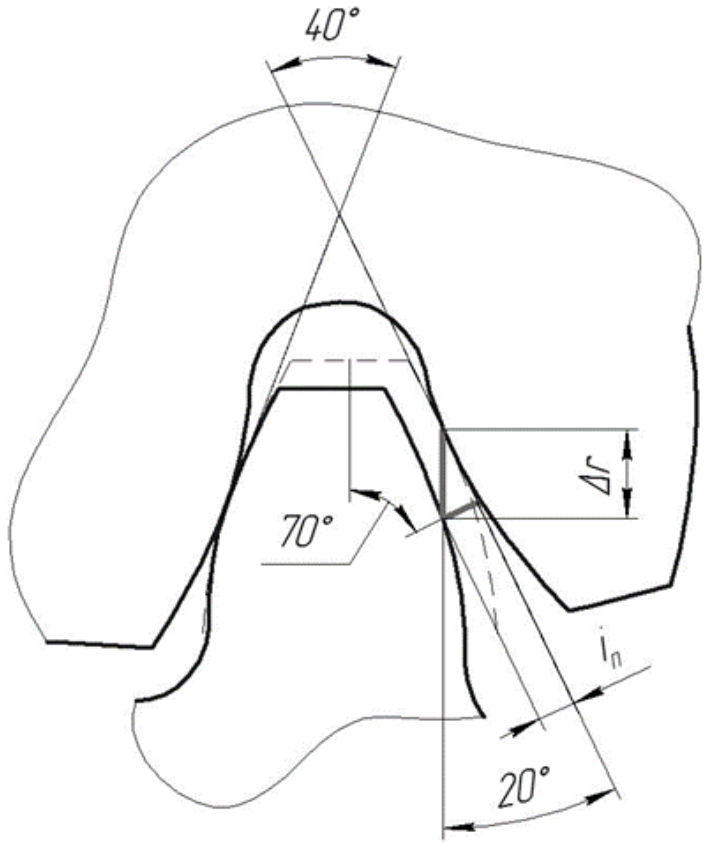
© Сурков И.В.

Боковой зазор в зубчатом соединении – кратчайшее расстояние по нормали между двумя боковыми сторонами зубьев, которые соприкасаются в зацеплении.

Из-за погрешности изготовления зубчатых колес боковой зазор – это переменная величина, изменяющаяся за оборот колеса. Фактическую величину бокового зазора и колебания ее значения за оборот колеса лучше всего измерять на межосемерах. Измерив на межосемере при плотном двухпрофильном зацеплении фактическое максимальное и минимальное расстояние между осями зубчатых колес контролируемой пары dφ и зная номинальное расчетное межосевое расстояние dn, можно определить максимальное и минимальное радиальное перемещение одного из колес Δr за счет выбирания бокового зазора.



© Сурков И.В.

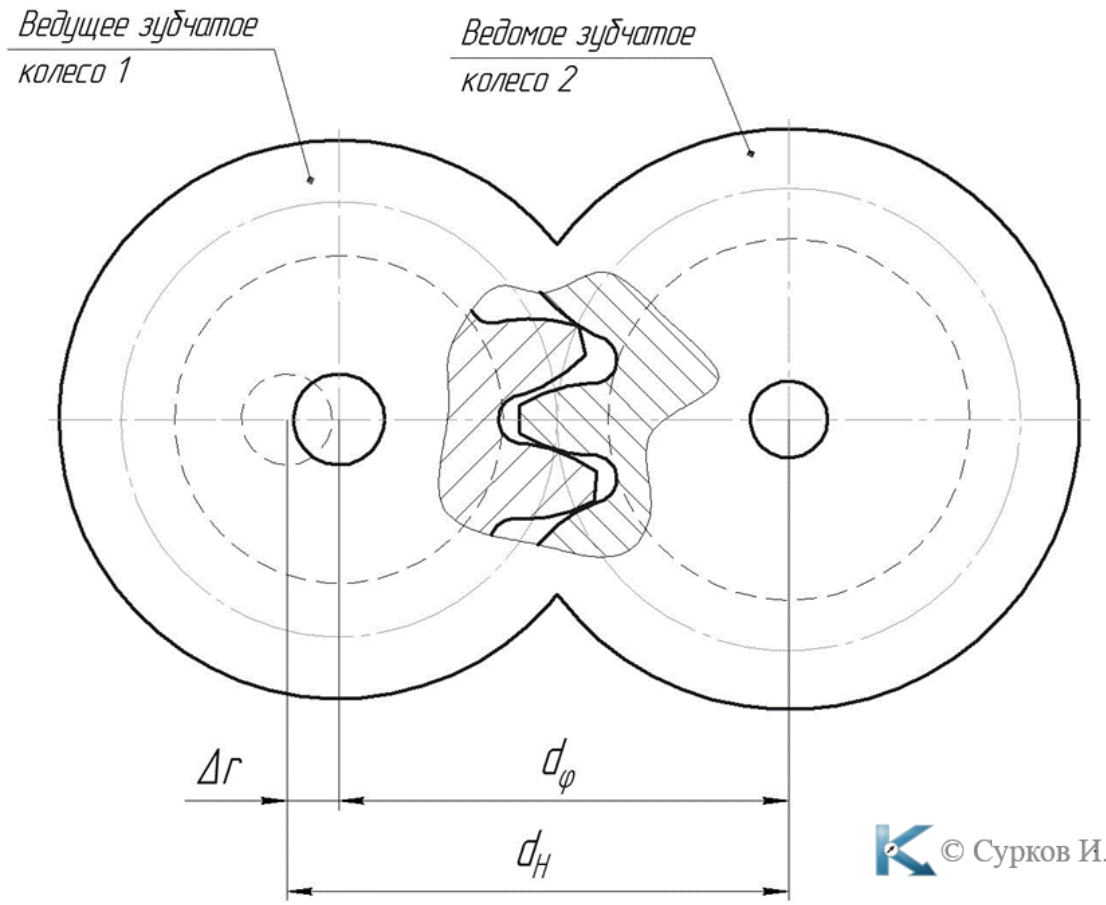


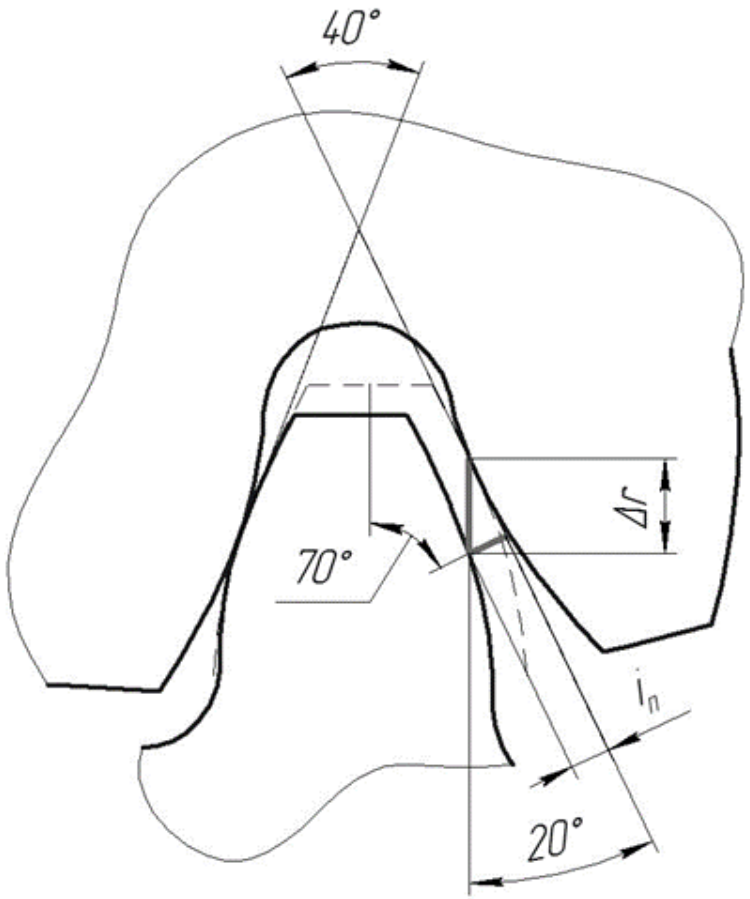
Замерив на межосемере при плотном двухпрофильном зацеплении фактическое максимальное и минимальное расстояние между осями зубчатых колес контролируемой пары dφ и зная номинальное расчетное межосевое расстояние dn, можно определить максимальное и минимальное радиальное перемещение одного из колес Δr за счет выбирания бокового зазора.

Угол исходного контура зубчатых колес равен 40°, боковой зазор будет равен:

$i_n=\Delta r\cdot\cos[\![70°]\!]$,

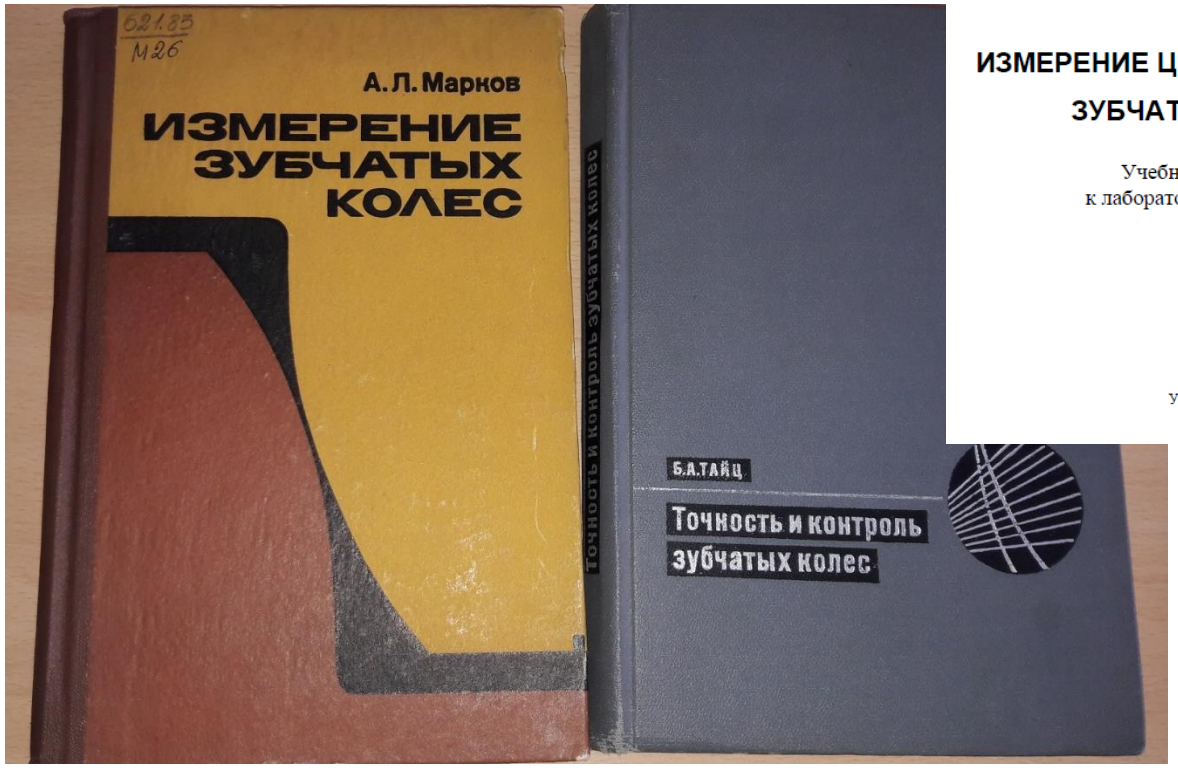
где Δr – максимальное и минимальное радиальное перемещение одного из колес.

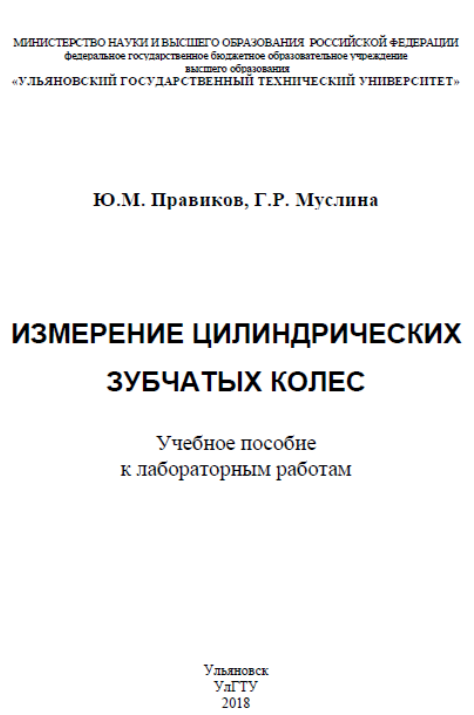




© Сурков И.В.

Более подробно о конструкции традиционных измерительных приборов и методах контроля цилиндрических зубчатых колес можно прочитать в «классических» трудах А.Л. Маркова и проф. Тайца Б.А. Особенности контроля конических зубчатых колес в авиационной промышленности описаны в литературе [Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей: Произв.-практ. издание/ Ю.С.Елисеев, В.В.Крымов, И.П.Нежурин и др.; Под ред. Ю.С.Елисеева. – М.: Высш. шк., 2001. – 493 с.].

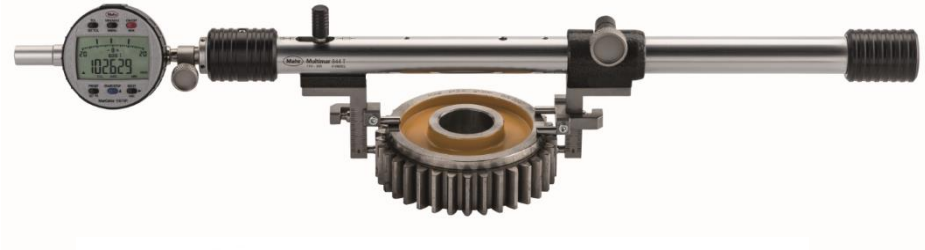


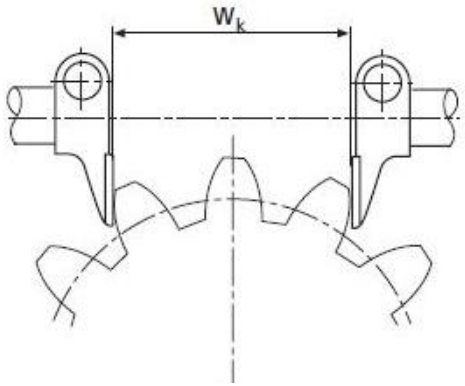


© Сурков И.В.

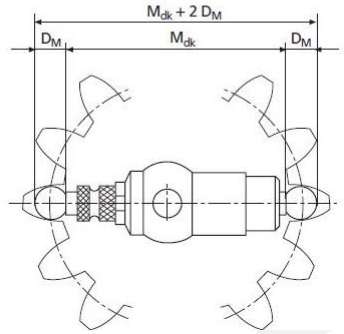
Ручные средства измерений Mahr для зубчатых венцов

- Контроль суммарной погрешности вблизи производства





MarConnect
integrated
wireless

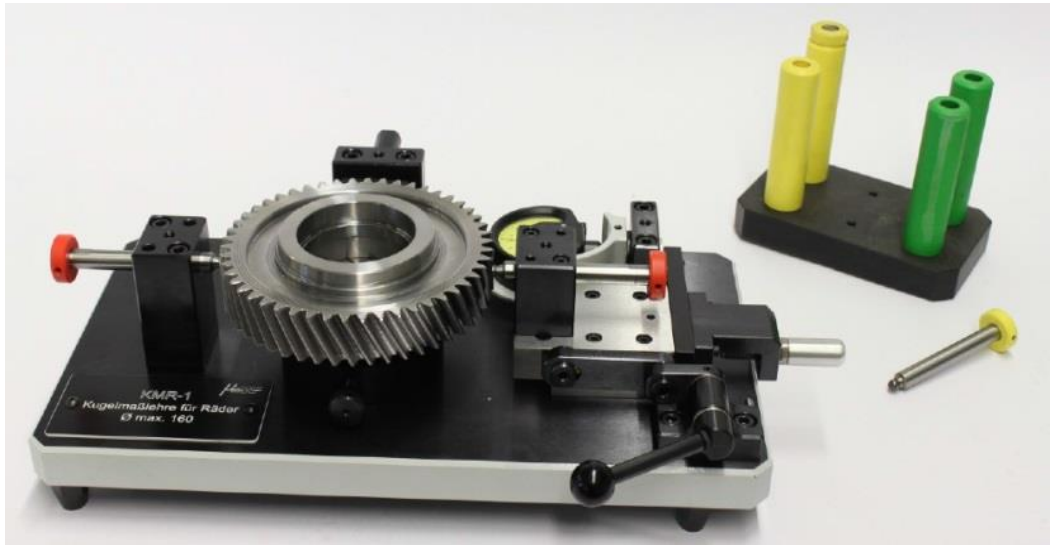


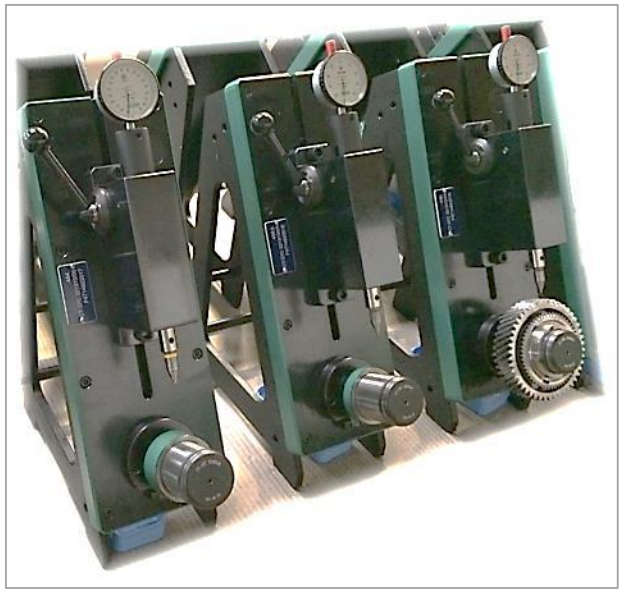
Mahr

Зубоизмерительные приборы Mahr

MarConnect integrated wireless

- Контроль суммарной погрешности вблизи производства
  - Простота
  - Робастность
  - Расширение возможностей с помощью электроники (Integrated Wireless) → передача данных





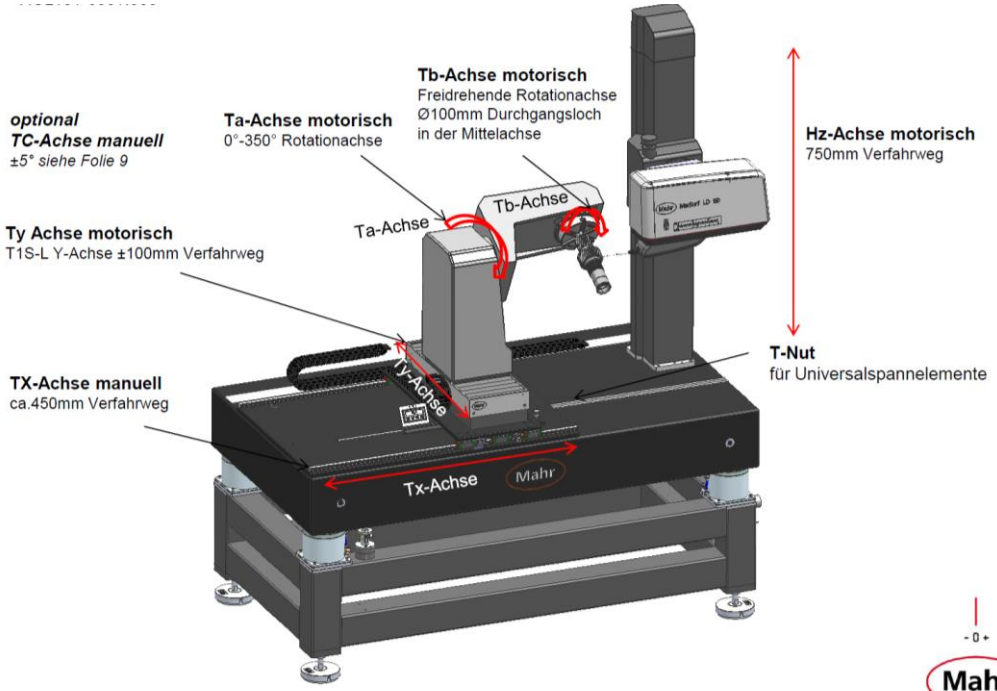
Mahr

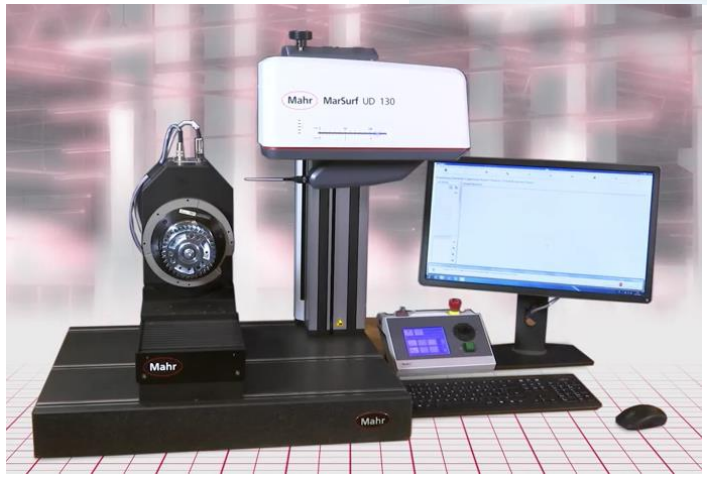
Метрология поверхности зубчатых колес, приборы Mahr

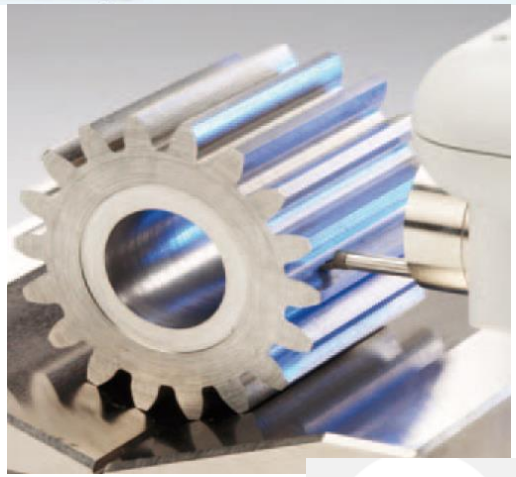
- Профиль микронеровностей поверхности
  - Шероховатость; волнистость; шаг волнистости; топография; БПФ (FFT)
- Форма линии

UD 130 for roughness on gears

https://www.youtube.com/watch?v=QNX-kLo5mkw







Mahr

1.4. Основные направления автоматизации процессов контроля. Учет положений концепции «Индустрия 4.0», «цифровизация измерений» для единого информационного пространства машиностроительного производства.

Анализ современных тенденций развития машиностроительного комплекса показал, что для решения задач по повышению производительности труда, снижению себестоимости производства, повышению качества продукции необходима **комплексная автоматизация всех стадий производственного процесса**. В условиях быстрой смены номенклатуры выпускаемой продукции наиболее эффективным средством автоматизации становится оборудование с числовым программным управлением (станки, промышленные роботы, координатные измерительные машины и т.д.), особенно при использовании в составе гибких производственных систем (ГПС).

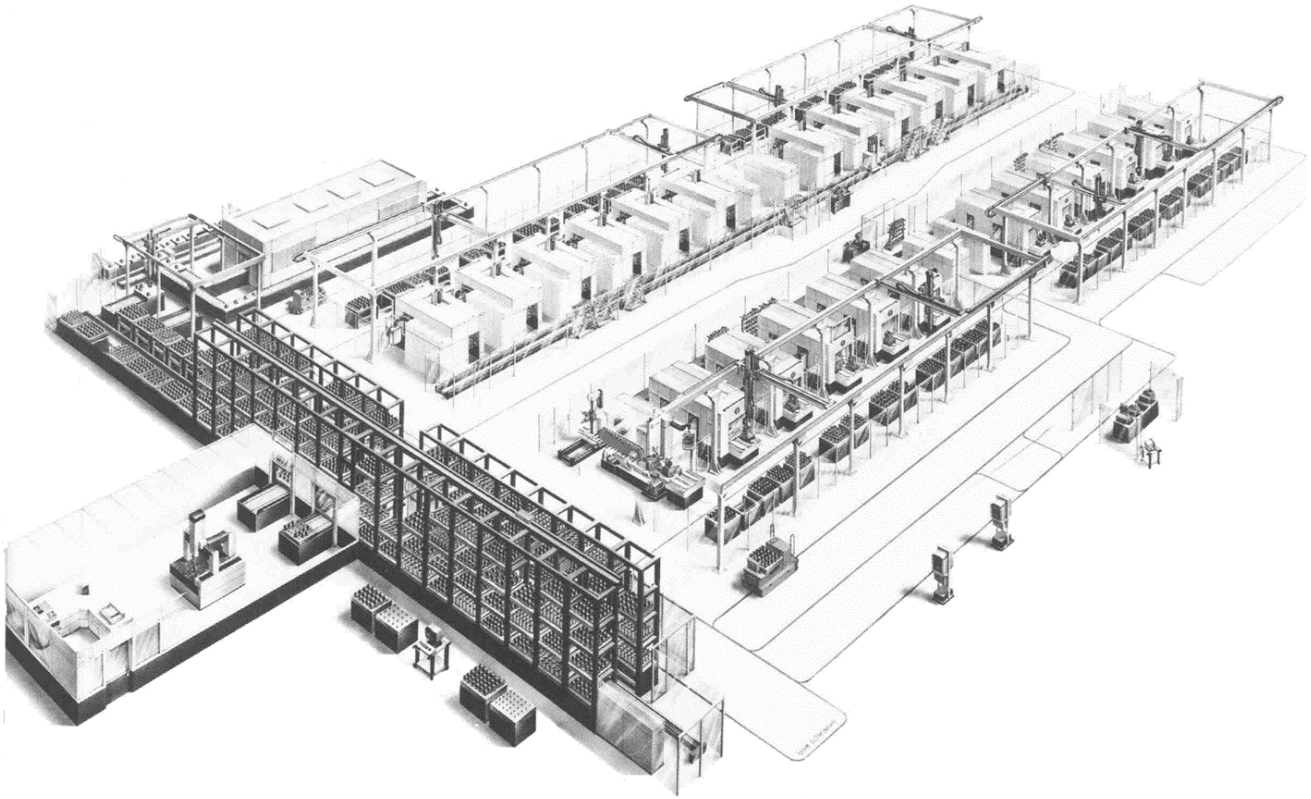
Обеспечение качества выпускаемой продукции в современном многономенклатурном производстве практически невозможно без гибких и производительных **систем автоматизированного контроля**.

Техническая система машин - это комплекс новых и эффективных технологий и оборудования, направленных на определенные действия или целевое преобразование энергии, вещества (массы) и **информации**.

Объединение в общую автоматизированную макросистему всего производственного процесса и его элементов привело к *целенаправленному усилению **информационных связей** между отдельными проектно-технологическими и производственно-снабженческими службами интегрированного автоматизированного производства* (*АП)*. При этом ускорилось *прохождение потоков информации между ними,* а также *объединение и синхронизация этих данных в информационных банках (базах) данных*.

© Сурков И.В.

Основа «Умного производства» («**Индустрия-4.0**») в металлообработке - это постоянный ***обмен информацией*** между автоматизированными технологическими (станочными), вспомогательными (транспортно-складскими) и контрольно-измерительными системами и модулями, ее ***обработка, анализ и формирование управленческих воздействий*** (*в реальном времени*) для корректировки и оптимизации процессов обработки деталей и сборки изделий, совершенствования логистических операций. Текущая и статистически обработанная информация о состоянии производства поступает в подразделения, занимающиеся конструкторско-технологическим проектированием и метрологическим обеспечением. В обратном направлении поступает информация о новых и обновленных конструкциях деталей и изделий, технологических процессах их изготовления, сборки и контроля.



© Сурков И.В.

Требования и тенденции из документа VDI «Метрология для производства 2020. Дорожная карта» (обновленная версия 2015 г.)

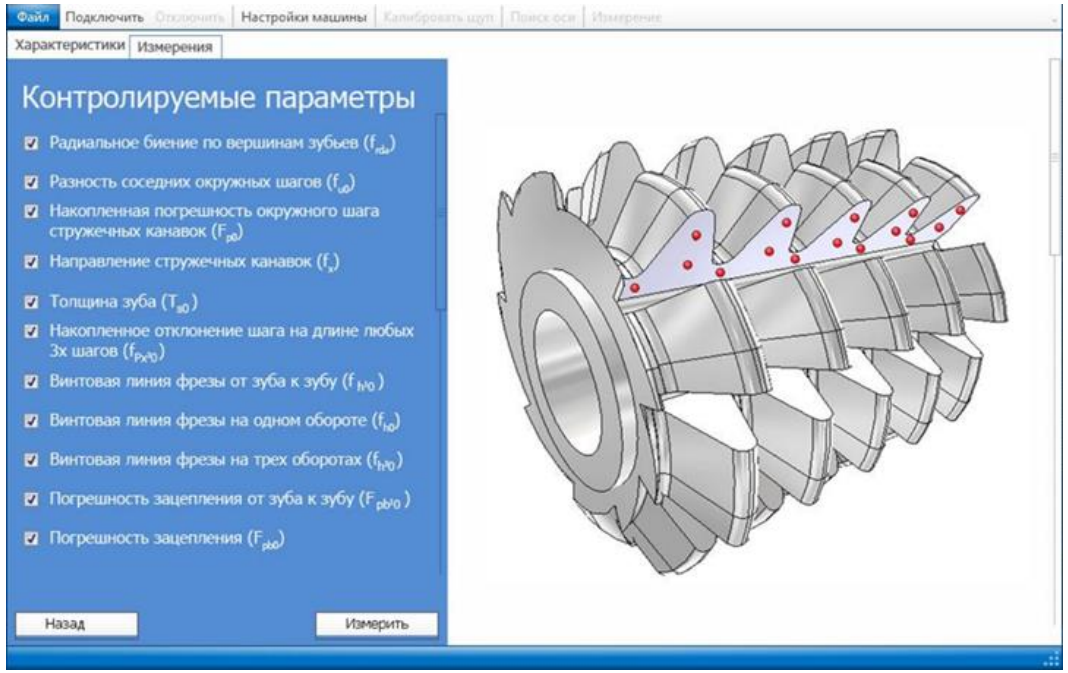
В рамках концепции **Industrie 4.0** важность самой технологии измерений и ее цифровой интеграции в гибкие производства увеличивается. В темах отмеченной выше схемы («скорость», «точность», «надежность» и «гибкость») ничего существенно не изменилось в плане метрологии как таковой. Однако, требования значительно увеличили значимость метрологии при реализации **Industrie 4.0**, так как **на производстве ожидается более обширное использование измерительных технологий и датчиков**. Даже сейчас эта тенденция подтверждается стремительным ростом данного сектора за последние годы и его высокого уровня инвестиций

© Сурков И.В.

Современные автоматизированные средства измерения оснащаются специализированными вычислительными устройствами, а также вычислительно-управляющими системами на базе ПК.

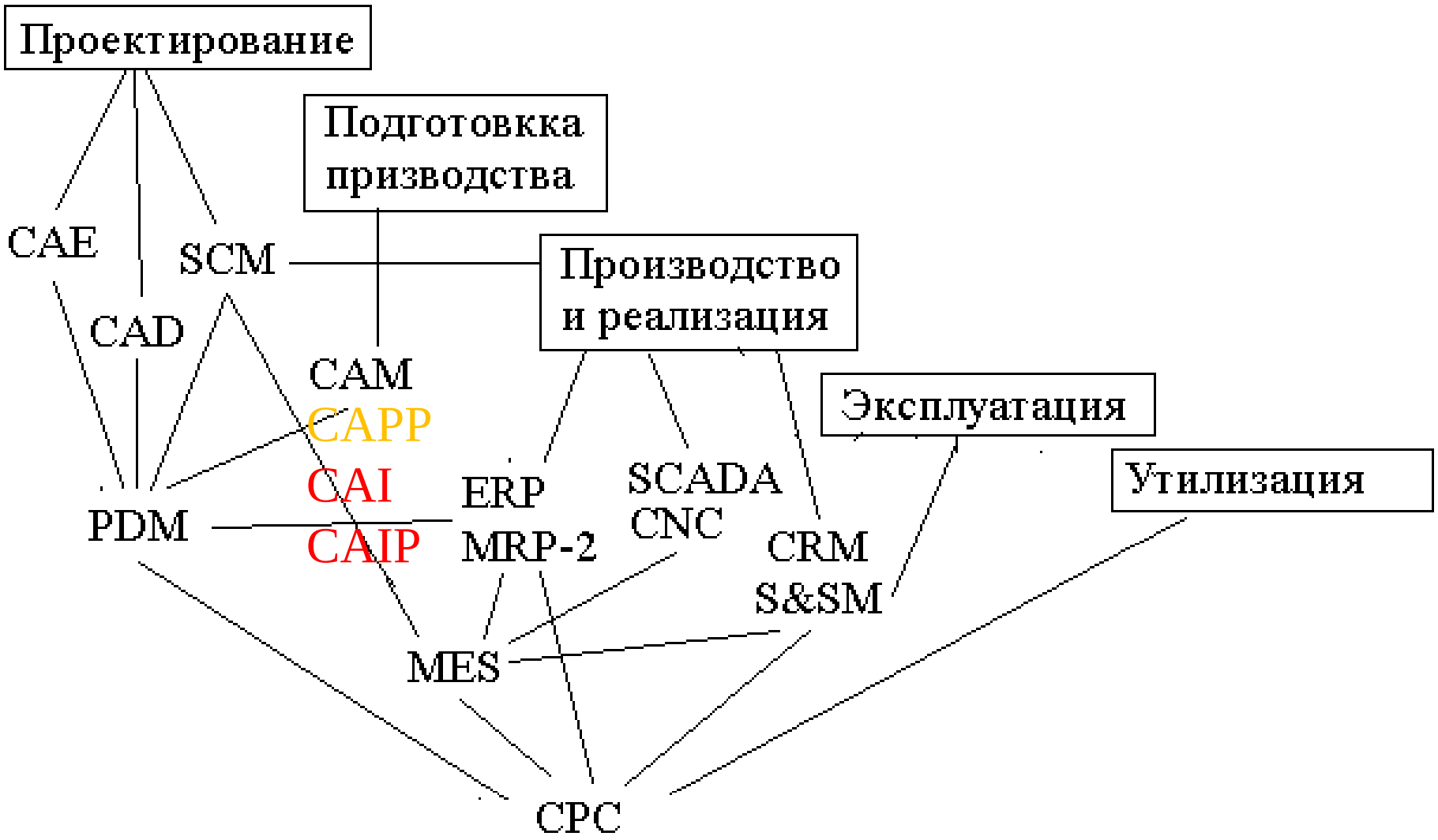
Внедрение в производство **средств вычислительной техники** позволило использовать непосредственно на рабочих местах специализированное **метрологическое программное обеспечение**, включающее в себя не только расчетные модули, но и удобные графические интерфейсы пользователя, настраиваемые на конкретную операцию ТП измерения, а также средства для формирования отчетов, системы для статистической обработки результатов измерения.

Современное программное обеспечение выстраивается в системы электронного документооборота, что позволяет хранить БД статистически обработанных результатов измерения, протоколы измерения, осуществлять быстрый поиск типовых ТП технического контроля.



© Сурков И.В.

Системы компьютерного проектирования в едином информационном пространстве машиностроительного производства



© Сурков И.В.

Обмен конструкторско-технологическими и метрологическими данными в едином информационном пространстве машиностроительного производства

Две основные стратегии по внедрению автоматизированного оборудования и систем

Две основные стратегии по внедрению автоматизированного оборудования и систем для выполнения процессов измерения и контроля параметров зубчатых колес 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 программное обеспечение (ПО). В ЗАО «ЧелябНИИконтроль» выпускается «с нуля» большая номенклатура модернизированных измерительных приборов, в т.ч. для измерения и контроля параметров зубчатых колес.

Иногда проводится модернизация существующего уникального оборудования, которая сочетается с ремонтными работами для восстановления или повышения показателей точности.

© Сурков И.В.

Две основные стратегии по внедрению автоматизированного измерительного оборудования и систем.

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.

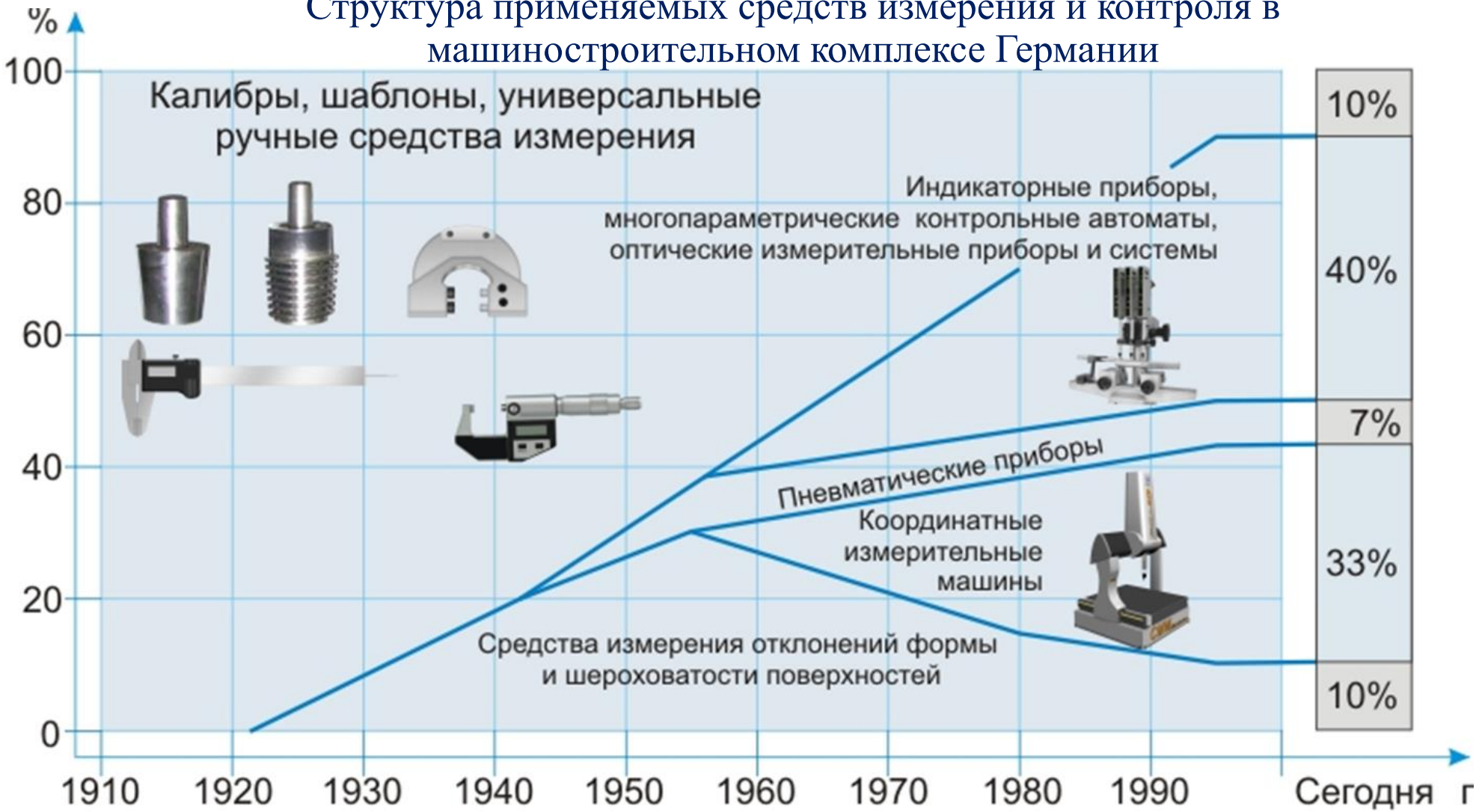
Очевидно, что на машиностроительных предприятиях необходимо внедрять новые методы и средства контроля, в том числе наиболее эффективные на сегодняшний день **координатные измерительные приборы (КИП), машины (КИМ) и системы (КИС)** различных компоновок и типоразмеров. Положенный в основу работу КИМ координатный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

Возможности координатно-измерительного оборудования и программно-методическое обеспечение для автоматизированного контроля параметров зубчатых колес и зуборезного инструмента подробно рассмотрим во второй части презентации (через неделю).

© Сурков И.В.

При внедрении автоматизированных средств контроля и координатно-измерительной техники следует изучить **проблемы**, возникающие при использовании традиционных средств измерения и учесть **опыт преодоления** этих проблем. Этот опыт хорошо сформулирован в нескольких **основополагающих принципах измерения геометрических параметров**, в т.ч. в **«принципе инверсии»** и **«принципе системности»**.

Структура применяемых средств измерения и контроля в машиностроительном комплексе Германии



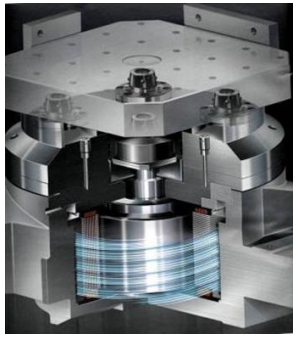
© Сурков И.В.

Современные машиностроительные комплексы представляют собой совокупность взаимосвязанных станочных и технических машин и обслуживающих систем, осуществляющих направленное формообразование наиболее точных деталей за заданное время в автоматическом режиме при минимальных издержках многономенклатурного автоматизированного производства. Основной структурной единицей комплексов являются автоматизированные модули: станочные, измерительные, транспортные, складские и т.д.

Автоматизированый модуль представляет собой многокомпонентные структуры *со сложными взаимосвязями отдельных механических, электромеханических и электронных систем*. Здесь под ***модулем*** понимают - *функционально и конструктивно независимую техническую сборочную единицу, которую можно использовать индивидуально и в разных комбинациях с другими элементами некоторой системы оборудования*.

Конструкции и компоновки автоматизированных модулей чрезвычайно разнообразны, однако все они содержат *типовые системы, узлы, механизмы и элементы*.

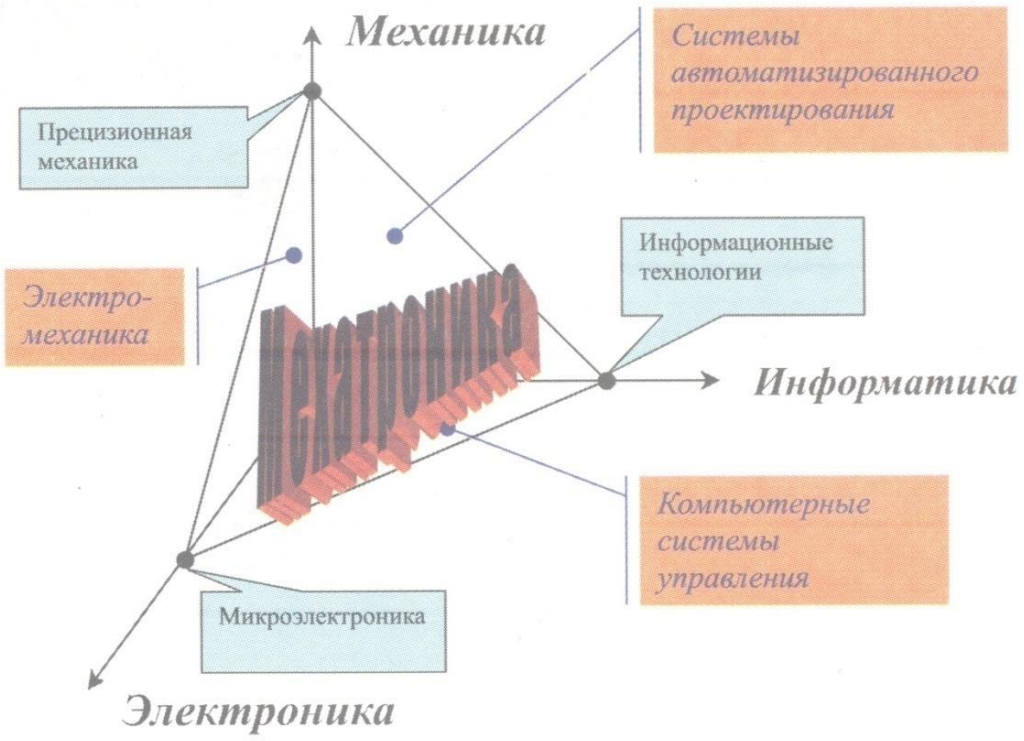
В оборудовании **сокращается доля чисто механических узлов** (коробки скоростей и подач, гитары зуборезных станков и т.д.), упрощаются кинематические цепи, растет сложность и стоимость используемых электронных компонентов, но особенно быстро **растут затраты на информационную составляющую стоимости оборудования**: ПО, лицензии, «секреты производства» («ноу-хау»).



© Сурков И.В.

Компоновка автоматизированного модуля - это *принятая по проекту система пространственного расположения элементов, узлов или систем (станка, измерительной машины и др. оборудования), характеризующаяся определённой технологией (обработки, измерения и т.д.), структурой, пропорциями форм, набором требуемых размеров, свойств, характеристик или параметров.*

Современное автоматизированное оборудование проектируют в основном из унифицированных *мехатронных* модулей. ***Мехатроника*** (**меха**ника, элек**трон**ика, информат**ика**) - область науки и производства современных узлов и систем на основе достижений **точной механики, микроэлектроники и информационных технологий**.



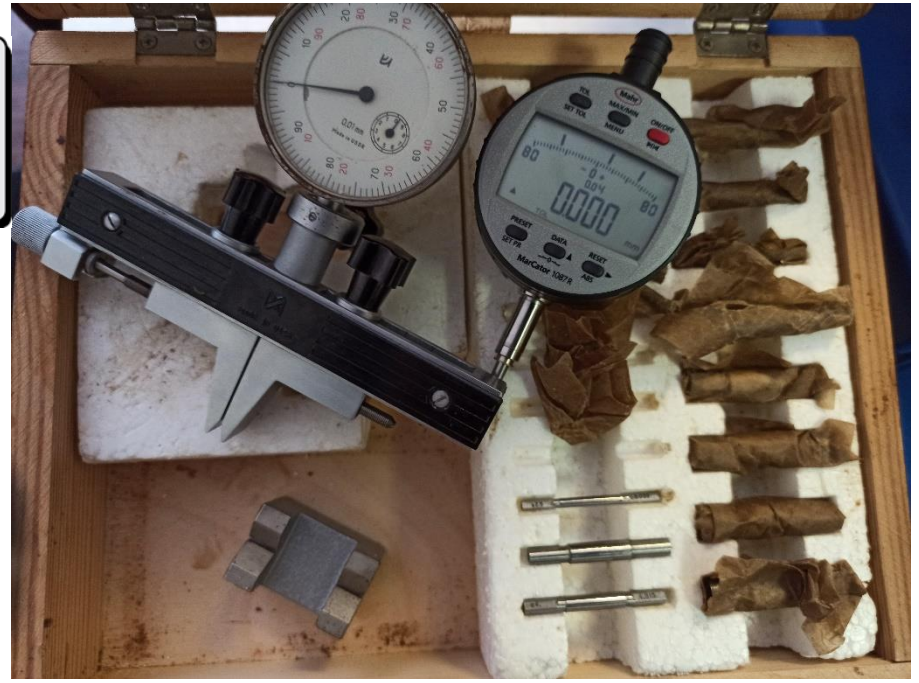
© Сурков И.В.

Большой проблемой является низкий уровень автоматизации и узкая специализация традиционных зубоизмерительных 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).

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

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

MarConnect
integrated
wireless

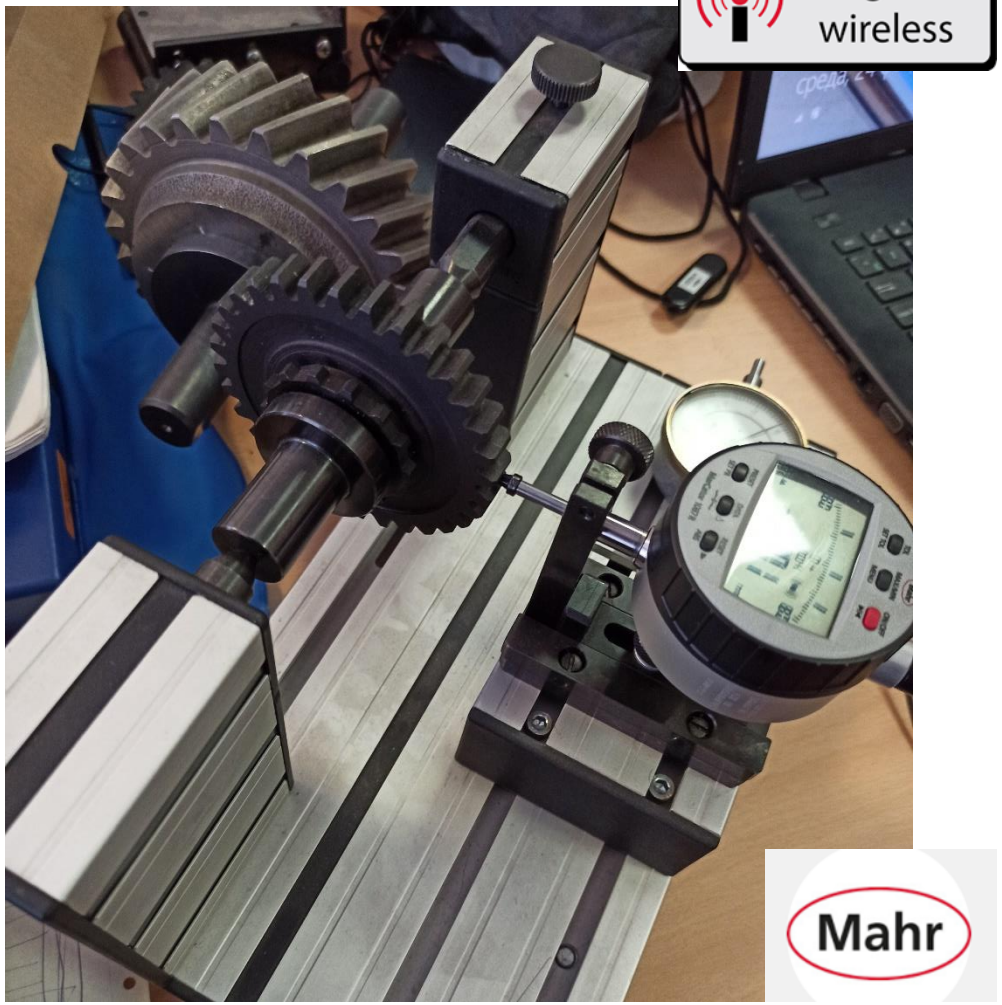


© Сурков И.В.

Пример автоматизации измерений радиального биения зубчатого колеса с помощью индикатора Mahr и ПО MarCom_Professional.

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

Видео – учебный биениемер

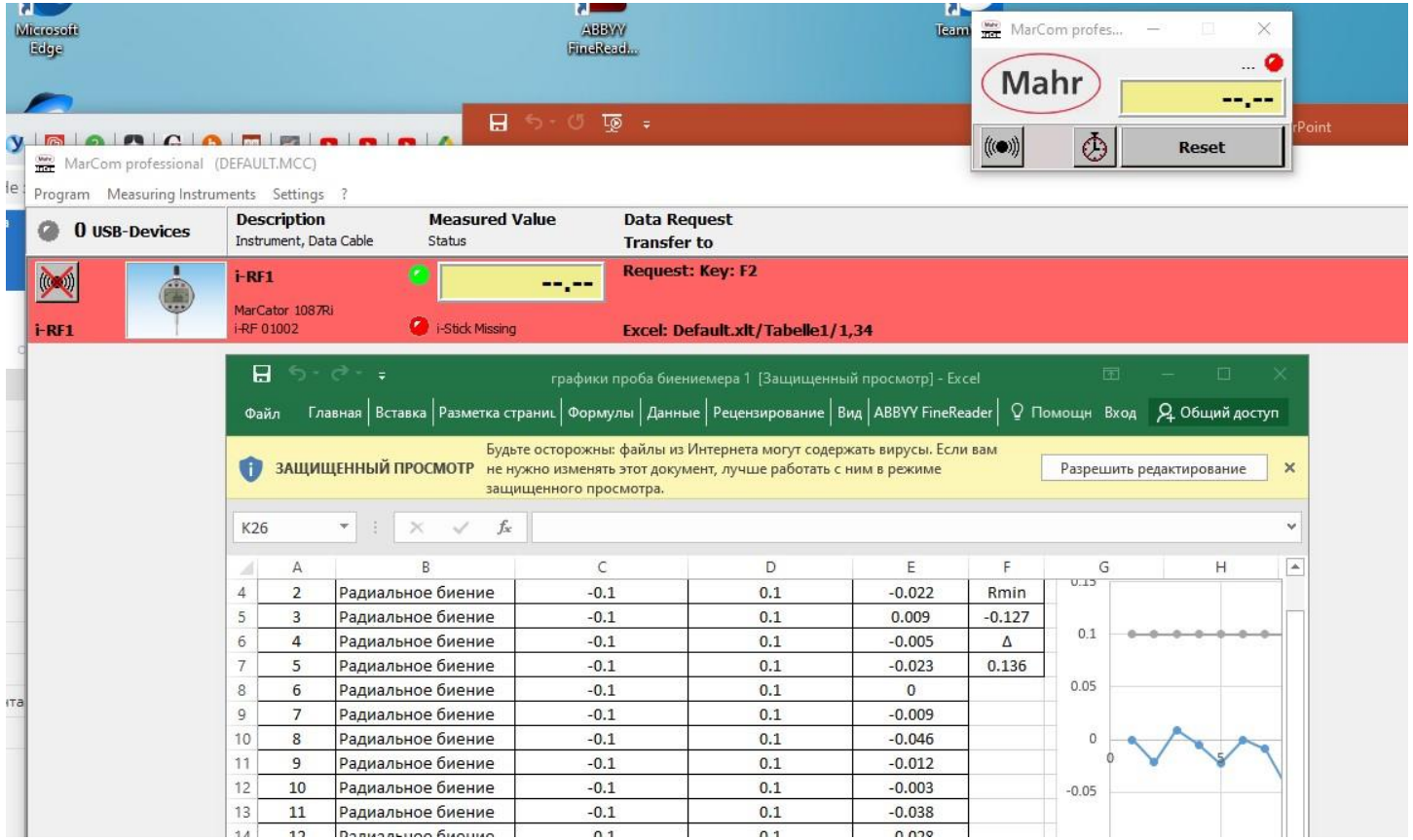


© Сурков И.В.

Пример автоматизации измерений радиального биения зубчатого колеса с помощью индикатора Mahr и ПО MarCom_Professional.

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

Видео – учебный биениемер

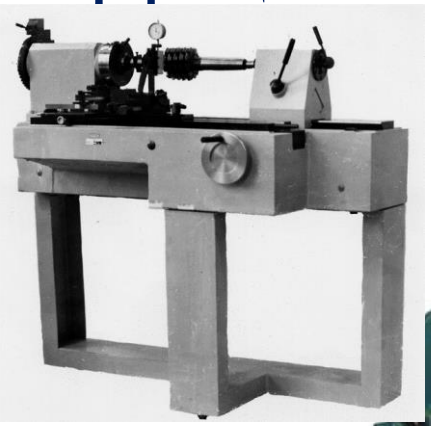


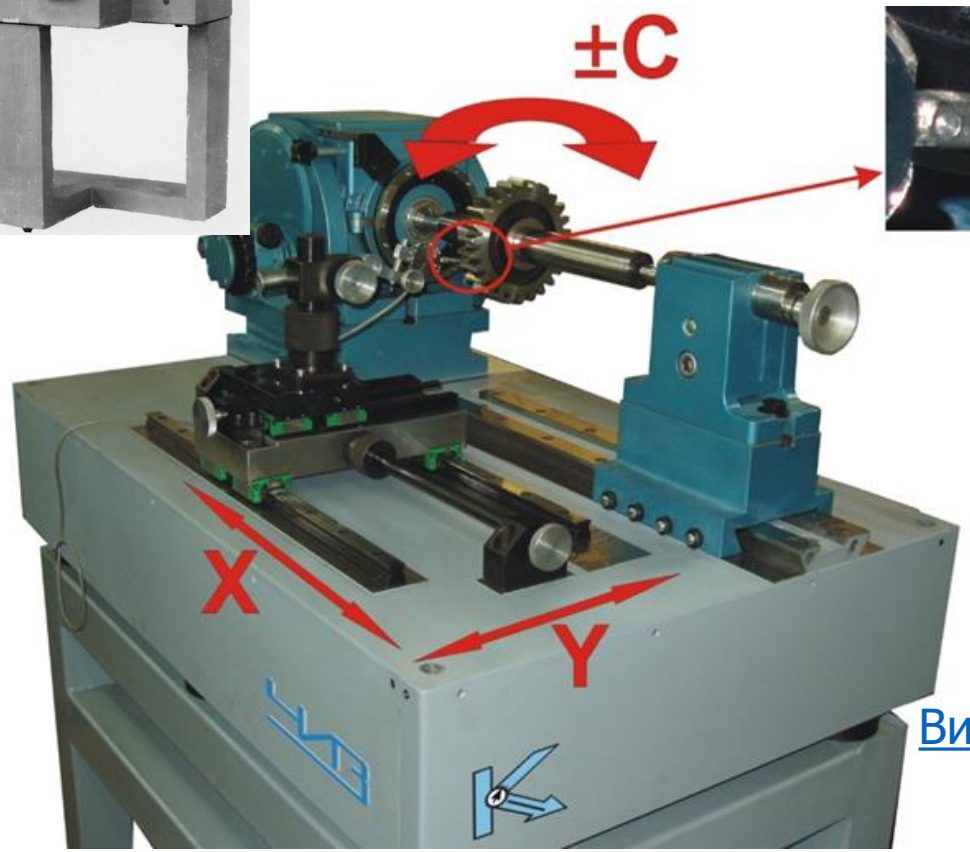
	A	B	C	D	E	F
4	2	Радиальное биение	-0.1	0.1	-0.022	Rmin
5	3	Радиальное биение	-0.1	0.1	0.009	-0.127
6	4	Радиальное биение	-0.1	0.1	-0.005	Δ
7	5	Радиальное биение	-0.1	0.1	-0.023	0.136
8	6	Радиальное биение	-0.1	0.1	0	
9	7	Радиальное биение	-0.1	0.1	-0.009	
10	8	Радиальное биение	-0.1	0.1	-0.046	
11	9	Радиальное биение	-0.1	0.1	-0.012	
12	10	Радиальное биение	-0.1	0.1	-0.003	
13	11	Радиальное биение	-0.1	0.1	-0.038	

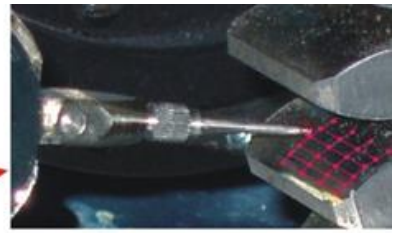
© Сурков И.В.

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).

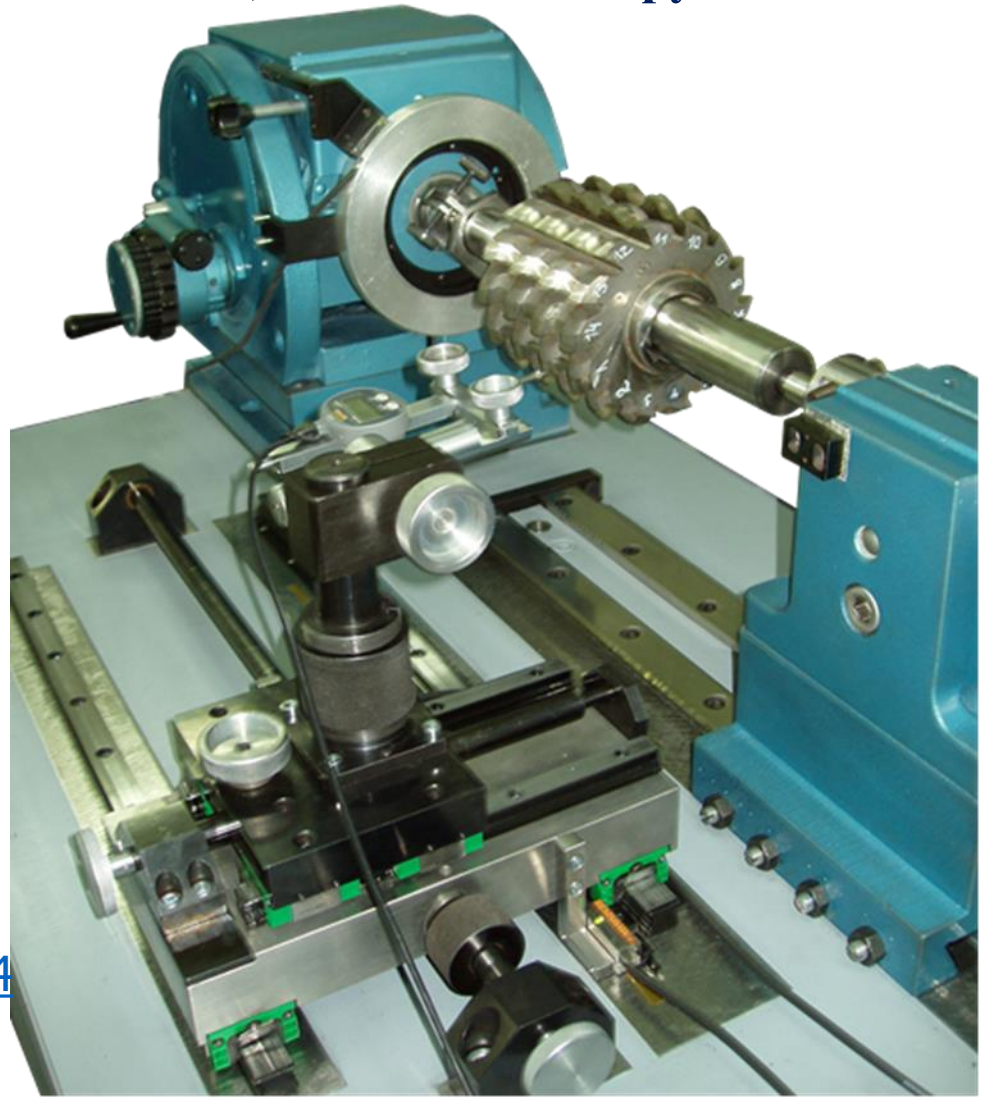
Часть приборов и систем остается с **ручным управлением**. Оператор выполняет заданную на мониторе ПК последовательность действий: устанавливает и снимает контролируемую деталь, перемещает узлы, осуществляет касание контактного элемента измерительного наконечника (ИН) с требуемыми точками на поверхностях 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**.





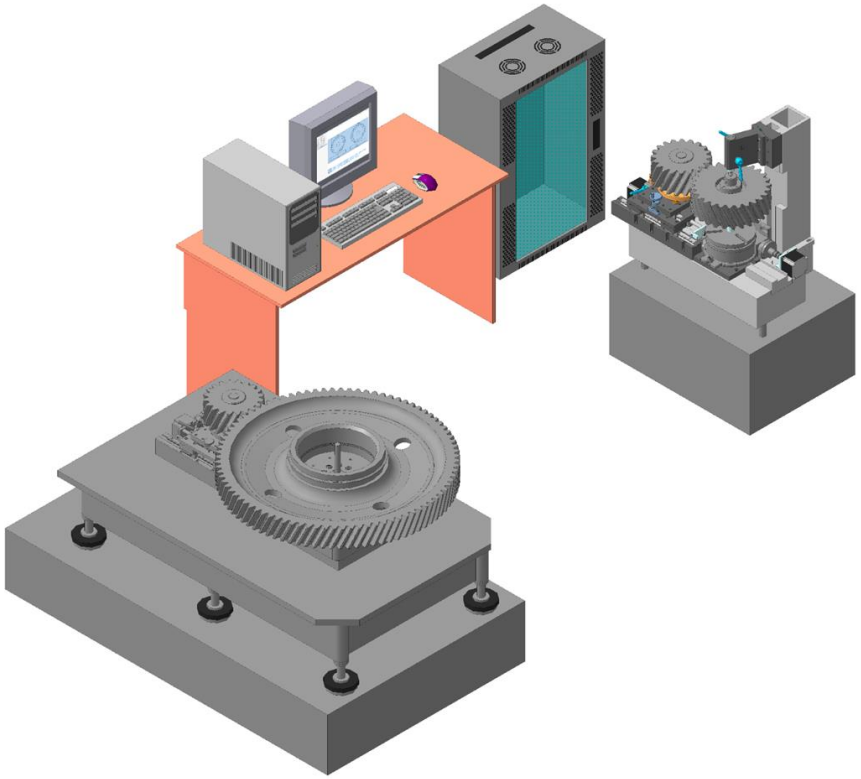


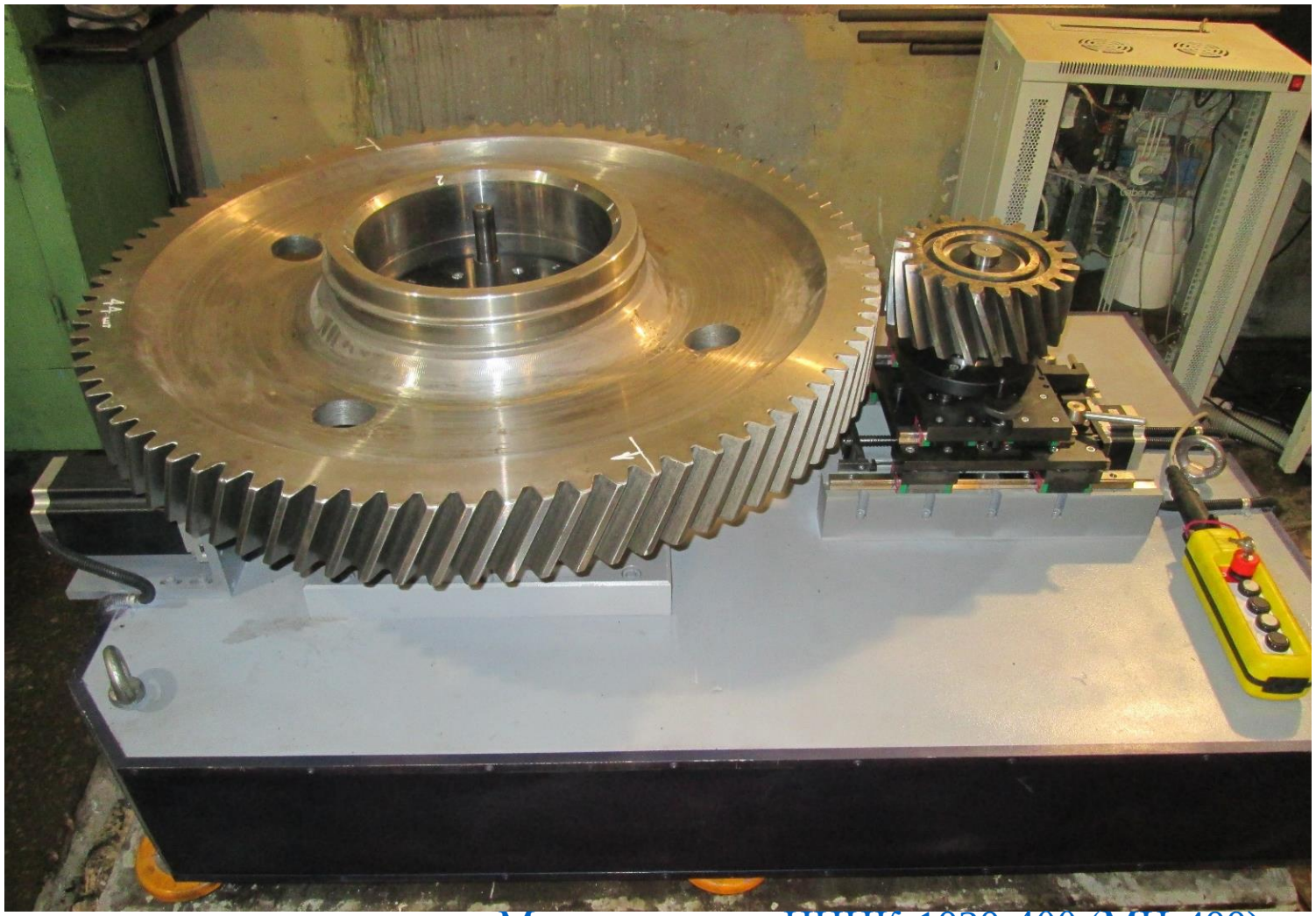
Видео-НИИК-484



© Сурков И.В.

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 происходить в автоматическом режиме под управлением микропроцессорного блока, системы ЧПУ или управляюще-вычислительного комплекса на основе ПК.

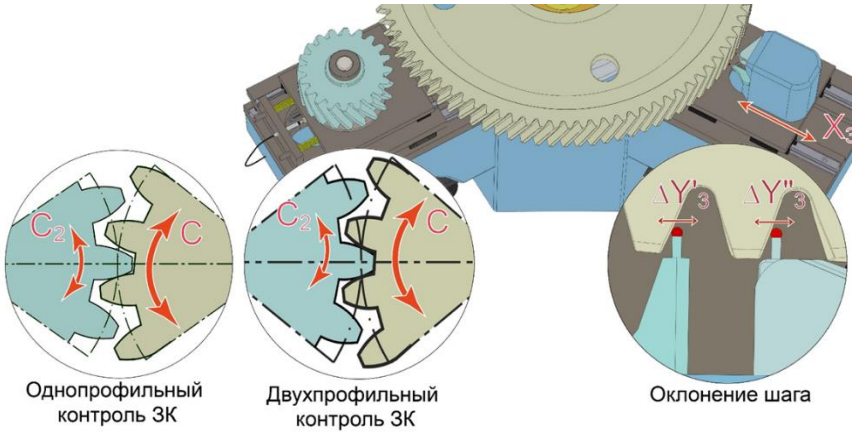




© Сурков И.В.

Межцентромер НИИК-1020-400 (МЦ-400)
Испытания НИИК-1021-1000 31.10.2018

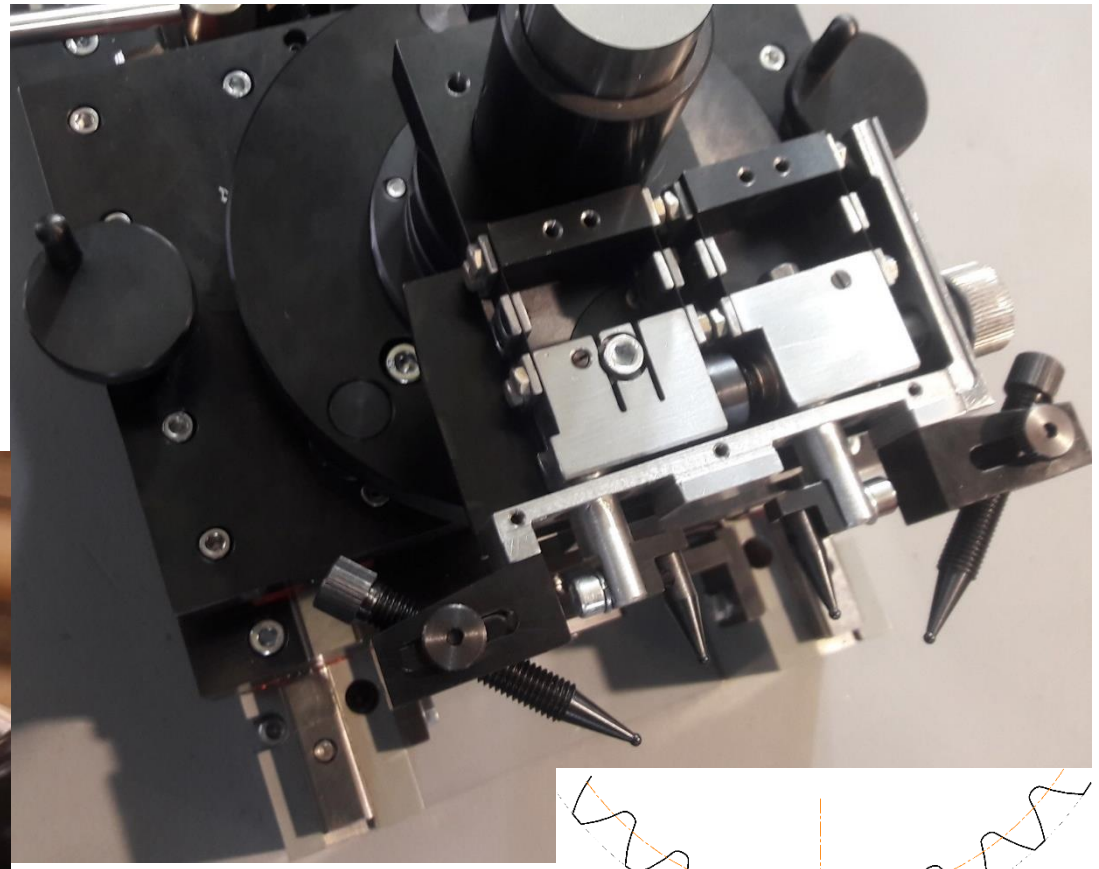
НИИК-1021. Наладка для контроля отклонения шага зубчатого колеса

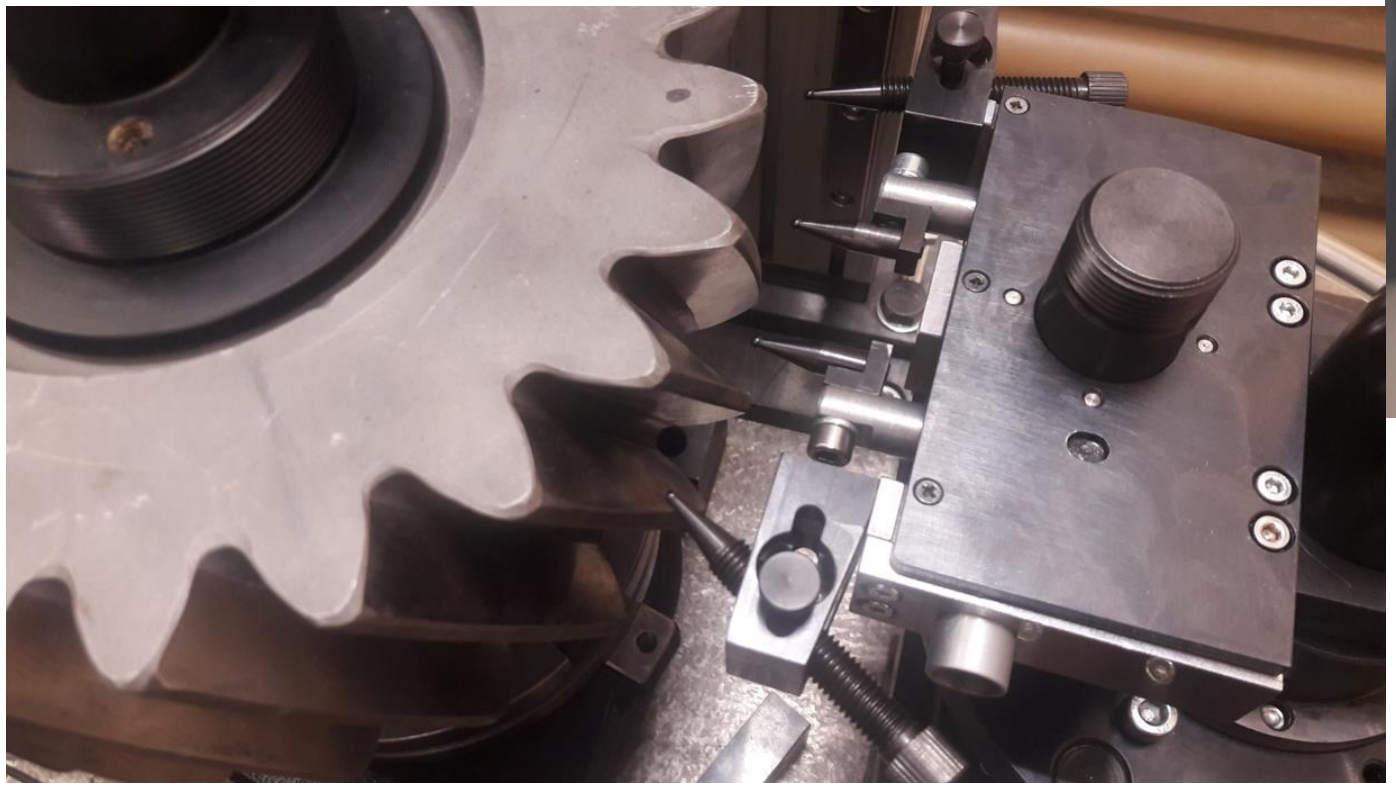


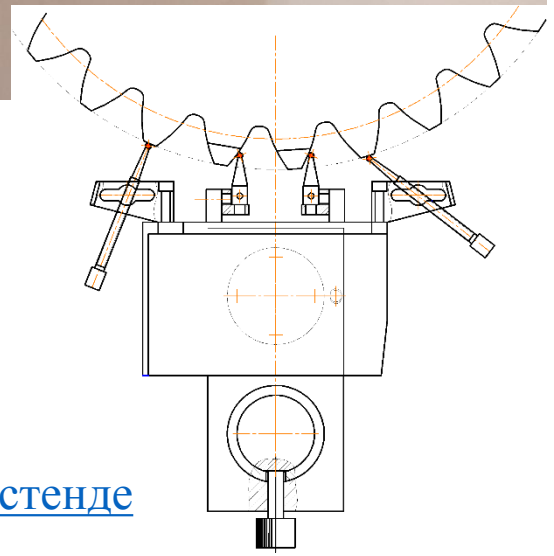
Однопрофильный контроль ЗК

Двухпрофильный контроль ЗК

Оклонение шага



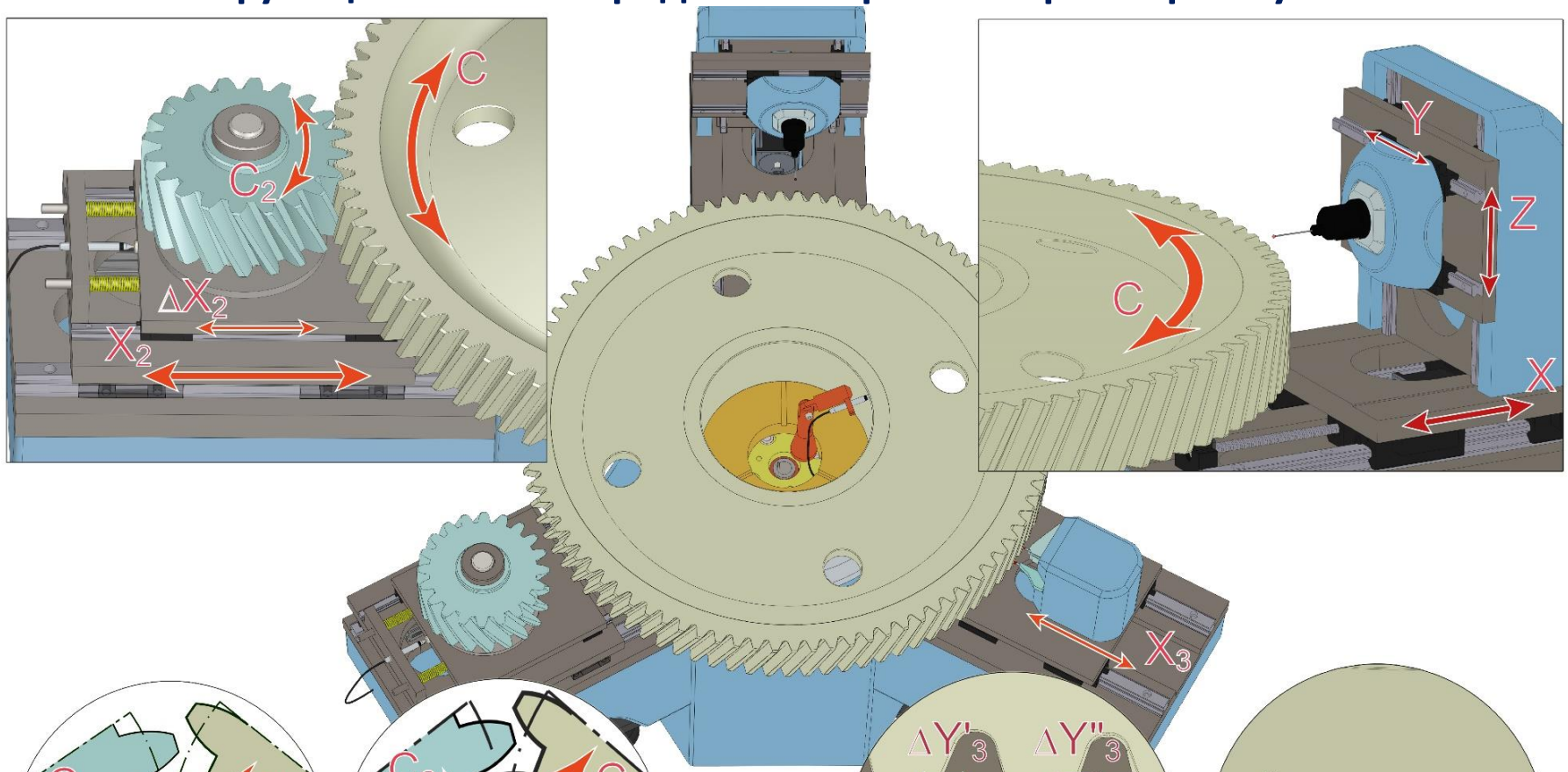


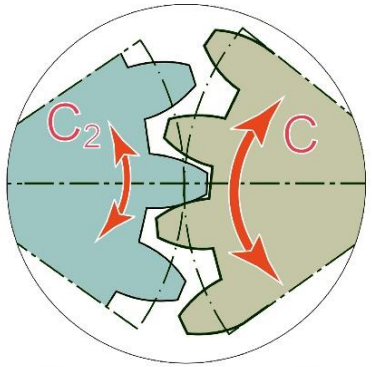


© Сурков И.В.

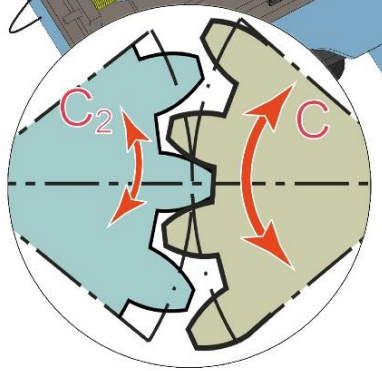
Испытания шагомера на стенде

Компьютерный анализ кинематики и функциональных возможностей проектируемых многофункциональных средств измерения параметров зубчатых колес

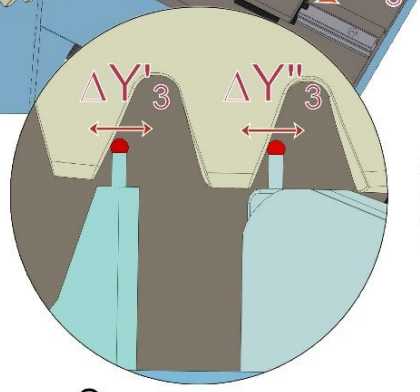




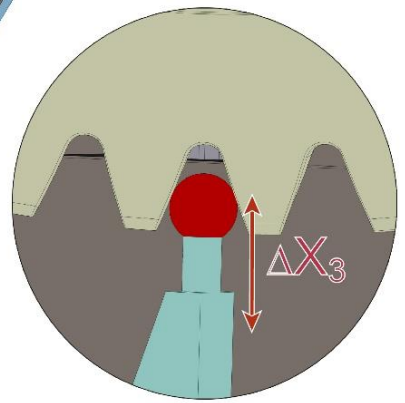
Однопрофильный контроль ЗК



Двухпрофильный контроль ЗК

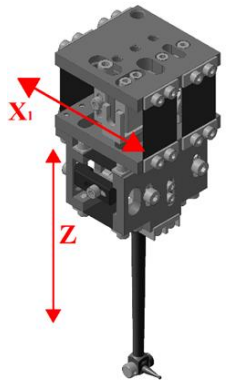


Оклонение шага



Радиальное биение

Сокращение времени разработки и снижение себестоимости изготовления как модернизированных так и новых измерительных приборов и систем достигается за счет обеспечения **модульности конструкций** механических узлов, электронных блоков и программного обеспечения. Унификация модулей позволяет получить широкую гамму измерительных приборов и систем различного назначения и компоновки из ограниченного числа функциональных модулей и узлов. Используются модули и узлы собственной разработки, комплектующие ведущих мировых производителей (Renishaw, Siemens, INA и др.), а также модернизированные узлы существующих конструкций приборов. Замена механических модулей мехатронными позволяет значительно сократить длину кинематических, функциональных и размерных цепей, повысить точность и степень автоматизации процессов контроля.



Поворотная измерительная головка

Цифровые измерительные головки

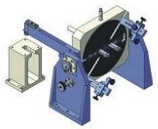
Механическая измерительная головка

Измерительные преобразователи для линейных и угловых перемещений

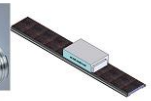
Цифровая камера

Каретки

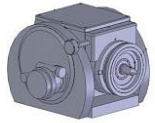
Линейные и угловые подшипники



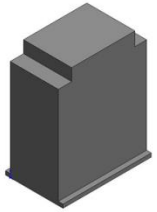
Поворотные столы



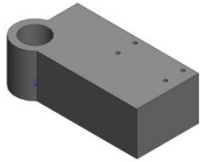
Двигатели



Делительная головка



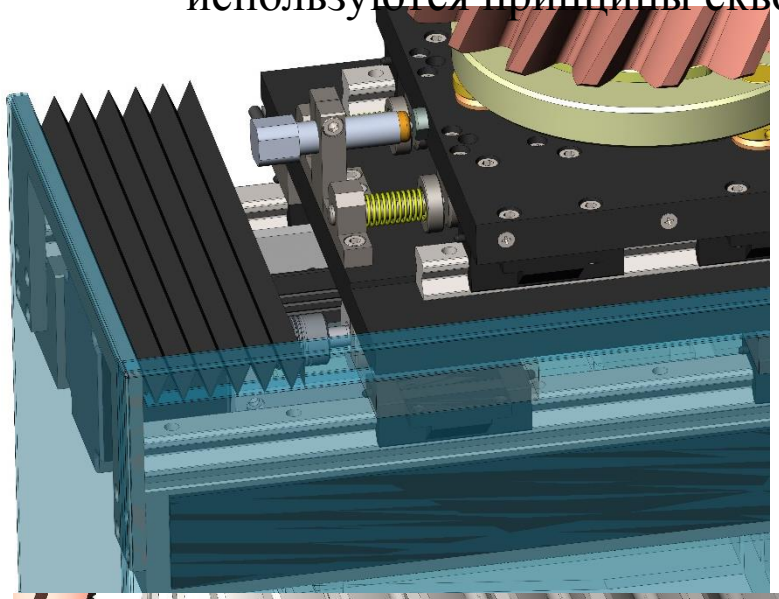
Вертикальная стойка

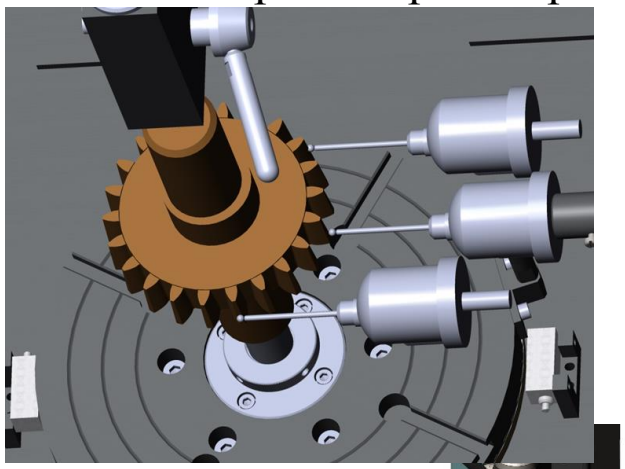


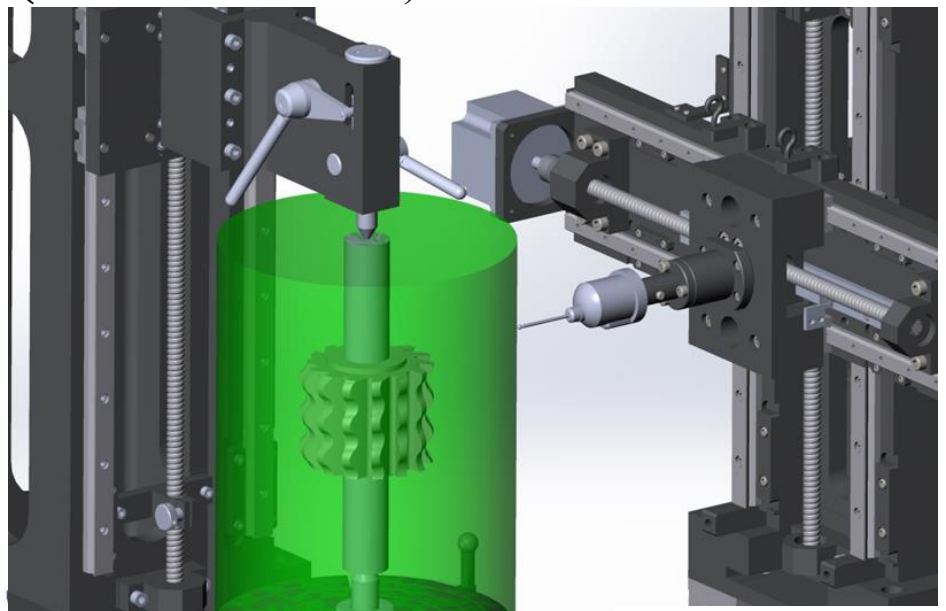
Основания (станины)

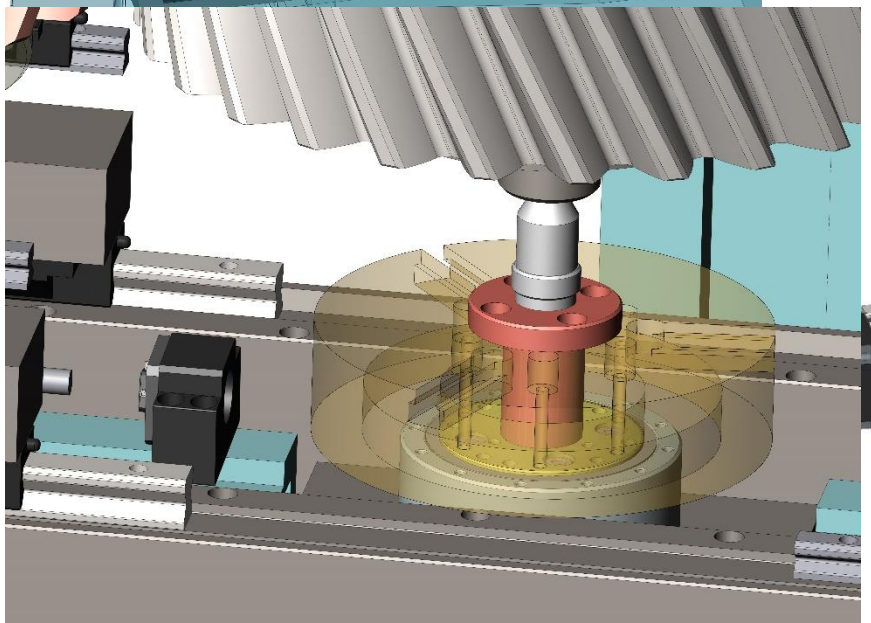
Центра

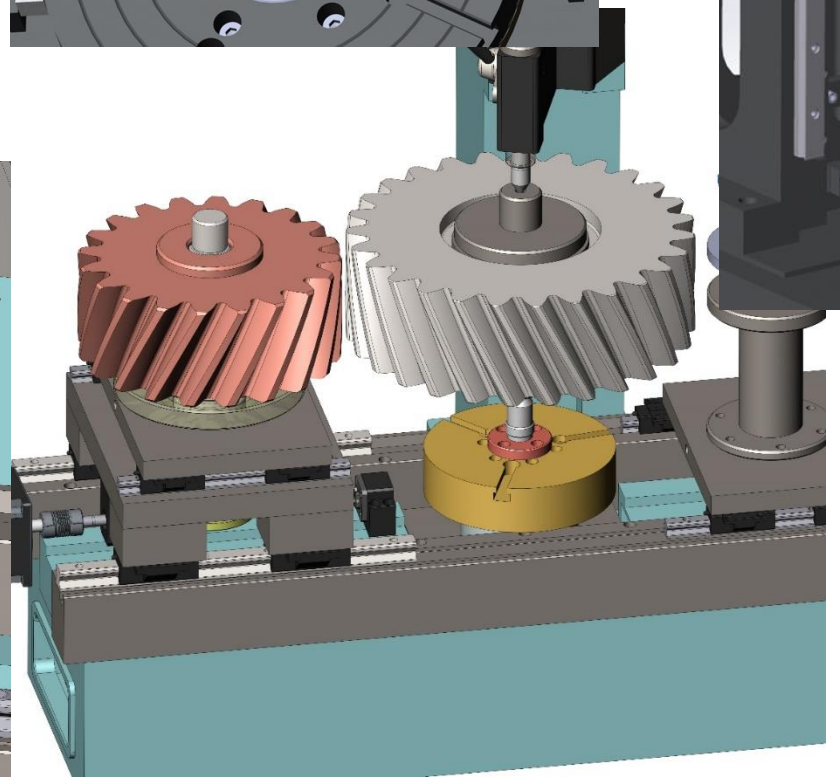
Для проведения предварительного анализа кинематики приборов, особенностей закрепления различных конструкций и типоразмеров измеряемых деталей специалисты ЗАО «ЧелябНИИконтроль» проводят компьютерное моделирование новых вариантов структур и компоновок измерительных систем. Широко используются принципы сквозного компьютерного проектирования (CALS технологии).

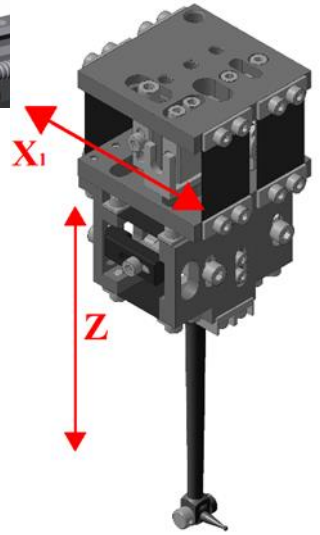






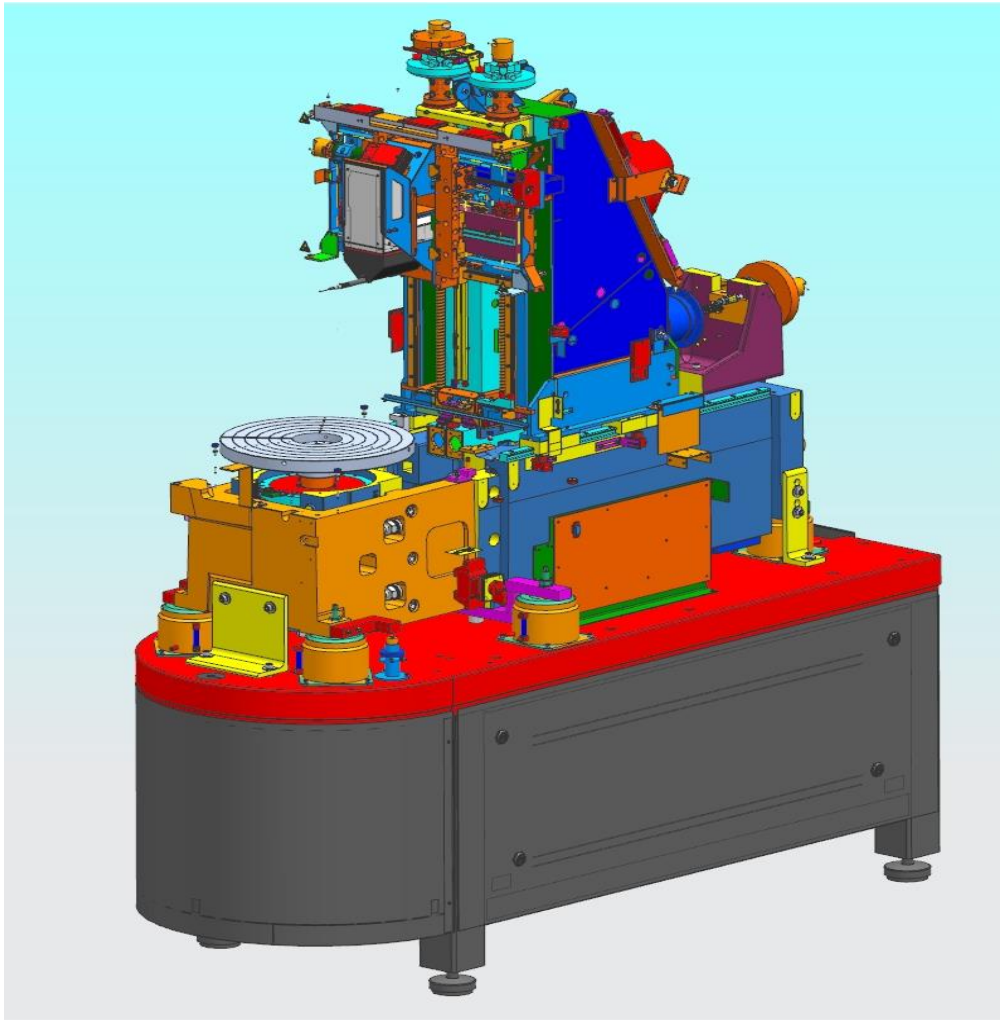


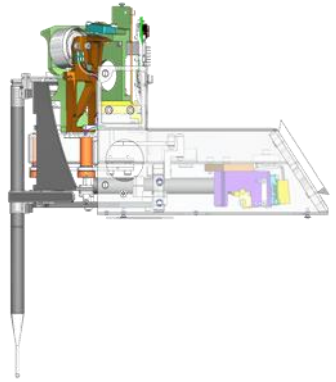




GMX 275 W 400 W 400ZLW

Система отсчета с активной компенсацией

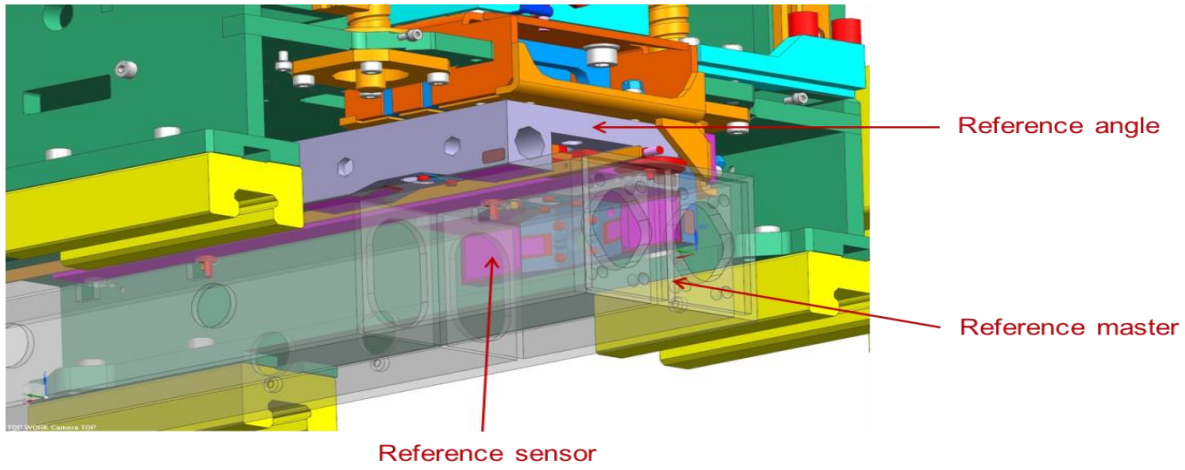




Основные особенности «Компенсации погрешностей машины»

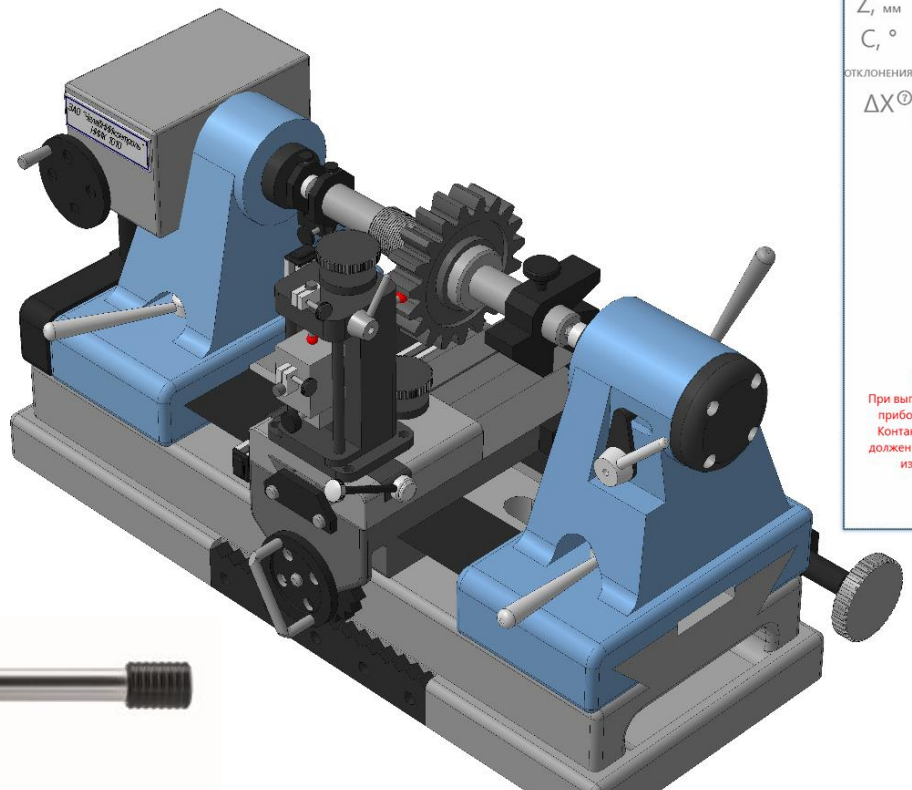
- **Более высокая точность параметров формы, зубчатых венцов и положения, а также позиционирования!**

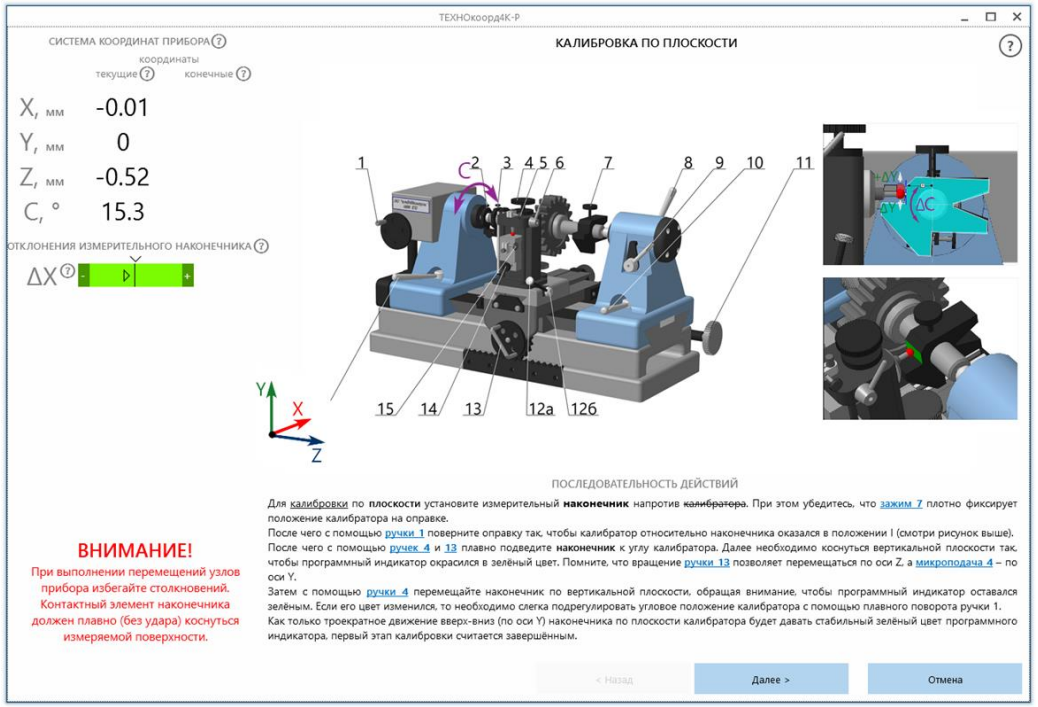
… благодаря отслеживанию и компенсации статических и динамических погрешностей машины!



Кроме возможности подключения к персональным компьютерам с помощью проводных или беспроводных интерфейсов необходимо наличие специального **метрологического ПО**. Его разрабатывает поставщик СИ, специальное предприятие (системный интегратор) или сам Потребитель. Разработка может производиться с «нуля» или с использованием готовых программных платформ: универсальных (Excel) или специальных (ТехноКоорд). Перед разработкой ПО проводится большая работа по подготовке **информационного** (математические модели, рисунки, схемы, инструкции, справки, базы данных) и **алгоритмического** (блок-схемы, текстовое описание) обеспечения.

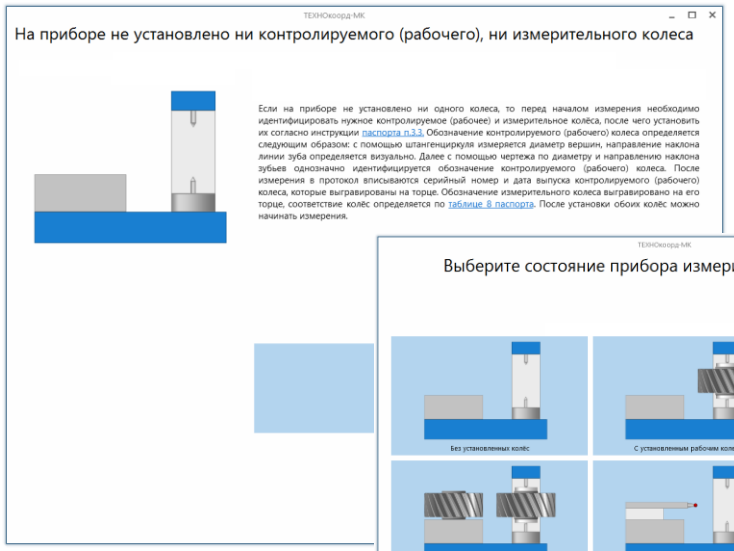
MarConnect
integrated wireless

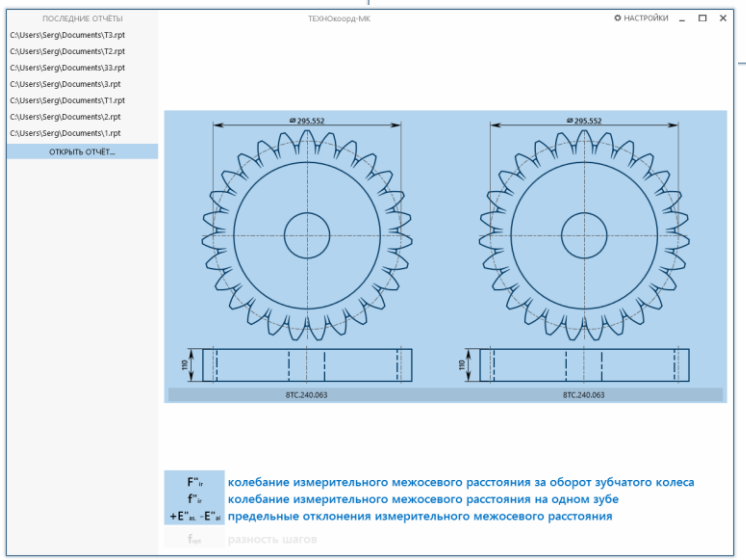


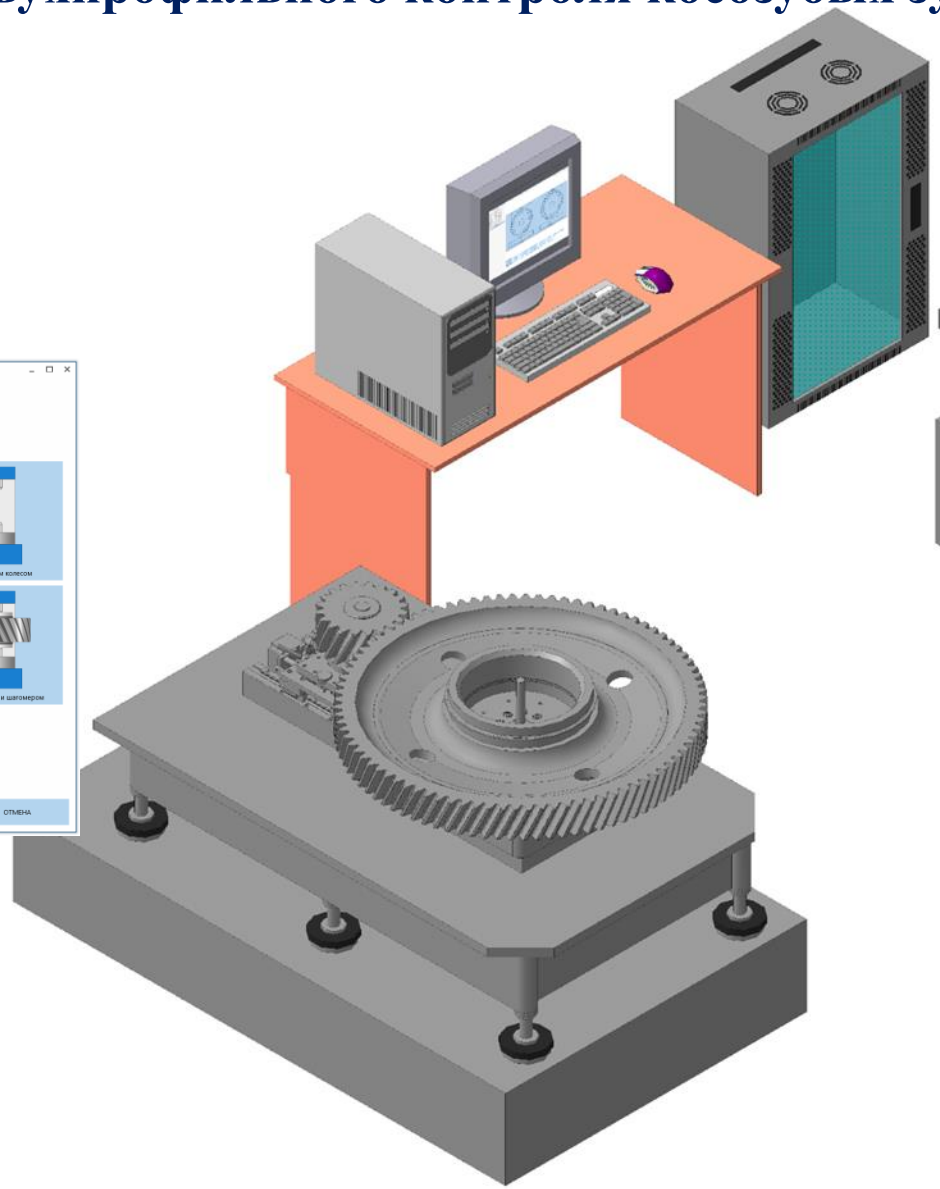


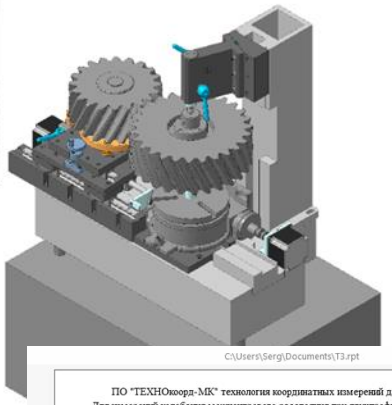
© Сурков И.В.

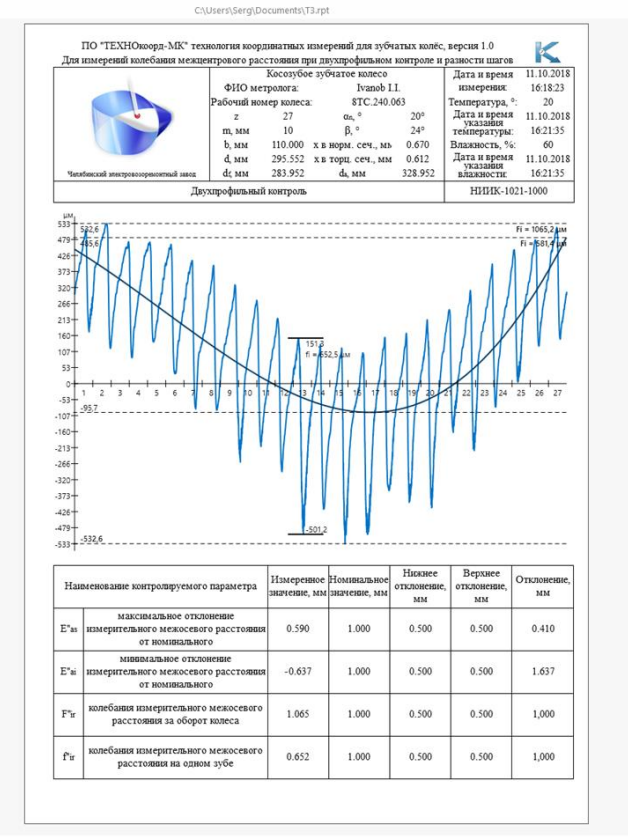
ПО «ТехноКоорд-МК» для двухпрофильного контроля косозубых зубчатых колес и шестерен









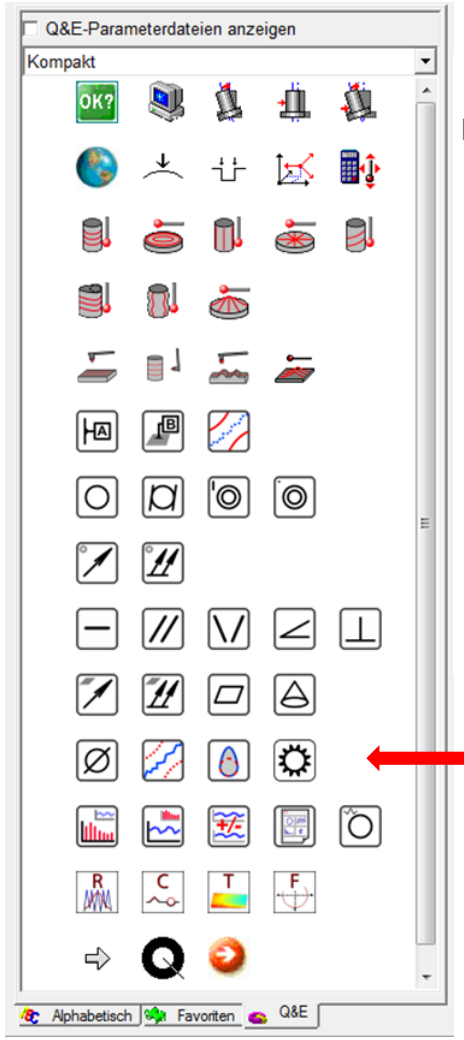


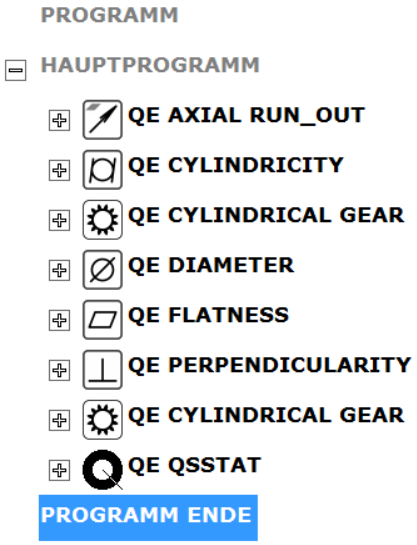
Наименование контролируемого параметра		Измеренное значение, мм	Номинальное значение, мм	Нижнее отклонение, мм	Верхнее отклонение, мм	Отклонение, мм
E"as	максимальное отклонение измерительного межосевого расстояния от номинального	0.590	1.000	0.500	0.500	0.410
E"ai	минимальное отклонение измерительного межосевого расстояния от номинального	-0.637	1.000	0.500	0.500	1.637
F"ir	колебания измерительного межосевого расстояния за оборот колеса	1.065	1.000	0.500	0.500	1,000
f'ir	колебания измерительного межосевого расстояния на одном зубе	0.652	1.000	0.500	0.500	1,000

© Сурков И.В.

MarWin: Возможности измерения зубчатых венцов

Интеграция «QE Цилиндрические зубчатые венцы» в платформу MarWin



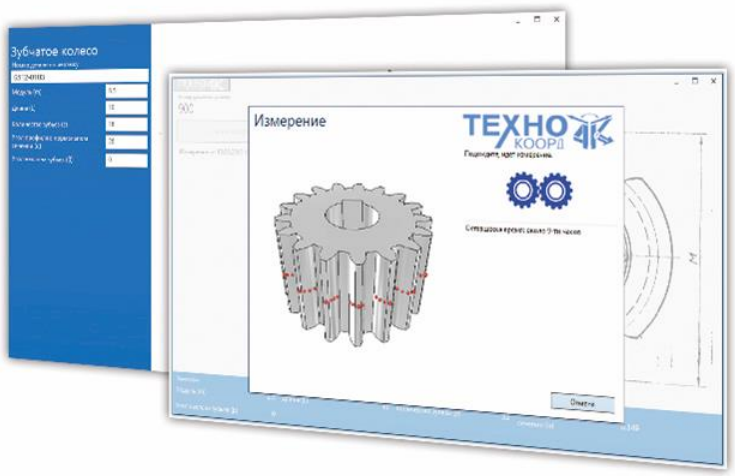


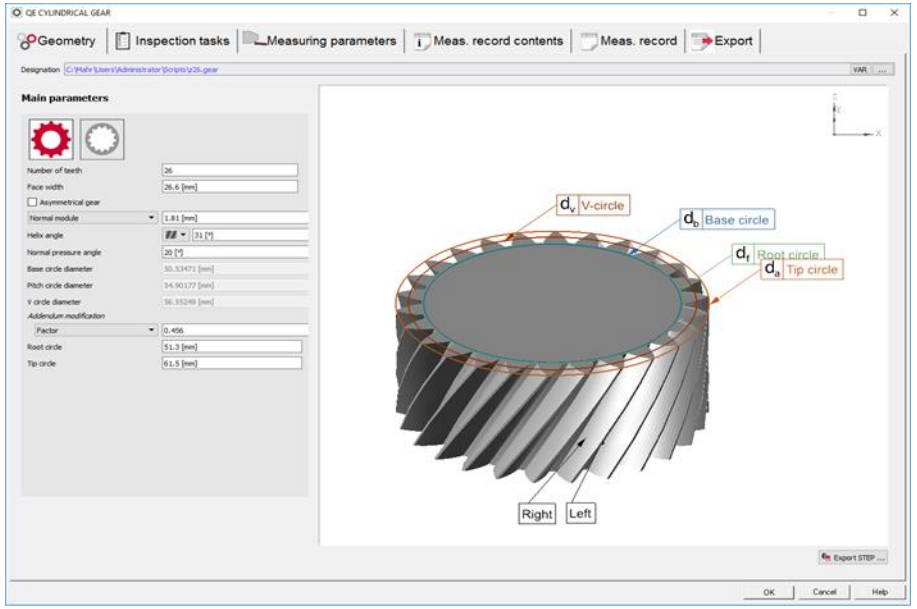
- **Использование всех модулей MarWin**
- **Форма и положение**
- **Контур, волнистость и шероховатость**
- **Анализ Фурье (шум)**
- **Наружный и внутренний диаметр**
- **Расстояние**

С новой «QE Цилиндрические зубчатые венцы» модульная система на платформе MarWin будет дополнена еще одним модулем. Это обеспечивает простоту создания программ для полного измерения формы, контура, шероховатости и параметров зубчатых венцов на зубчатых валах.

На сегодняшний день наиболее высокой степенью автоматизации в области измерений геометрических параметров обладают **координатные измерительные приборы (КИП), машины (КИМ) и системы (КИС)** различных компоновок и типоразмеров. Положенный в основу работу КИМ координатный метод измерения является наиболее универсальным и гибким, может эффективно применяться для автоматизированного контроля широкой номенклатуры деталей (в том числе со сложнопрофильными поверхностями: **зубчатые колеса**, **зуборезный инструмент**).

Возможности координатно-измерительного оборудования и программно-методического обеспечения для автоматизированного контроля параметров зубчатых колес и зуборезного инструмента подробно рассмотрим во второй части презентации (через неделю).





[Видео Mahr](#)
[MARGEAR (видео)](#)
[Инструкция](#)

© Сурков И.В.

«Метрологическое обеспечение процессов контроля геометрических параметров зубчатых колес и передач»

Часть 1. Традиционные средства и методы измерения геометрических параметров зубчатых колес и передач. Повышение степени автоматизации процессов контроля.

1.1. Теоретические основы измерения параметров зубчатых колес.

1.2. Базовые стандарты для нормирования точности геометрических параметров зубчатых колес и передач. Сравнительный анализ российских и международных стандартов.

1.3. Обзор традиционных средств и методов измерения геометрических параметров зубчатых колес.

1.4. Основные направления автоматизации процессов контроля. Учет положений концепции «Индустрия 4.0», «цифровизация измерений» для единого информационного пространства машиностроительного производства.

Часть 2. Координатные измерения геометрических параметров зубчатых колес.

2.1. Основные положения координатной метрологии.

2.2. Типовые методики координатных измерений геометрических параметров зубчатых колес (ГП ЗК).

2.3. Оборудование для координатных измерений ГП ЗК и зуборезного инструмента (ЗИ).

2.4. Специальное программное обеспечение для координатных измерений ГП ЗК и ЗИ.

2.5. Обеспечение точности измерений ГП ЗК.

Дополнительная информация:

ЗАО «ЧелябНИИконтроль», г.Челябинск, Свердловский тракт 28а/5.

Многоканальный телефон: +7 (351) 221-49-30

Сайт: www.toolmaker.ru (челябниконтроль.рф)

Youtube-канал **Челябниконтроль**:

https://www.youtube.com/channel/UCzTGaBt-qX5D-zY4tOcTevw/playlists

Адрес для переписки: suiv_toolmaker@mail.ru

Сурков Игорь Васильевич

Представительство Mahr в России: г. Москва, Огородный проезд 20/1.

Рабочий тел.: +7 (495) 479-00-89 | Мобильный: +7 (922) 168 1969

Сайт: www.mahr.com

Лебеденко Олег Станиславович

Адрес для переписки: Oleg.Lebedenko@mahr.com

Youtube-канал **Mahr**:

https://www.youtube.com/c/MahrMetrology/playlists

- 0 +

EXACTLY