



НГТУ

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Лекция 7



ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ



Зубчатые передачи широко применяются в конструкциях современных механизмов, приборов и машин **для передачи движения, обеспечения определенного соотношения между числами оборотов валов, передачи усилия и крутящего момента с одного вала на другой.**

Точность в значительной степени **определяет работоспособность** зубчатых передач, так как **погрешности** их изготовления **вызывают** дополнительные **динамические нагрузки**, **неравномерность вращения**, **вибрации**, **шум** и другие дефекты. **Системы допусков** зубчатых передач **ограничивают эти погрешности**, учитывая условия работы передач и основные эксплуатационные показатели.

По эксплуатационному назначению зубчатые передачи разделяют на следующие основные группы:

- **отсчетные,**
- **скоростные,**
- **силовые,**
- **общего назначения,**

каждая из которых характеризуется определенными показателями точности.

Основное требование, предъявляемое к **отсчетным передачам** измерительных приборов, делительных механизмов металлорежущих станков и делительных машин — это **высокая кинематическая точность**, т.е. **обеспечение точной согласованности углов поворота ведущего и ведомого колес** передачи. Зубчатые колеса таких передач характеризуются малым модулем; они работают при незначительных нагрузках и сравнительно небольших окружных скоростях.

Основное требование к **скоростным передачам** приводов центрифуг, редукторных узлов, коробок скоростей металлорежущих станков, турбокомпрессоров и т.п. — **обеспечение плавности работы, т.е. способность работы без шума и вибраций,** что достигается при минимальных погрешностях формы и взаимного расположения зубьев колес.

Основное требование, которое предъявляется к **силовым передачам** подъемно-транспортных механизмов, работающих при больших нагрузках и невысоких окружных скоростях, заключается в **обеспечении полноты контакта зубьев**, что дает равномерное распределение нагрузки на них.

К передачам **общего назначения не предъявляют повышенных требований точности.**

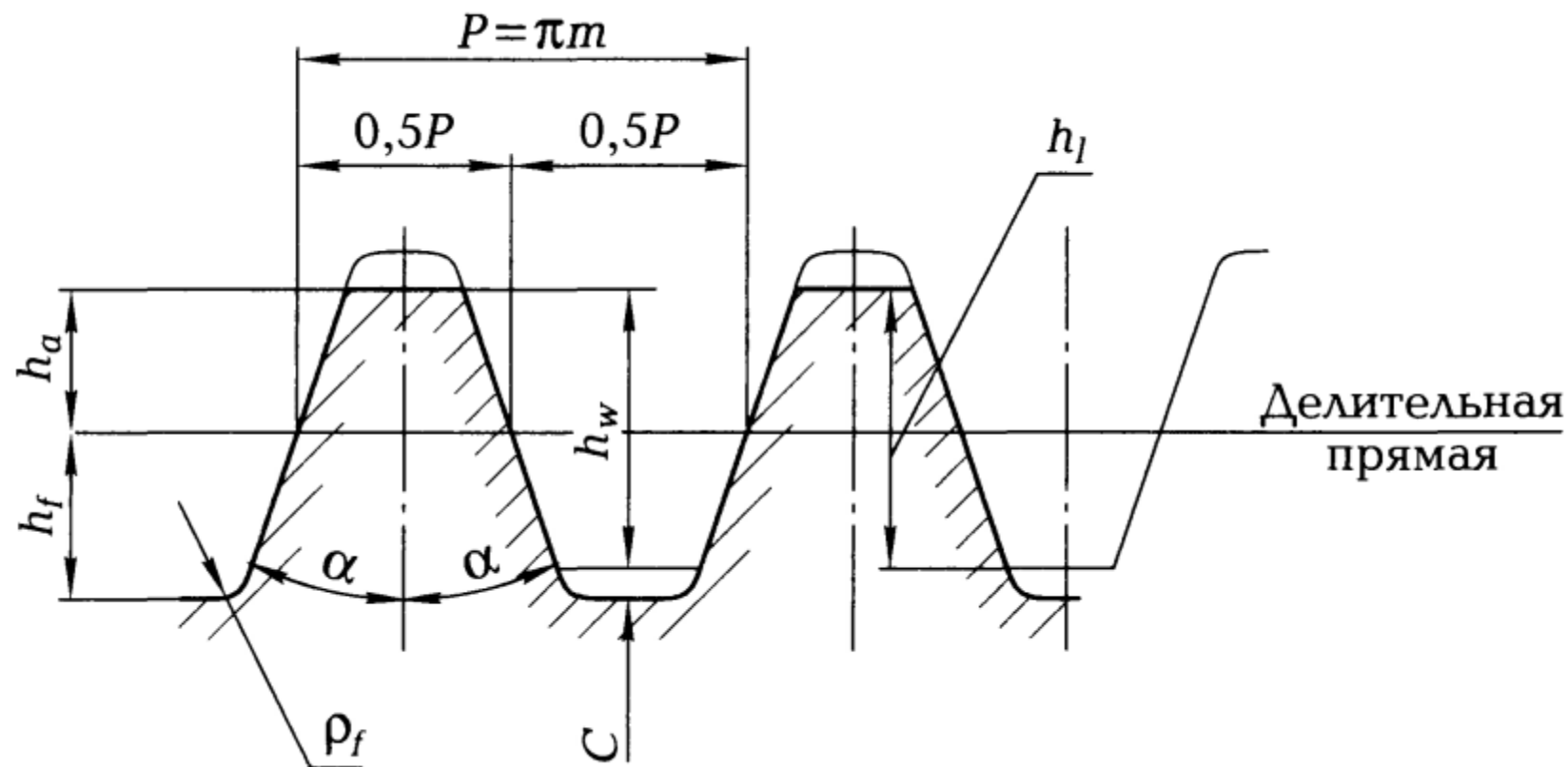
При назначении допусков на зубчатые колеса и точность монтажа для достижения качественной работы передачи преследуются следующие цели:

- **обеспечить кинематическую точность**, т.е. согласованность углов поворота ведущего и ведомого колес передачи;
- **обеспечить плавность работы**, т.е. ограничить циклические погрешности, многократно повторяющиеся за один оборот колеса;
- **обеспечить полноту контакта зубьев**, т.е. такое прилегание зубьев по длине и высоте, при котором нагрузка от одного зуба к другому передается по контактными линиям, максимально использующим всю активную поверхность зуба;
- **обеспечить боковой зазор** для устранения заклинивания зубьев при работе и ограничения мертвых ходов в передаче.

Обеспечение того или иного показателя точности зависит от различных технологических факторов.

Кинематическая точность обеспечивается за счет малого радиального биения зубчатого колеса, обработки его на станке с точной кинематической цепью; **цилиндрическая погрешность** зависит от точности червяка делительной передачи станка, а для прямозубых колес – от точности зуборезного инструмента. **Плавность работы** передачи значительно повышается после шевингования колес и притирки. **Контакт зубьев** зависит от торцового биения заготовки. Контакт зубьев улучшается после притирки.

Боковой зазор не зависит от точности зубообработки и определяется в основном величиной межосевого расстояния в передаче и толщиной зубьев колес



ГОСТ 1643 – 81 устанавливает **12 степеней точности** зубчатых колес и передач, которые обозначаются в порядке убывания точности цифрами **1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.**

Самые точные – 1 и 2 пока являются резервными. Для них нормы точности не установлены.

12 степень точности уже применяется редко, т.к. эту точность можно обеспечить в заготовке.

Колеса 3—5-й степеней точности предназначены в основном для измерительных колес, используемых для проверки контролируемых зубчатых колес.

Самыми распространенными колесами являются колеса 6 – 9-й степени точности:

в металлорежущих станках – 3 – 7-я степени точности,

в автомобилях – 5 – 8-я степени точности,

в авиационных двигателях – 4 – 7-я степени точности,

в различных редукторах – 6 – 8-я степени точности,

тракторах и строительной технике – 7 – 9-я степени точности

Для зубчатых колес и передач по ГОСТ 1643 – 81 установлены нормы:

- кинематической точности,
- плавности работы,
- контакта зубьев.

Этот стандарт распространяется на эвольвентные цилиндрические зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления с диаметром делительной окружности до **6300 мм**, модулем от **1 до 55 мм**, шириной венца до **1250 мм**.

Нормами кинетической точности колес лимитируют несогласованность поворота ведомого колеса при его зацеплении с точно изготовленным ведущим колесом. Эти требования особо важны в различных следящих системах, делительных механизмах и т.д.

Нормы *плавности* определяют равномерность хода зубчатого колеса. Они имеют большое значение в скоростных передачах автомобилей, где предъявляются жесткие требования к бесшумности передачи, отсутствию вибрации и т.д.

Нормы контакта зубьев очень важны в тяжело нагруженных передачах, которые используются в прессах и прокатных станах и т.д. и определяют величину и место расположения пятна контакта сопряженных колес в зубчатой передаче.

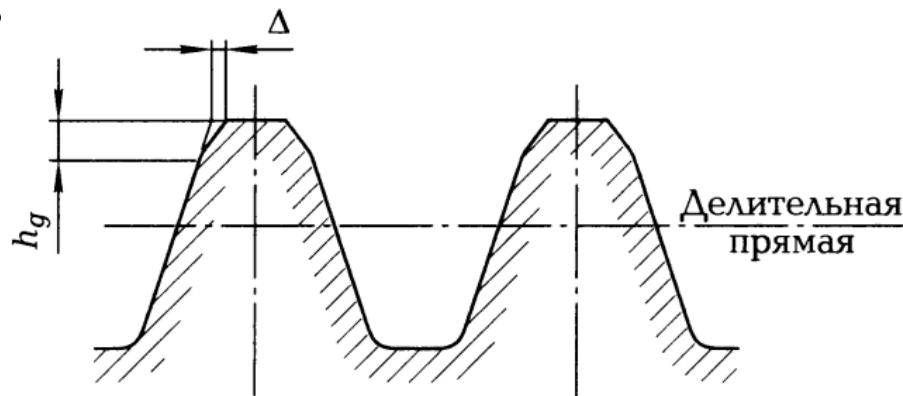
Нормы точности могут назначаться по разным степеням точности, но **нормы плавности** могут выполняться **по такой же степени точности**, что и **норма кинематической точности**, или на одну-две степени точнее; **норма контакта** должна назначаться по степени точности **более точной**, **чем норма плавности** (в крайнем случае должна быть равна ей)

К параметрам **кинематических норм точности** относятся:

- кинематическая погрешность передачи;
- кинематическая погрешность зубчатого колеса;
- накопленная погрешность шага зубчатого колеса;
- радиальное биение зубчатого венца;
- колебание длины общей нормали;
- колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот зубчатого колеса;
- колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе.

К параметрам **норм плавности** относятся:

- циклическая погрешность колеса и передачи;
- местные кинематические погрешности зубчатого колеса и передачи;
- отклонение шага зацепления;
- погрешность профиля зуба.



Для тяжело нагруженных передач, работающих с невысокими скоростями, в целях повышения долговечности колес и их износостойкости нормируют **контакт зубьев** в передаче. При этом нормируются площадь и расположение области прилегания боковых поверхностей зубьев сопряженных колес. Неполное или неравномерное прилегание поверхностей зубчатых колес приводит к их интенсивному износу

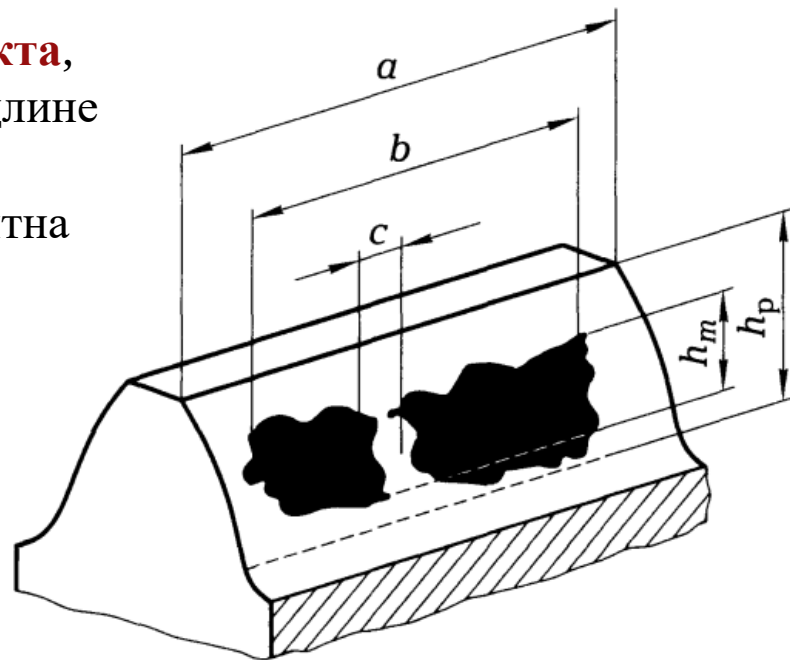
Полнота контакта нормируется комплексным показателем - площадью суммарного **пятна контакта**, которое задается в процентном отношении как по длине зуба, так и по высоте:

по длине зуба — отношением суммарной длины пятна к общей длине зуба, %:

$$\frac{a - c}{b} 100$$

по высоте зуба — отношением высоты следов прилегания к общей высоте зуба, %:

$$\frac{h_m}{h_p} 100$$



На полноту контакта зубьев также влияет взаимное **расположение зубьев** в передаче, т.е.:

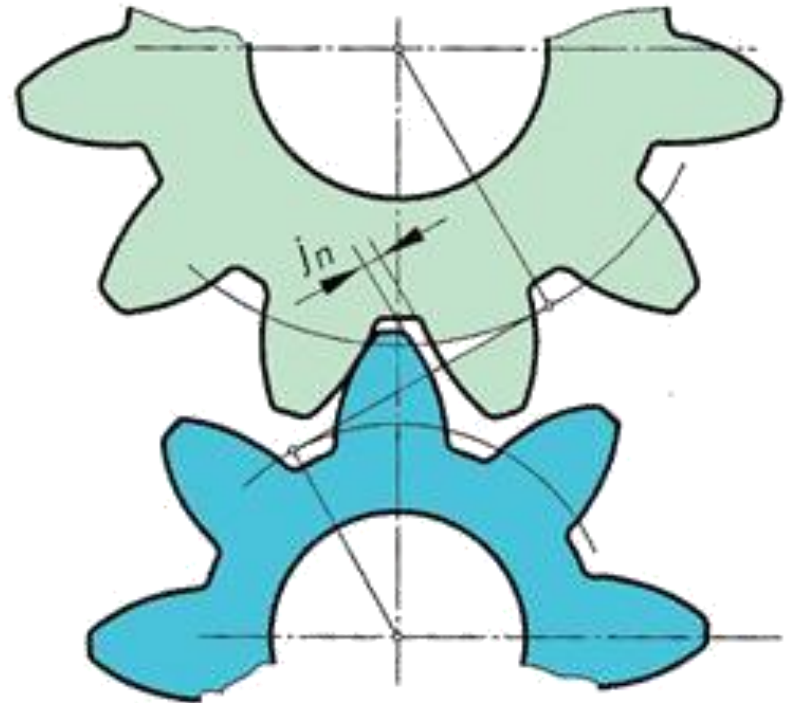
- отклонение их осевых шагов от нормали;
- суммарная погрешность контактной линии;
- погрешность направления зубьев;
- отклонение от параллельности осей зубчатых колес в передаче и их перекос.

Для каждой степени точности установлены **независимые нормы допустимых отклонений** параметров, **определяющих кинематическую точность, плавность работы и контакт зубьев передачи.**

Для устранения возможного заклинивания при нагреве передачи, обеспечения условий протекания смазки и ограничения мертвого хода при реверсировании передачи должны иметь боковой зазор j_n .

Этот зазор необходим также для компенсации погрешностей изготовления и монтажа.

Боковой зазор определяют в сечении перпендикулярном к направлению зубьев, в плоскости, касательной к основным цилиндрам.

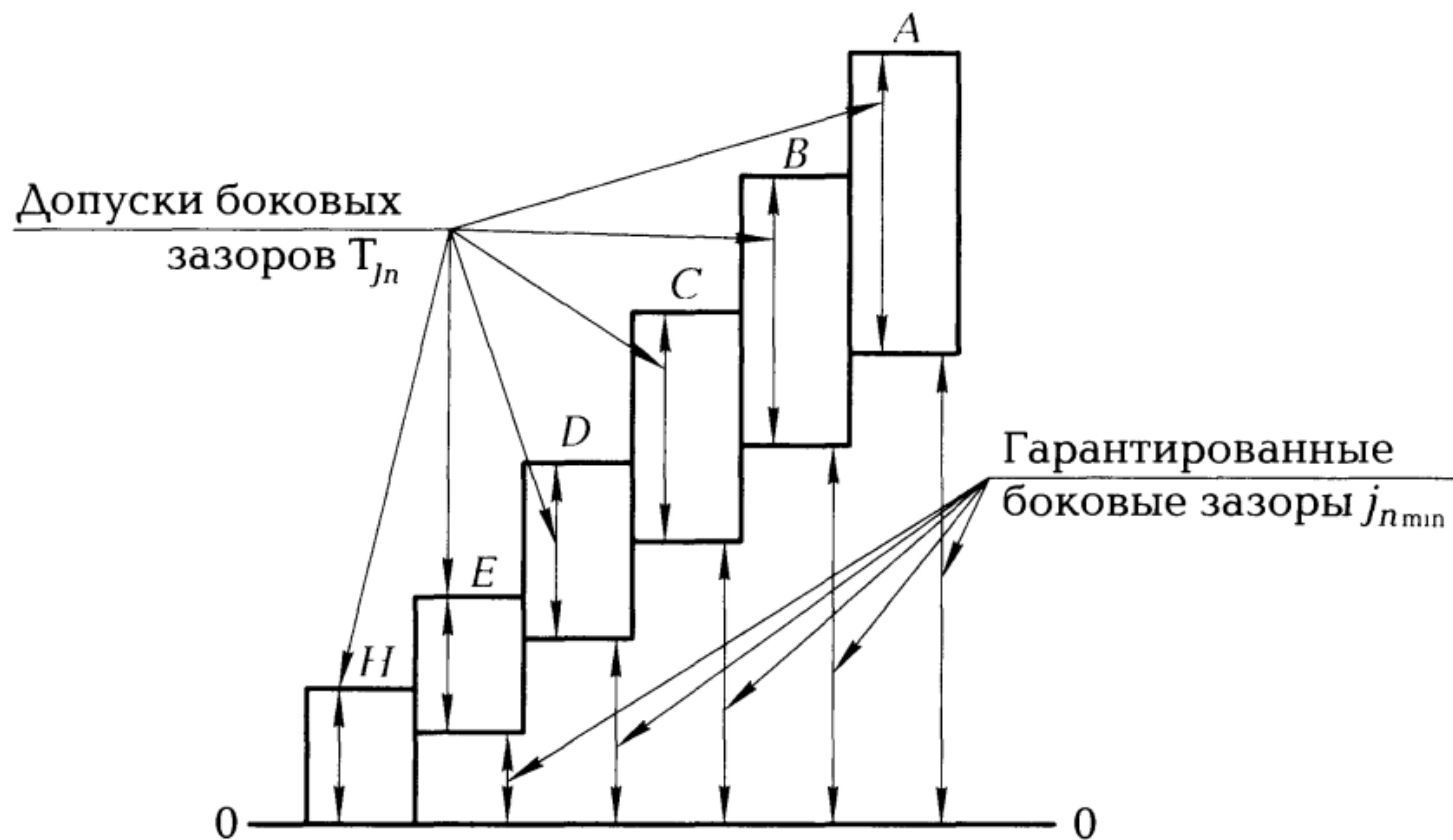


Системой допусков на зубчатые передачи устанавливают гарантированный боковой зазор j_{nmin} , который называют **наименьшим предписанным боковым зазором**.

Его значение определяют вне зависимости от степени точности колес и передач.

Таким образом, независимо от степени точности изготовления колес передачи стандартом предусмотрено шесть видов сопряжений (**A, B, C, D, E, H**), определяющих различные значения $j_{n \min}$.

На боковой зазор установлен допуск T_{jn} , определяемый разностью между наибольшим и наименьшим зазорами.



Установлено восемь видов допусков на боковой зазор:

x, y, z, a, b, c, d, h.

Виду сопряжения **A** соответствует вид допуска на боковой зазор – **a**, сопряжению **B** – вид допуска **b**, сопряжению **C** – вид допуска **c**, сопряжению **D** – вид допуска **d**, сопряжениям **E** и **H** – вид допуска **h**.

Виды допусков **x, y, z** являются дополнительными.

Стандартом установлено **шесть классов отклонений межосевого расстояния**, обозначаемых в порядке убывания точности римскими цифрами от I до VI:

I, II, III, IV, V, VI.

Первый класс (самый точный) пока не применяют.

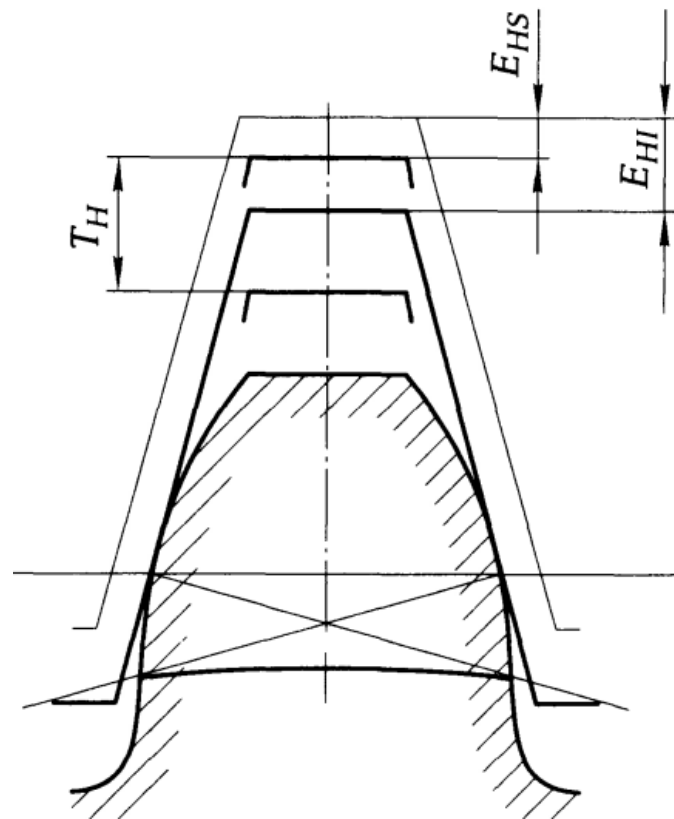
Соответствие классов отклонений межосевого расстояния видам сопряжений:

II – H, E; III – D; IV – C; V – B; VI – A.

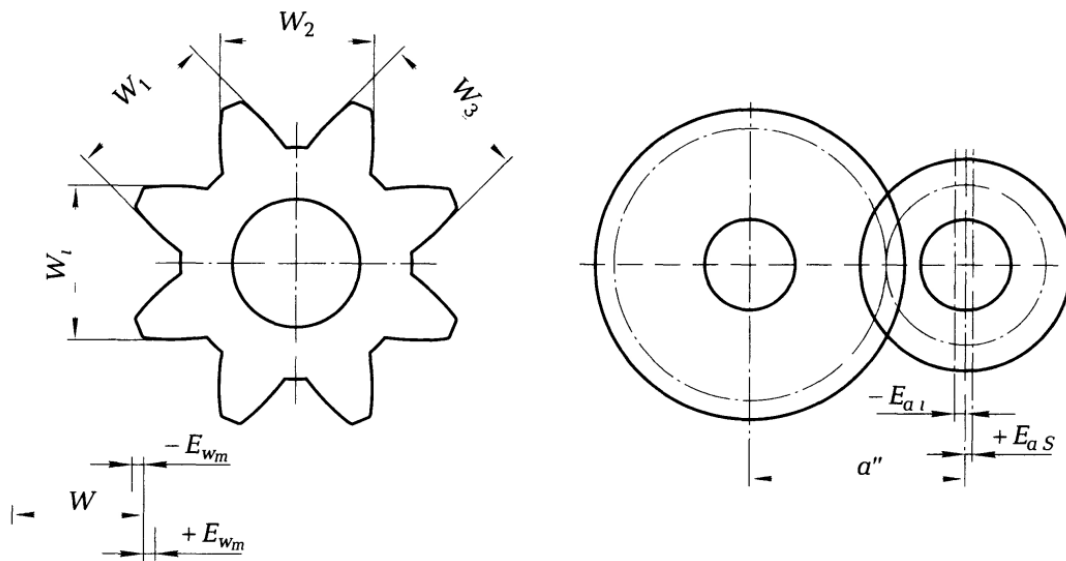
Однако это соответствие допускается изменять.

Зазор в сопряжении	Вид сопряжения	Степени точности	Вид допуска на боковой зазор	Классы отклонений на межосевое расстояние
Нулевой	H	3 – 7	h	I
				II
Весьма малый	E	3 – 7	h	II
Малый	D	3 – 8	d	III
Уменьшенный	C	3 - 9	c	IV
Нормальный	B	3 – 11	b	V
Увеличенный	A	3 - 12	a	VI
			z, y, x	

Гарантированный боковой зазор в передаче обеспечивается при изготовлении зубчатых колес путем *дополнительного смещения* профиля зуборезного инструмента к центру нарезаемого колеса на величину E_{HS} (относительно *номинального положения исходного контура*)



На величину ***EHS*** установлен допуск ***Tn***, величина которого зависит от допуска на радиальное биение. Кроме того, установлены допуски на длину общей нормали ***Tw_m***, а также предельные отклонения измерительного межосевого расстояния: $+E_{a''s}$ — верхнее и $E_{a''t}$ — нижнее



Выбор степени точности зубчатых колес

Степени точности устанавливают в зависимости от требований к кинематической точности, плавности, передаваемой мощности, а также от окружной скорости колес. **Степени точности нужно определять соответствующими расчетами.**

Кинематический расчет погрешностей и определение допустимого угла рассогласования дает степень точности по нормам кинематической точности.

Из расчета динамики передачи, вибраций и шумовых явлений выбирают степень точности по нормам плавности.

Расчет на прочность и долговечность дает возможность определить степень точности по нормам контакта.

Обозначение точности колес и передач

При обозначении точности зубчатых колес и передач указывают **степени точности по трем основным погрешностям** зубчатых колес (кинематической, плавности, боковому контакту), **вид сопряжения** зубьев колес в передаче и **вид допуска на боковой зазор**.

Вид допуска на боковой зазор в обозначении не указывается, если соблюдено соответствие с видом сопряжения.

Если все погрешности назначены по одной степени точности, то обозначение производится одной цифрой и буквой. Например:

7-С ГОСТ 1643 – 81,

где 7 – степень точности по всем нормам точности (кинематической, плавности работы и контакта зубьев);

С – вид сопряжения; с – допуск на боковой зазор.

При комбинировании норм из разных степеней точности обозначение примет следующий вид:

8-7-6 Вa ГОСТ 1643 – 81,

где **8** – степень точности по нормам кинематической точности;

7 – степень точности по нормам плавности;

6 – степень точности по нормам контакта зубьев;

В – вид сопряжения;

a – вид допуска на боковой зазор.

При изменении соответствия между видом сопряжения и классом отклонения межосевого расстояния в обозначении после вида сопряжения и вида допуска через косую черту указывается класс отклонения межосевого расстояния и через тире – рассчитанный гарантированный боковой зазор ($j_{n \min}$), в микрометрах. Например:

7 – С а / V – 128 ГОСТ 1643 – 81.

В тех случаях, когда на одну из норм цилиндрических зубчатых передач **не задается степень точности**, вместо соответствующей цифры указывается буква **N**.

Например,

N – 8 – 8 – D ГОСТ 1643 - 81

Контроль элементов зубчатых колес

Контроль колес по всем показателям не является необходимым. Устанавливаются взаимно равноправные комплексы нормируемых показателей, подлежащих контролю. Один из комплексов приведен в таблице.

Наименование норм точности	Наименование показателя	Обозначение	
		показателя	допуска показателя
Кинематическая	1. Радиальное биение зубчатого венца 2. Колебание длины общей нормали	F_{rr} V_{wr}	F_r V_w
Плавность работы	1. Отклонение шага зацепления 2. Погрешность профиля зуба	$fpbr$ f_{fr}	fpb ff
Контакт зубьев колес в передаче	Суммарное пятно контакта	—	—

