

УО «ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра технической механики и материаловедения

**Дисциплина
«Прикладная механика»**

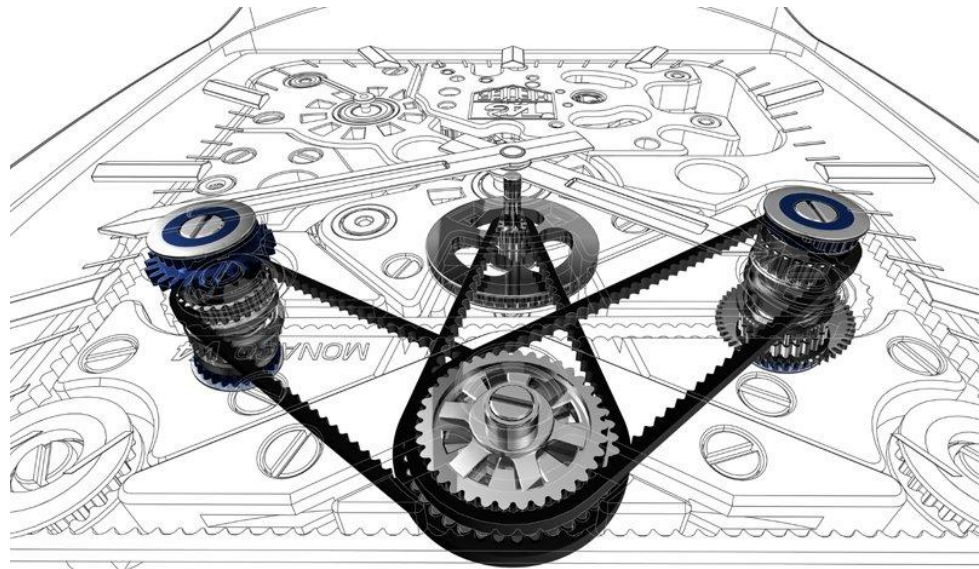
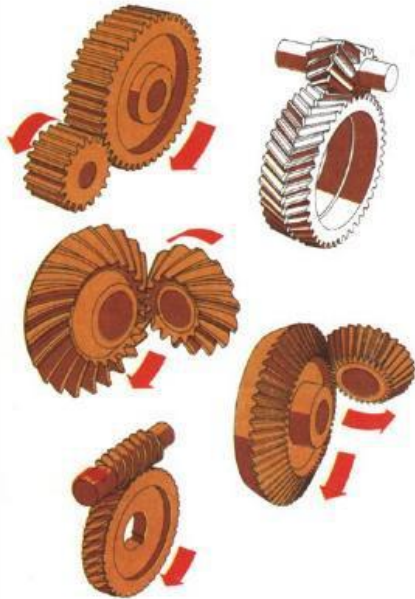
Раздел «ДЕТАЛИ МАШИН»

**Лекция 3
«МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ»**

Лекция 3 «МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ»

Рассматриваемые вопросы:

1. Фрикционные передачи.
2. Ременные передачи.
3. Цепные передачи.
4. Зубчатые передачи.
5. Червячные передачи.



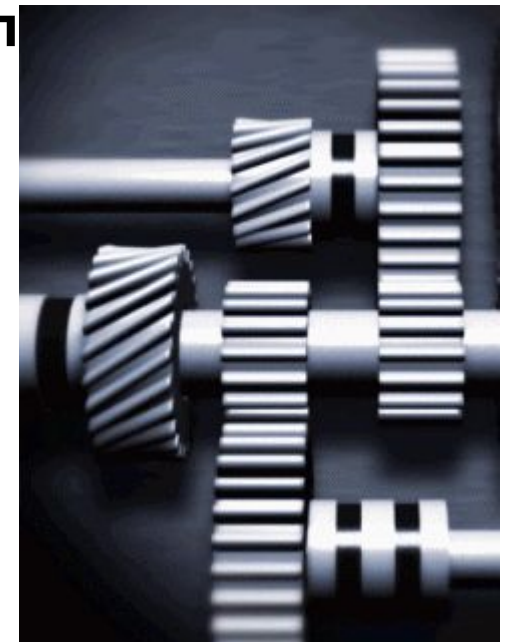
4 Зубчатые передачи

- **Зубчатое колесо** представляет собой деталь сложной геометрической формы в виде диска с зубьями на цилиндрической или конической поверхности, входящими в зацепление с зубьями другого зубчатого колеса.



4 Зубчатые передачи

- **Зубчатые передачи** – наиболее распространенный тип передач в современном машиностроении и приборостроении; их применяют в широких диапазонах скоростей (до 100 м/с), мощностей (до десятков тысяч киловатт).
- **Зубчатая передача** – механизм, в котором два подвижных звена являются зубчатыми колесами, образующими с неподвижным звеном вращательную или пара назначение.
 – передача вращательного движения между валами, которые могут иметь параллельные, пересекающиеся и скрещивающиеся оси;
 – преобразование вращательного движения в поступательное и наоборот.
 При этом *усилие от одного элемента к другому передаётся с помощью зубьев.*



4 Зубчатые передачи

- Зубчатая передача состоит из двух колес, имеющих чередующиеся зубья и впадины:
 - меньшее из них называют *шестерней*, а большее – *колесом*.
- Термин «зубчатое колесо» относят к обоим колесам передачи (параметры шестерни будем обозначать индексом 1, а колеса – 2).



- Для пары зубчатых колёс имеющих одинаковое число зубьев – ведущее зубчатое колесо называется *шестерней*, а ведомое – *колесом*.
- Жесткая связь обоих колес исключает какое-либо

4 Зубчатые передачи

- **Основные достоинства зубчатых передач** по сравнению с другими передачами:
 - технологичность, постоянство передаточного числа;
 - высокая нагрузочная способность;
 - высокий КПД (до 0,97-0,99 для одной пары колес);
 - малые габаритные размеры по сравнению с другими видами передач при равных условиях;
 - большая надежность в работе, простота обслуживания;
 - сравнительно малые нагрузки на валы и опоры.



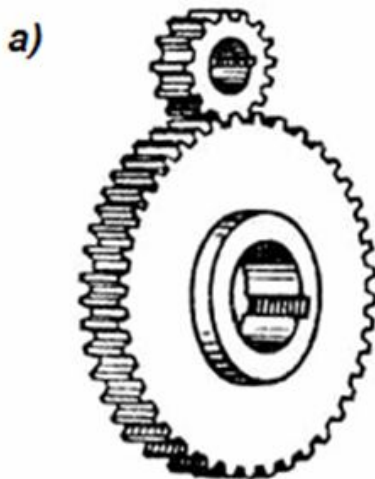
4 Зубчатые передачи

- К недостаткам зубчатых передач следует отнести:
 - невозможность бесступенчатого изменения передаточного числа;
 - высокие требования к точности изготовления и монтажа;
 - шум при больших скоростях;
 - плохие амортизирующие свойства;
 - громоздкость при больших расстояниях между осями ведущего и ведомого валов;
 - потребность в специальном оборудовании и инструменте для нарезания зубьев;
 - зубчатая передача не предохраняет машину от возможных опасных перегрузок.



4 Зубчатые передачи

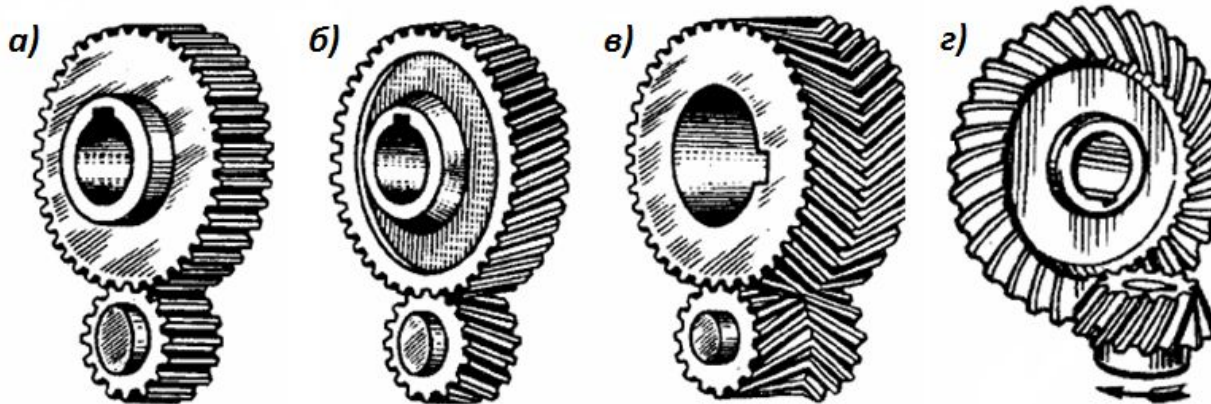
- **В зависимости от взаимного расположения геометрических осей валов** зубчатые передачи бывают:
 - а) с параллельными валами** (цилиндрические передачи с прямыми, косыми и шевронными зубьями);
 - б) с валами, оси которых пересекаются** (конические передачи);
 - в) с валами, оси которых перекрещиваются** (винтовые с цилиндрическими колесами и винтовые с коническими



4 Зубчатые передачи

- В зависимости от расположения зубьев на ободу колес различают передачи:

- *прямозубые (а),*
- *косозубые (б),*
- *шевронные (в),*
- *с круговыми зубьями (г).*

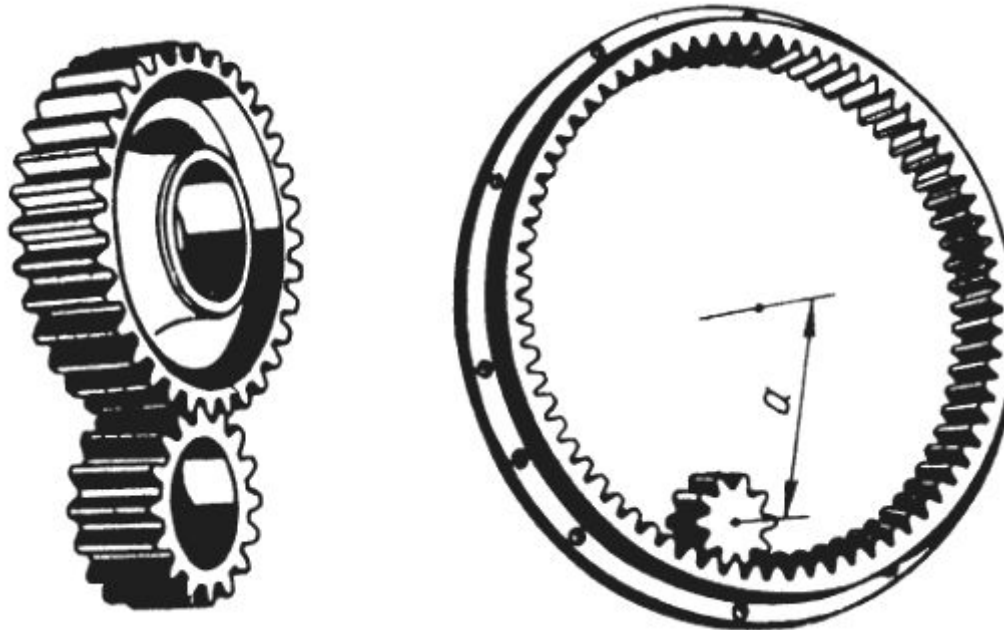


- По степени защищенности:

- *открытые;*
- *закрытые.*

4 Зубчатые передачи

- **В зависимости от взаимного расположения колес зубчатые передачи бывают:**
 - **внутреннего зацепления** (вращение колёс в одном направлении);
 - **внешнего зацепления** (вращение колёс в противоположном направлении).



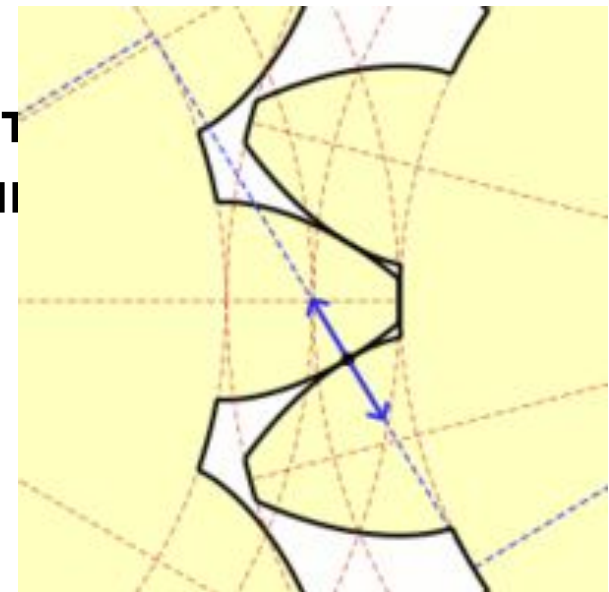
4 Зубчатые передачи

- Из перечисленных выше зубчатых передач наибольшее распространение получили *цилиндрические прямозубые и косозубые передачи*, как наиболее простые в изготовлении и эксплуатации.
- Преимущественное распространение получили передачи с зубьями эвольвентного профиля, которые изготавливаются массовым методом обкатки на зубофрезерных или зубодопбежных станках.

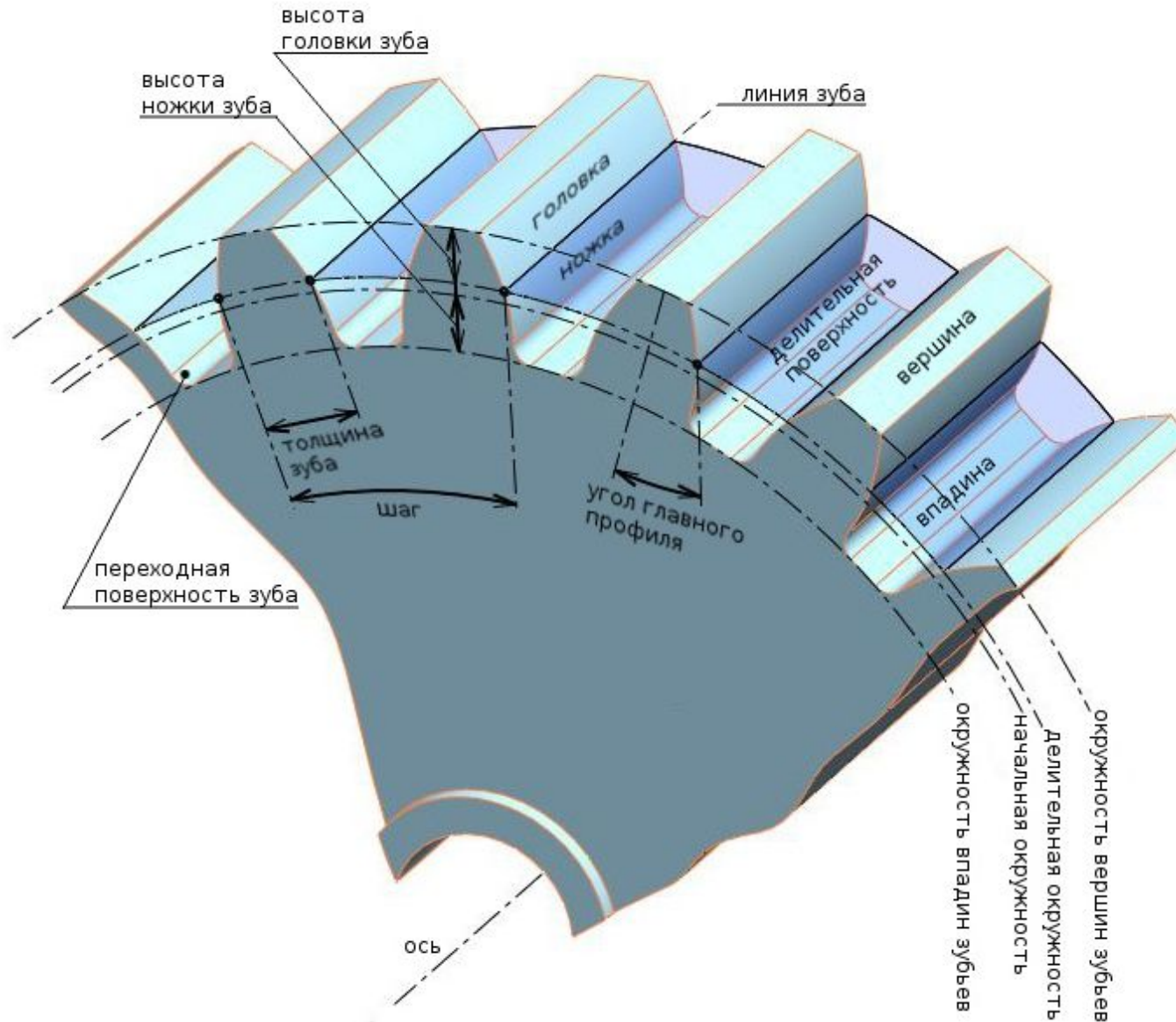


4 Зубчатые передачи

- **Эвольвентному зацеплению присущи технологические и эксплуатационные достоинства:**
 - эвольвентные зубья могут быть нарезаны простым инструментом, причем одним инструментом можно нарезать колеса с разным числом зубьев;
 - правильность эвольвентного зацепления не нарушается при изменении межосевого расстояния;
 - рабочий профиль зубьев в зацеплении может быть приведен к стандартному, что обеспечивает работоспособность, повышению

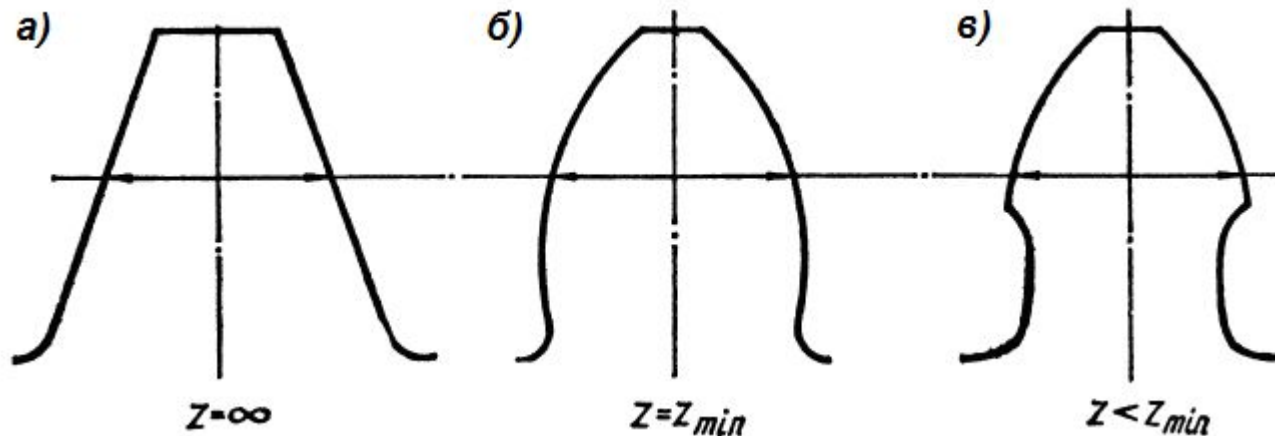


4 Зубчатые передачи



4 Зубчатые передачи

- При выборе числа зубьев следует иметь в виду, что с уменьшением их числа уменьшается толщина зуба у основания и у вершины (а, б), что приводит к понижению его прочно



- Поэтому не рекомендуют выбирать число зубьев меньше, чем z_{min} . При числе зубьев $z < z_{min}$ происходит подрезание ножки зуба (в), что приводит к резкому снижению прочности.
- При нарезании зубьев инструментом реечного типа $z_{min} = 17$.
- В редукторах рекомендуют принимать для первой ступени $z_1 = 22...36$, для второй и третьей ступеней $z_1 = 18...26$.

4 Зубчатые передачи

- **Передаточным отношением** называют отношение угловых скоростей или частот вращения звеньев l и k механизма:

$$i_{lk} = \omega_l / \omega_k = n_l / n_k$$

- **Передаточное отношение** понижающей передачи равно ее передаточному числу:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = u$$

где ω_1, ω_2 – угловые скорости, рад/с;

n_1, n_2 – частота вращения соответственно шестерни и колеса, мин⁻¹.

- **Передаточное число** понижающей передачи

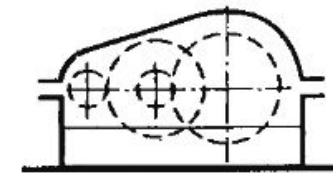
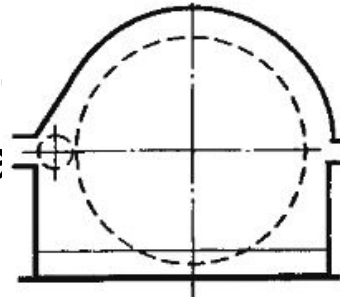
$$u = \frac{z_2}{z_1}$$

- Передаточные числа одноступенчатой зубчатой передачи в закрытом корпусе могут достигать для цилиндрической пары 10, многоступенчатой – нескольких сот.

4 Зубчатые передачи

- По массе и габаритам передачи невыгодно выполнять большие передаточные отношения в одной ступени.

- На рисунке изображены габариты одноступенчатого редуктора с передаточным отношением $i = 10$.



Габаритные
отношения

- Практикой выработаны следующие рекомендации:

- одноступенчатые цилиндрические i до 8;
- одноступенчатые конические i до 4 (в коническо-цилиндрических редукторах i конической $< i$ цилиндрической);
- цилиндрические двухступенчатые i до 45 (максимум до 60);
- трехступенчатые i до 200 (максимум до 300);
- многоступенчатые $i = u_1 \cdot u_2 \cdot \dots \cdot u_n$

4 Зубчатые передачи

- Существуют следующие *способы изготовления зубчатых колес (обработки зубьев)*:
 - *нарезание зубьев* (т. е. зубья получаются в процессе механической обработки заготовки);
 - *накатка зубьев на заготовке* (также без последующей их обработки);
 - *литье* (без последующей механической обработки зубьев), для современных машин этот способ применяют редко;
 - *методом порошковой металлургии*.
- Способ изготовления зубчатых колес выбирают в зависимости от назначения и технологии изготовления.



4 Зубчатые передачи

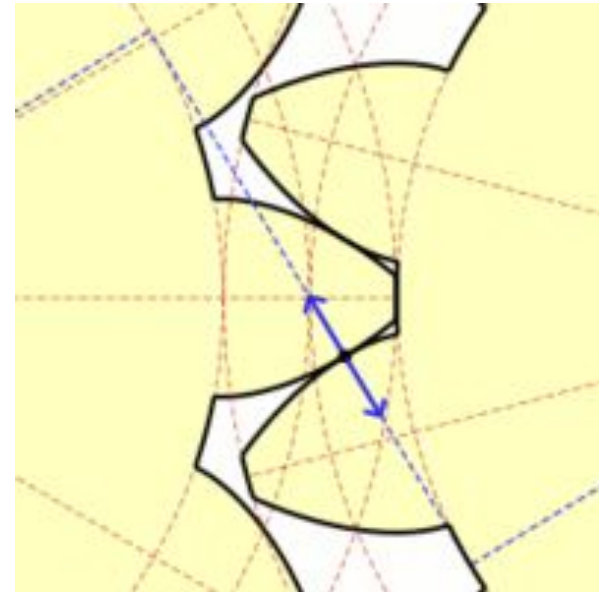
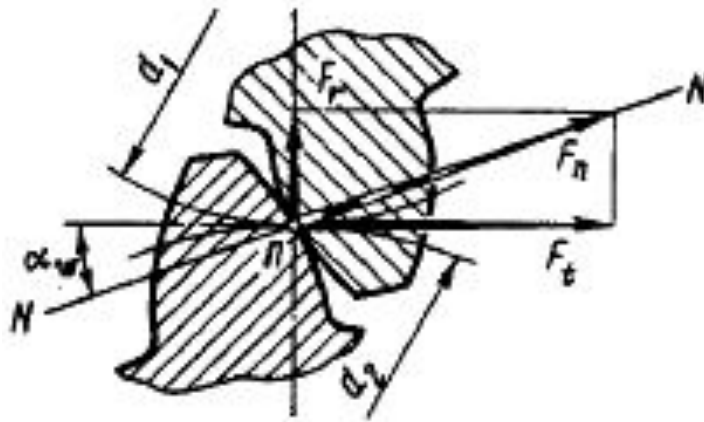
- Зубчатые колеса, у которых диаметр впадин незначительно превышает диаметр вала в месте посадки зубчатого колеса, изготавливают за одно целое с валом.
- Такую конструкцию называют *валом-шестерней*.



- В остальных случаях зубчатое колесо выполняется отдельно, после чего насаживается на вал.

4 Зубчатые передачи

- Силы взаимодействия зубьев принято определять в полюсе зацепления Π .
- Распределенную по контактной площадке нагрузку в зацеплении заменяют равнодействующей F_n , направленной по линии зацепления NN .



- Силами трения в зацеплении пренебрегают, так как они малы.

4 Зубчатые передачи

□ Коэффициент полезного действия

■ Коэффициент полезного действия представляет безразмерную величину η , характеризующую степень совершенства технического устройства в отношении осуществления в нем процессов передачи энергии

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

где P_2 и P_1 – мощности, передаваемые соответственно ведущим и ведомым валами.

■ *Коэффициент полезного действия механического привода, состоящего из нескольких последовательно соединенных передач:*

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$$

■ *При параллельном соединении механизмов коэффициент полезного действия машины:*

$$\eta = \frac{P_1 \eta_1 + P_2 \eta_2 + \dots + P_n \eta_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n}$$

4 Зубчатые передачи

- Ошибки в изготовлении зубчатых колес и сопряженных с ними деталей и деформация этих деталей под нагрузкой сказываются на точности зацепления.
- Точность изготовления зубчатых передач регламентирована для цилиндрических передач ГОСТ 1643-81, конических – ГОСТ 1758-81.
- Стандартом установлено 12 степеней точности:
 - *для степеней 1 и 2* числовые значения допусков и отклонений пока не предусмотрены, эти степени точности оставлены для будущего развития;
 - *степени 3-5* – для изготовления приборов и высокоточных механизмов;
 - *степени 6-8* – передачи общего назначения;
 - *степени 9-12* – грубые передачи.



4 Зубчатые передачи

Обозначение точности зубчатых колес и передач

- **Точность изготовления зубчатых колес и передач задается:**
 - *степенью по нормам кинематической точности,*
 - *степенью по нормам плавности работы,*
 - *степенью по нормам контакта зубьев в передаче,*
- а **требования к боковому зазору** –
 - *видом сопряжения и видом допуска бокового зазора.*
- При комбинировании норм различных степеней точности и при различных обозначениях вида сопряжения и вида допуска бокового зазора в условном обозначении передачи (или колеса) последовательно записываются три цифры и две буквы, например:

7 – 7 – 8 – A b

4 Зубчатые передачи

Общая структура обозначения точности зубчатых колес и передач

X	–	X	–	X	–	Yy
1	–	2	–	3	–	4 5

1 (первая цифра) – степень по нормам кинематической точности;

2 (вторая цифра) – степень по нормам плавности работы;

3 (третья цифра) – степень по нормам контакта зубьев;

4 (первая буква) – вид соприкосновения;

5 (вторая буква) – вид

изора.



4 Зубчатые передачи

■ Пример:

Для цилиндрической зубчатой передачи

8-й степени по нормам кинематической точности,

7-й степени по нормам плавности,

6-й степени по нормам контакта зубьев,

с видом сопряжения *B*,

видом допуска бокового зазора *a* и $m \geq 1$ мм:

8 – 7 – 6 – *Ba* ГОСТ 1643-81.

То же для конических передач:

8 – 7 – 6 – *Ba* ГОСТ 1758-81.

4 Зубчатые передачи

■ Пример:

Условные обозначения для *зубчатых* передач

7-й степени точности,

с видом сопряжения *B*,

с видом допуска бокового зазора *b*

*7 – В ГОСТ ******,

ГОСТ 1643-81 – для зубчатых цилиндрических передач,

ГОСТ 1758-81 – для зубчатых конических передач,

ГОСТ 3675-81 – для червячных передач соответственно.

Здесь вид допуска бокового зазора не указан, так как *вид допуска и вид сопряжения обозначаются одинаковыми буквами*.

5 Червячные передачи

- Червячная передача – это зубчато-винтовая передача, движение в которой осуществляется по принципу винтовой пары.



- Для облегания тела червяка венец червячного колеса имеет зубья дугообразной формы, что увеличивает длину контактных линий в зоне зацепления.

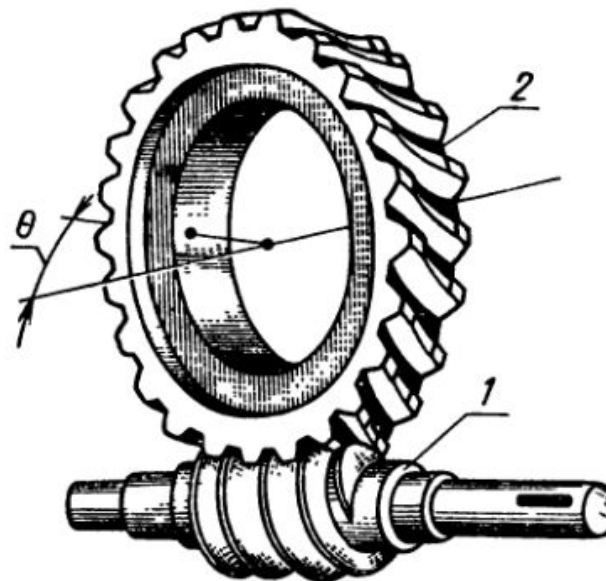
5 Червячные передачи

- Червячные передачи применяют для передачи вращательного движения между валами, у которых угол скрещивания осей обычно θ

Червячная передача:

1 – червяк;

2 – венец червячного колеса

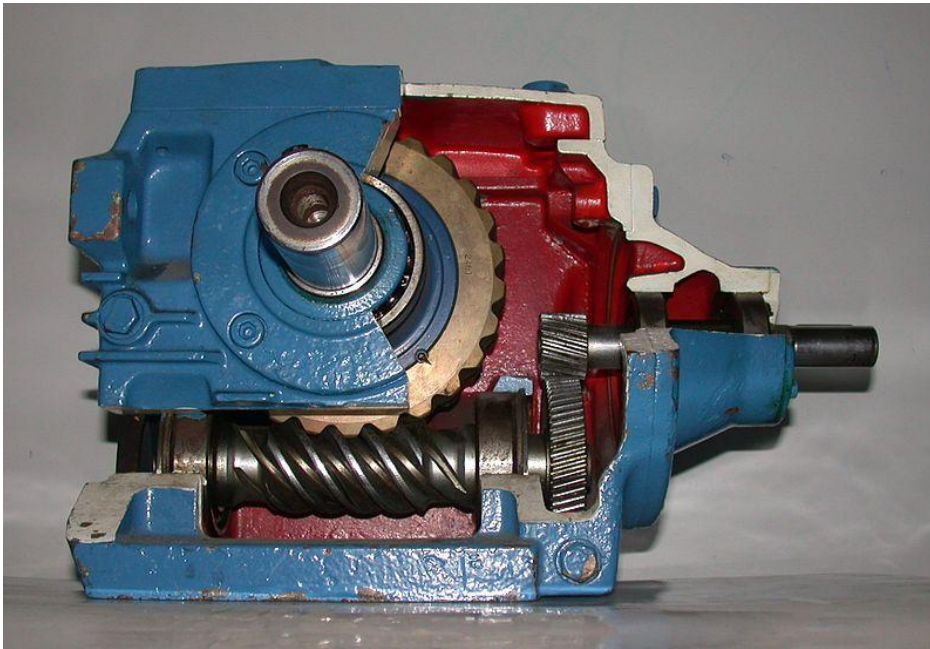


- В большинстве случаев ведущим является червяк, т. е. короткий винт с трапецеидальной или близкой к ней резьбой.
- Также передача предназначена для существенного увеличения крутящего момента и, соответственно, уменьшения угловой скорости.

5 Червячные передачи

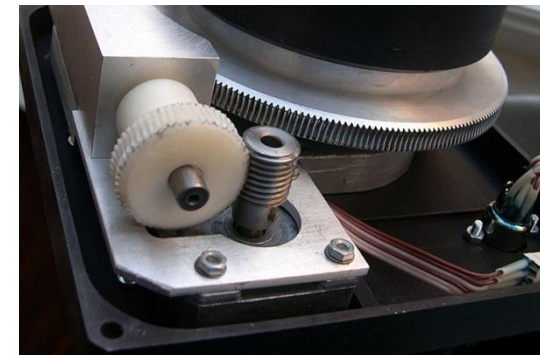
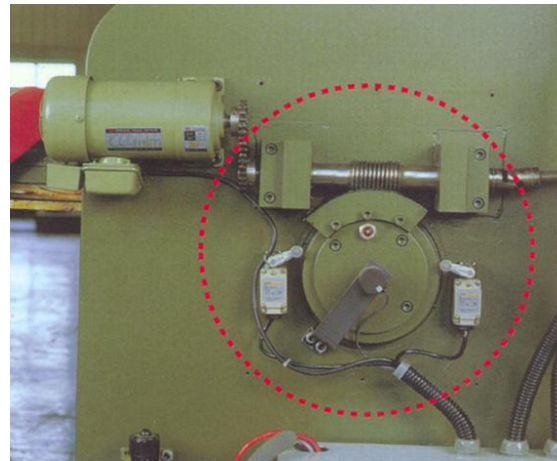
- Червячные передачи применяют при небольших и средних мощностях, обычно не превышающих 100 кВт.

Применение передач при больших мощностях неэкономично из-за сравнительно низкого КПД и требует специальных мер для охлаждения передачи во избежание сильного нагрева.



5 Червячные передачи

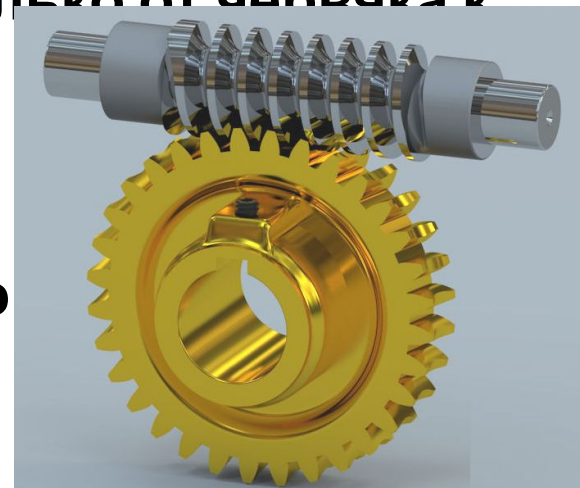
- Червячные передачи широко применяют в подъемно-транспортных машинах и особенно там, где требуется высокая кинематическая точность (делительные механизмы наводки и т. д.).



- Червячные передачи во избежание их перегрева предпочтительно использовать в приводах периодического (а не непрерывного) действия.

5 Червячные передачи

- **Достоинства червячных передач:**
 1. Плавность и бесшумность работы.
 2. Компактность и сравнительно небольшая масса конструкции.
 3. Возможность большого редуцирования, т. е. получения больших передаточных чисел (в отдельных случаях в несиловых передачах до 1000).
 4. Возможность получения самотормозящей передачи, т. е. допускающей передачу движения только от червяка к колесу.
- Самоторможение червячной передачи позволяет выполнить механизм без тормозного устройства, препятствующего обратному вращению колеса.
5. Высокая кинематическая точность.



5 Червячные передачи

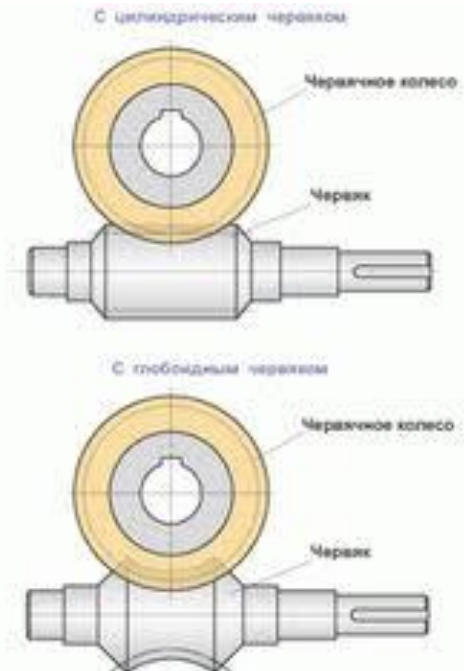
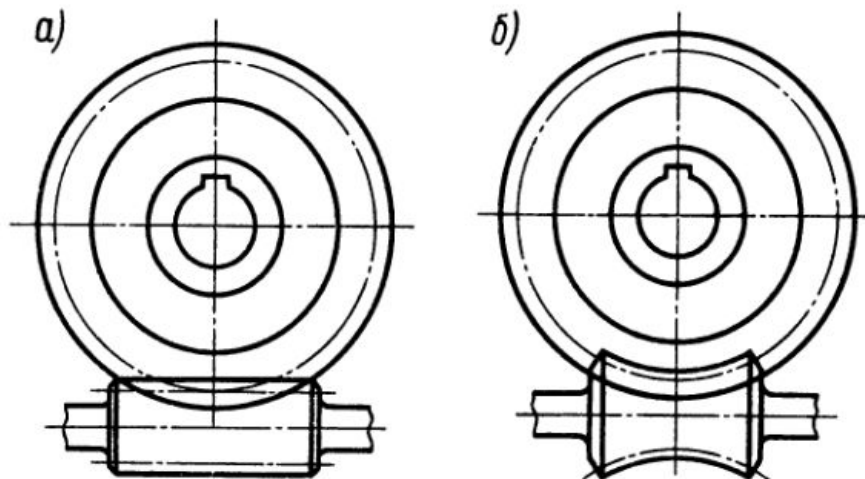
- **Недостатки червячных передач:**
 - 1. Сравнительно низкий КПД вследствие скольжения витков червяка по зубьям колеса.**
 - 2. Значительное выделение теплоты в зоне зацепления червяка с колесом.**
 - 3. Необходимость применения для венцов червячных колес дефицитных антифрикционных материалов.**
 - 4. Повышенное изнашивание и склонность к заеданию.**



5 Червячные передачи

В зависимости от формы внешней поверхности червяка передачи бывают:

- с цилиндрическим червяком (а);
- с глобоидным червяком (б).

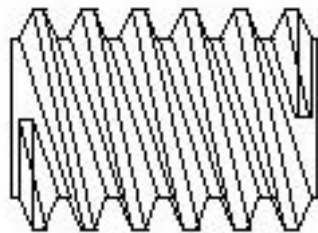


Глобоидная передача имеет повышенный КПД, более высокую несущую способность, но сложна в изготовлении и очень чувствительна к осевому смещению червяка, вызванному изнашиванием подшипников.

5 Червячные передачи

- **В зависимости от направления линии витка червяка червячные передачи бывают:**
 - с правым направлением линии витка (а);
 - с левым направлением линии витка (б).

а)



б)



- **В зависимости от числа витков (заходов резьбы) червяка передачи бывают:**
 - с одновитковым червяком;
 - с многовитковым червяком.

5 Червячные передачи

■ В зависимости от расположения червяка относительно колеса передачи бывают:

- с нижним червяком (а);
- с боковым червяком (б);
- с верхним червяком (в).

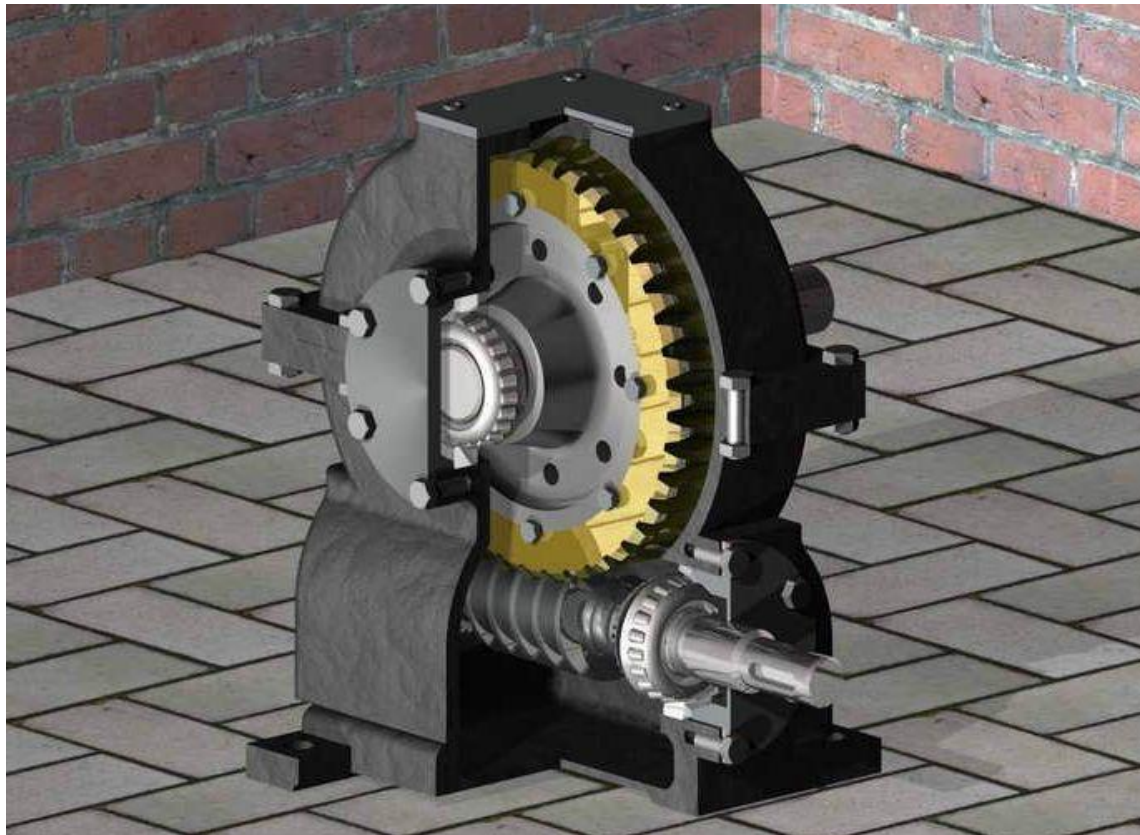


■ Чаще всего расположение диктуется условиями

■ Нижний червяк обычно применяют окружной скорости червяка $v_1 \leq 5$ м/с избежание потерь на перемешивание разбрызгивание масла.

5 Червячные передачи

- Работоспособность червячной передачи зависит от твердости и шероховатости винтовой поверхности резьбы червяка, поэтому после нарезания резьбы и термообработки червяки часто шлифуют, а в отдельных случаях полируют.



5 Червячные передачи

- **Передаточное число u червячной передачи определяют по условию, что за каждый оборот червяка колесо поворачивается на число зубьев, равное числу витков червяка:**

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

где ω_1 и ω_2 – угловые скорости червяка и колеса;

z_1 и z_2 – число витков червяка и число зубьев колеса.

- **На практике в силовых передачах применяют червяки с числом витков $z_1 = 1; 2; 4$.**
- **С увеличением z_1 возрастают технологические трудности изготовления передачи и увеличивается число зубьев червячного колеса z_2 .**

5 Червячные передачи

- Передаточное число u
- Число витков червяка z_1 зависит от передаточного числа u :

u	8...14	свыше 14...30	свыше 30
z_1	4	2	1

- Во избежание подреза основания ножки зуба в процессе нарезания зубьев принимают $z_2 \geq 26$.

Оптимальным является $z_2 = 40...60$.

Диапазон передаточных чисел в этих передачах $u = 10...80$.

- Передаточные числа u червячных передач редукторов выбирают из ряда: 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80.
- Фактические значения u не должны отличаться от стандартных более чем на 4 %.

5 Червячные передачи

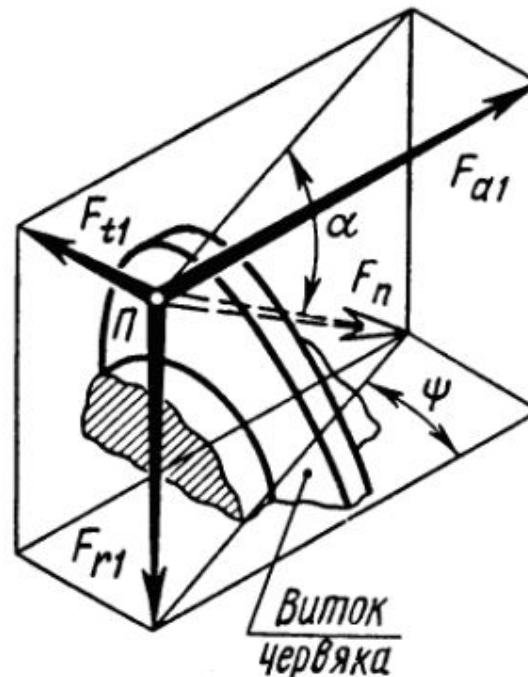
- Роль смазывания в червячной передаче еще важнее, чем в зубчатой, так как в зацеплении происходит скольжение витков червяка вдоль линий зубьев колеса.
- В случае несовершенства смазывания резко возрастают потери, возможно повреждение зубьев.
- Червячная передача является зубчато-винтовой, поэтому в ней имеются потери, свойственные как зубчатой передаче, так и передаче винт – гайка.
- В общем случае КПД червячной передачи

$$\eta = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{з.з}} \cdot \eta_{\text{в.п}} \cdot \eta_{\text{р.м}}$$

где $\eta_{\text{п}}, \eta_{\text{з.з}}, \eta_{\text{в.п}}, \eta_{\text{р.м}}$ – коэффициенты полезного действия, учитывающие потери соответственно в подшипниках, зубчатом зацеплении, винтовой паре, а также на размешивание и разбрызгивание масла.

5 Червячные передачи

- В приработанной червячной передаче, как и в зубчатых передачах, сила червяка воспринимается не одним, а несколькими зубьями колеса.
- Для упрощения расчета силу взаимодействия червяка и колеса F_n принимают сосредоточенной и приложенной в полюсе зацепления Π по нормали к рабочей поверхности витка.



5 Червячные передачи

- ***Червяк и колесо должны образовывать антифрикционную пару, обладать высокой прочностью, износостойкостью и сопротивляемостью заеданию ввиду значительных скоростей скольжения в зацеплении.***



5 Червячные передачи

Общая структура обозначения точности червячных колес и передач

X	–	X	–	X	–	Y y
1	–	2	–	3	–	4 5

1 (первая цифра) – степень по нормам кинематической точности;

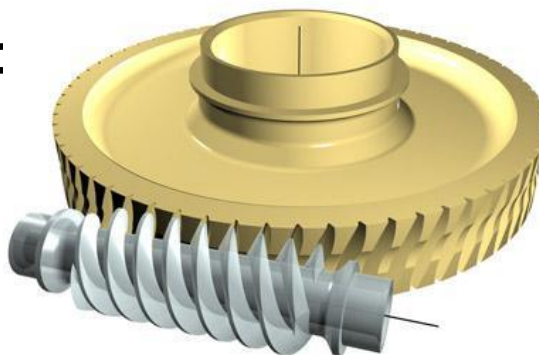
2 (вторая цифра) – степень по нормам плавности работы;

3 (третья цифра) – степень по нормам контакта зубьев;

4 (первая буква) – вид

5 (вторая буква) – вид

зазора.



Рекомендуемая литература:

1. Гузенков П. Г. Детали машин: Учеб. для вузов. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1986.
2. Детали машин в примерах и задачах: Учеб. пособие / С. Н. Ничипорчик, М. И. Корженцевский, В. Ф. Калачев и др. Под общ. ред. С. Н. Ничипорчика. – 2-е изд. – Мн.: Выш. школа, 1981.
3. Иванов М. Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов – 12-е изд., испр. – М.: Высш. школа, 2008.
4. Иосилевич Г. Б. Детали машин: Учебник для студентов машиностроит. спец. вузов. – М.: Машиностроение, 1988.
5. Кузьмин А. В. и др. Расчеты деталей машин: Справ. пособие / А. В. Кузьмин, И. М. Чернин, Б. С. Козинцов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Высш. шк., 1986.
6. Куклин Н. Г., Куклина Г. С. Детали машин: Учеб. для машиностроит. спец. техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987.
7. Ряховский О. А. Детали машин: Учеб. для вузов / О. А. Ряховский, А. В. Клыпин. – М.: Дрофа, 2002.