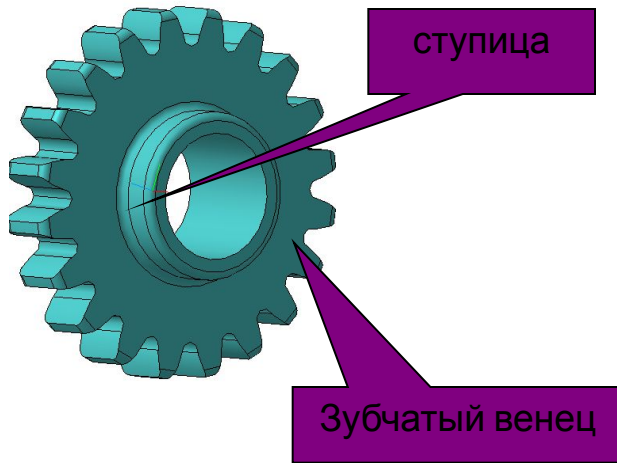


# Зубчатые передачи

Зубчатые передачи обеспечивают передачу момента вращения с помощью последовательно зацепляющихся зубьев.

Тела вращения, на которых расположены зубья, называются зубчатыми колесами.

Меньшее колесо зубчатой пары называется **шестерней**      Больше зубчатое колесо называется - **колесом**



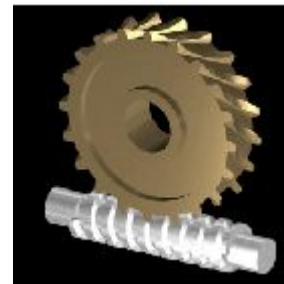
## Классификация зубчатых колес

По взаимному расположению осей зубчатые колеса подразделяются

1. на цилиндрические

конические

червячные



По форма зуба

По расположению зубьев

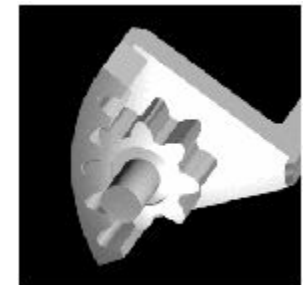
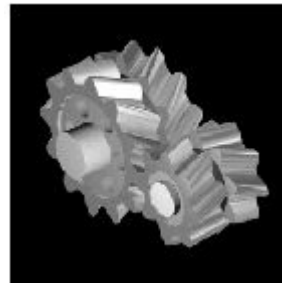
прямозубые

косозубые

шевронные

Наружное зацепление

Внутреннее зацепление

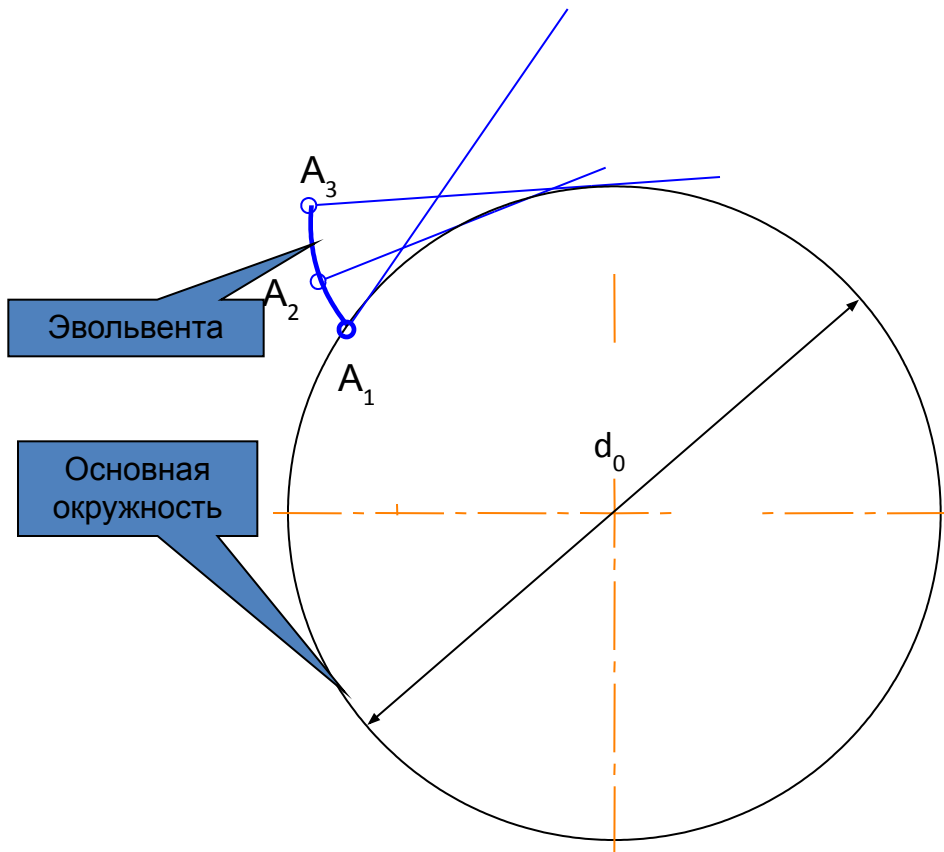


# Геометрия зубчатого зацепления

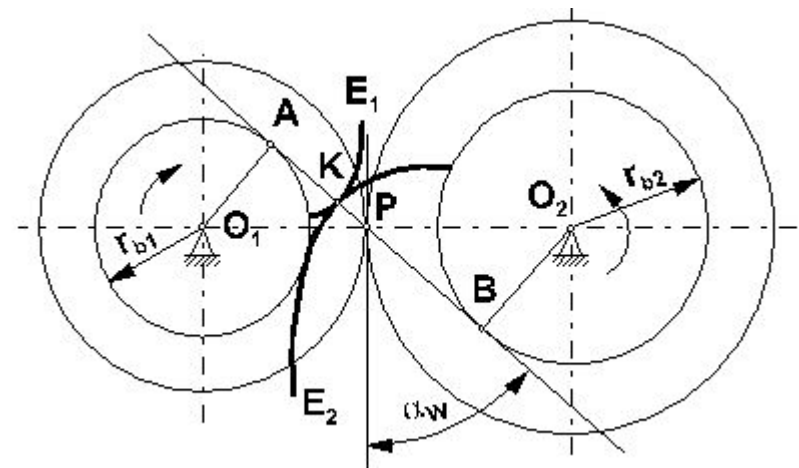
- Профиль зуба колеса представляет собой эвольвенту.

**Эвольвента** (или инволюта) окружности представляет собой кривую, центры кривизны которой принадлежат рассматриваемой окружности.

Эвольвента окружности может быть получена как траектория точки прямой, перекатывающейся без скольжения по этой окружности диаметром  $d_0$ , называемой основной окружностью.



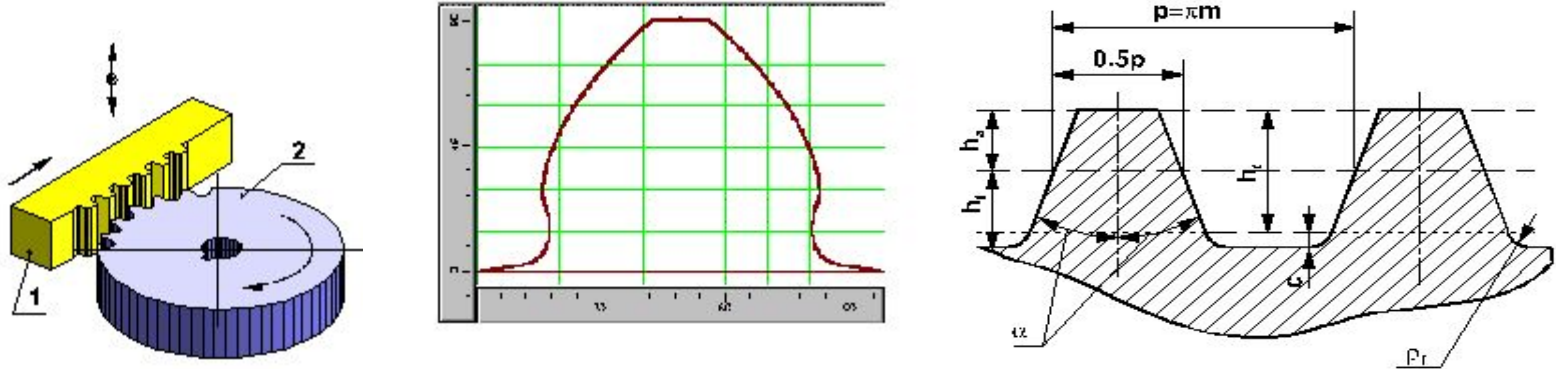
Точка пересечения общей нормали к эвольвентам с межосевой линией называется **полюсом зацепления P**



Положение нормали к поверхности определяется углом  $\alpha_w$  (т.е. углом между линией зацепления и нормалью к линии центров), который называется **углом зацепления**.

# Изготовление зубчатых колес

- Для нарезания используются специальные станки и инструменты.
- В промышленности реализуют два метода нарезания: *копирования* или *обкатки*.
- При *копировании* зуб принимает форму, очерченную инструментом.
- При *обкатке* имитируется процесс зацепления колес, одно из которых выполняет роль инструмента.



При обкатке в качестве инструмента используют рейку 1, которая представляет собой инструментальное колесо бесконечного диаметра начальной окружности. При таком способе нарезания заготовка колеса 2 вращается относительно оси, а рейка для обеспечения резания перемещается в двух направлениях: по касательной к окружности заготовки и вдоль оси). След от рейки является эвольвентой, параметры которой зависят от вида профиля рейки.

## Основные параметры рейки

Значение стандартных модулей  $m$ , мм

1-ый ряд 1;1.25;1.5;2;2.5;3;4;5;6;8;10;12;16;20;25;32;40;50;60;80;100  
 2-ой ряд 1.125;1.375;1.75;2.25;2.75;3.5;4.5;5.5;7;9;11;14;18;22;28;36

Модуль  $m = \frac{p}{\pi}$

Угол зацепления  $\alpha$

Нормальный угол зацепления  $\alpha=20^\circ$

Коэффициент высоты ножки зуба

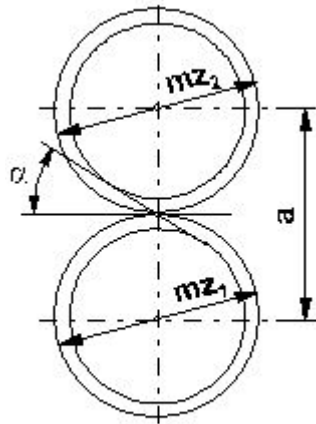
$h_f^* = 1,25$

Коэффициент головки зуба

$h_a^* = 1,0$

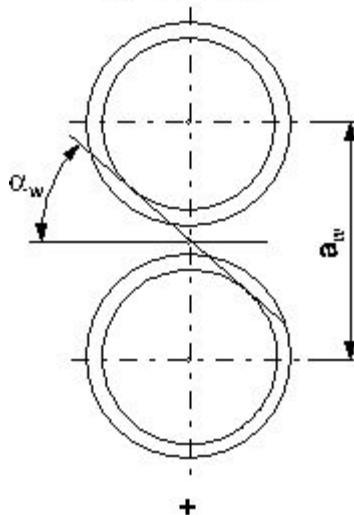
# Основные геометрические размеры передач

**Передачи без смещения.** Если делительная окружность колеса является касательной к средней линии контура инструмента, то имеет место нарезание без смещения. В этом случае начальные окружности колес совпадают с делительными.



0

$a_w > a, \alpha_w > \alpha$



Диаметр делительной окружности  $d_1 = mz_1$

$d_2 = mz_2$

Диаметр вершин зубьев  $d_{a1} = d_1 + 2m$

$d_{a2} = d_2 + 2m$

Диаметр впадин зубьев  $d_{f1} = d_1 - 2,5m$

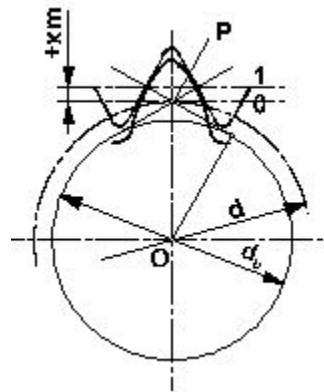
$d_{f2} = d_2 - 2,5m$

Межосевое расстояние

$$a_w = 0,5m(z_1 + z_2)$$

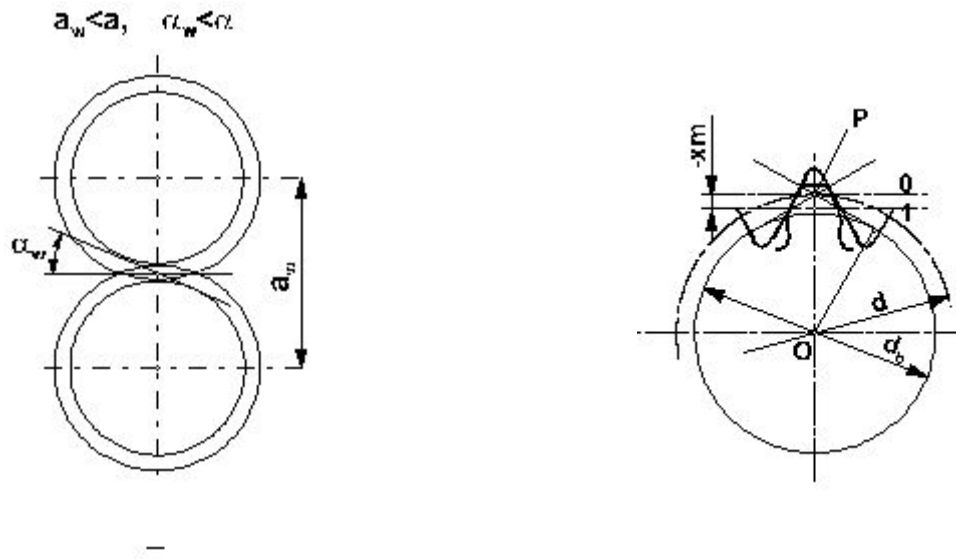
**Передачи со смещением (смещение положительное).**

При нарезании со смещением диаметр начальной окружности не касается средней линии контура инструментальной рейки. Смещение рейки позволяет избежать подреза ножки зуба при изготовлении колес с малым числом зубьев и увеличить прочностные характеристики зубьев, но ведет к заострению вершины зубьев



# Основные геометрические размеры передач

*Передачи со смещением (смещение отрицательное).* Отрицательное смещение рейки усиливает подрезание ножки зуба уменьшает прочностные характеристики, но устраняет заострение головки зуба.



Формулы для определения геометрических размеров передач идентичны

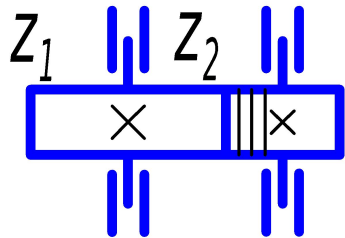
Делительный диаметр	$d_1 = mz_1$	$d_2 = mz_2$
Диаметр вершин зубьев	$d_{a1} = d_1 + 2(h_a^* + x_1)m$	$d_{a2} = d_2 + 2(h_a^* + x_2)m$
Диаметр впадин зубьев	$d_{f1} = d_1 - 2(h_f^* + c - x_1)m$	$d_{f2} = d_2 - 2(h_f^* + c - x_2)m$

# Ряды зубчатых колес

Устройство, приводящее в движение машину или механизм называется **приводом**. Чаще всего привод представляет собой ряды зубчатых колес.

Механизм, состоящий из одной или нескольких пар зубчатых колес, размещенных в корпусе, и предназначенный для уменьшения частоты вращения, называется **редуктором**

Механизм, состоящий из одной или нескольких пар зубчатых колес, размещенных в корпусе, и служащий для увеличения частоты вращения называется - **мультипликатором**



Отношение угловых скоростей на входе  $\omega_1$  и выходе  $\omega_2$  кинематической цепи называется **передаточным отношением  $u$**

Для простой зубчатой передачи:

$$u_{1-2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

(частное передаточное отношение)

Для случая кратного зацепления можно записать

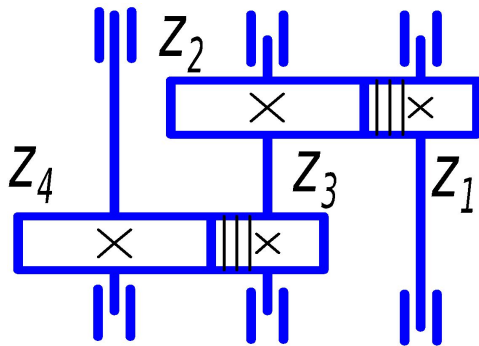
$$u_{1-3} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{n_1}{n_3}$$

Запишем передаточное число каждой передачи

$$u_{1-2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad u_{2-3} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{n_2}{n_3}$$

Перемножим полученные выражения

$$u_{1-2} \cdot u_{2-3} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = u_{1-3}$$



**Общее передаточное отношение последовательного ряда зубчатых колес равно произведению частных передаточных отношений**

# Ряды зубчатых колес

Передаточные числа выраженные через геометрические параметры передач

$$u_{1-2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1}; \quad u_{2-3} = \frac{r_4}{r_3} = \frac{z_4}{z_3}$$

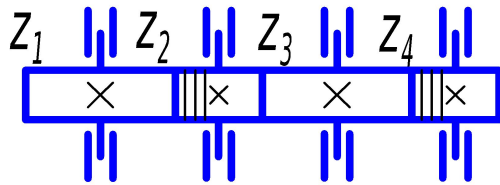
Передаточное число кратного зубчатого ряда, выраженное через геометрические параметры передач

$$u_{1-2} \cdot u_{2-3} = \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{r_4}{r_3} = \frac{z_2}{z_1} \frac{z_4}{z_3} = u_{1-3}$$

Общее передаточное отношение последовательного кратного ряда зубчатых колес равно дроби у которой в числителе стоит произведения радиусов или чисел зубьев ведомых колес, а в знаменателе произведения радиусов или чисел зубьев ведущих колес

Для случая последовательного ряда с паразитными шестернями

Частные передаточные отношения



$$u_{1-2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad u_{2-3} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{n_2}{n_3}; \quad u_{3-4} = \frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{n_3}{n_4}$$

Перемножая полученные выражения получим

$$u_{1-2} \cdot u_{2-3} \cdot u_{3-4} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_3} \cdot \frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{\omega_1}{\omega_4} = u_{1-4}$$

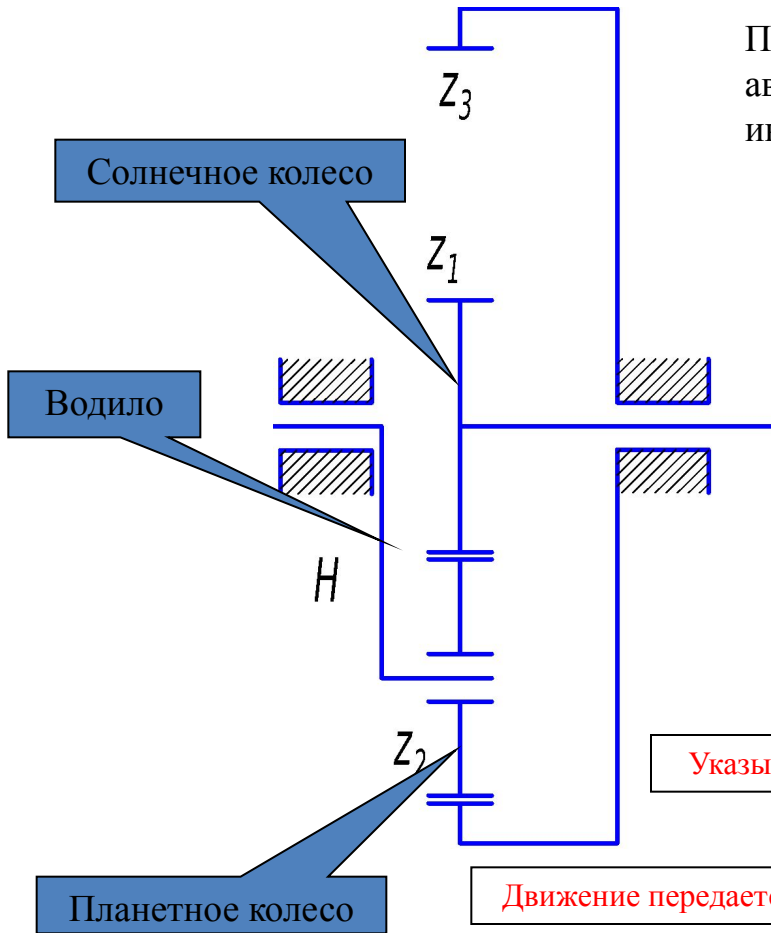
Передаточное отношение выраженное через геометрические параметры передач

$$u_{1-2} \cdot u_{2-3} \cdot u_{3-4} = \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{r_3}{r_2} \cdot \frac{r_4}{r_3} = \frac{r_4}{r_1} = u_{1-4}$$

Размеры и числа зубьев промежуточных шестерен не влияют на общее передаточное отношение

# Планетарные передачи

*Планетарными* называются зубчатые передачи с подвижными осями колес



Планетарные передачи получили широкое распространение в авиации и приборостроении благодаря компактности, большим интервалам изменения передаточных чисел

Зубчатое колесо с подвижной осью называется *планетным колесом или сателлитом*

Зубчатое колесо относительно которого вращается сателлит называется *солнечным или центральным колесом*

Рычаг с помощью которого перемещаются оси сателлитов называется *водило*

Движение можно передать от центрального колеса к водилу и в обратном направлении

Передаточное отношение передачи

Указывает неподвижный элемент передачи

Движение передается от центрального колеса 1 на водило

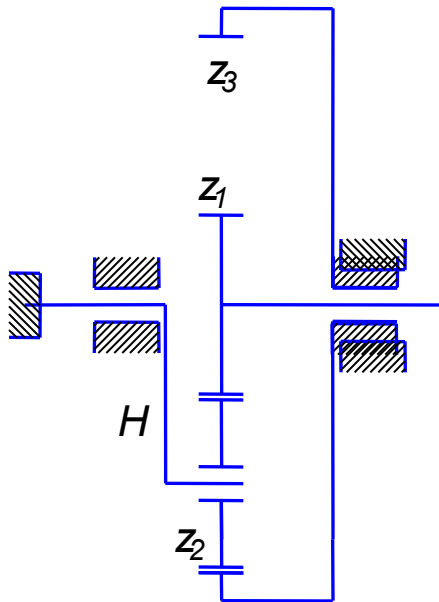
$$u_{1-H}^3 = \frac{\omega_1}{\omega_H}$$



# Планетарные передачи

**Обращенным** называется зубчатый механизм полученный из планетарной передачи, при остановке водила

Получили обычный зубчатый ряд с последовательным зацеплением



Водило неподвижно

$$u_{1-3}^H = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H}$$

Формула  
Виллиса

Поделим и числитель и знаменатель на  $\omega_3$ , получим

$$u_{1-3}^H = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} = \frac{\omega_1 / \omega_H - \omega_H / \omega_H}{\omega_3 / \omega_H - \omega_H / \omega_H} = \frac{u_{1-H}^3 - 1}{u_{3-H}^1 - 1}$$

Если считать  $\omega_3=0$ , получим

$$u_{1-3}^H = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} = \frac{\omega_1 / \omega_H - \omega_H / \omega_H}{\omega_3 / \omega_H - \omega_H / \omega_H} = \frac{u_{1-H}^3 - 1}{0 - 1}$$

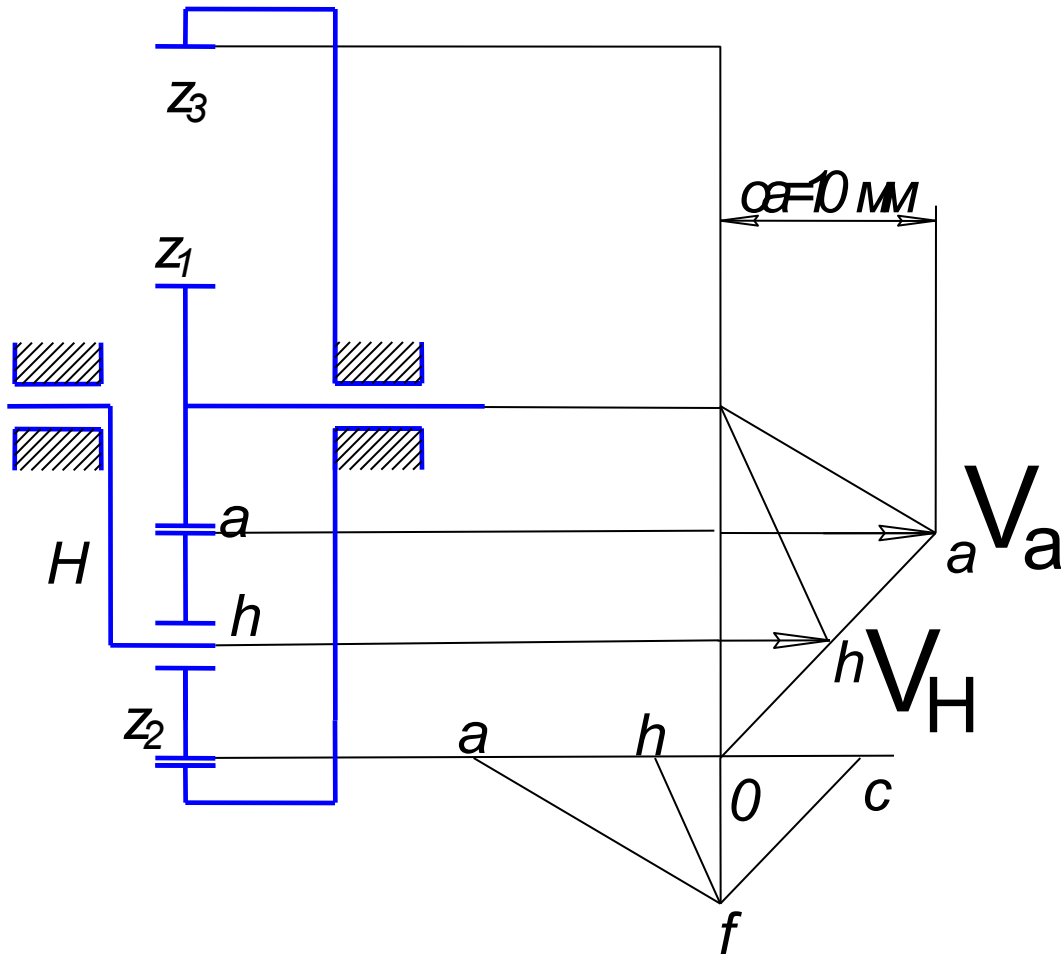
$$u_{1-H}^3 = 1 + u_{1-3}^H$$

После преобразований, получим

После подстановки частных передаточных чисел зубчатых пар

$$u_{1-3}^H = \frac{\omega_1 - \omega_H}{\omega_3 - \omega_H} = (-u_{1-2}) \cdot u_{2-3} = -\frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_3}{z_2} = -\frac{z_3}{z_1}$$

# Построение картины скоростей для планетарного зубчатого механизма



$$u_{1-H}^3 = \frac{oa}{oh}$$

$$u_{1-2}^3 = -\frac{0a}{0c}$$

$$u_{2-H}^3 = -\frac{0c}{0h}$$

# Примеры планетарных зубчатых механизмов

