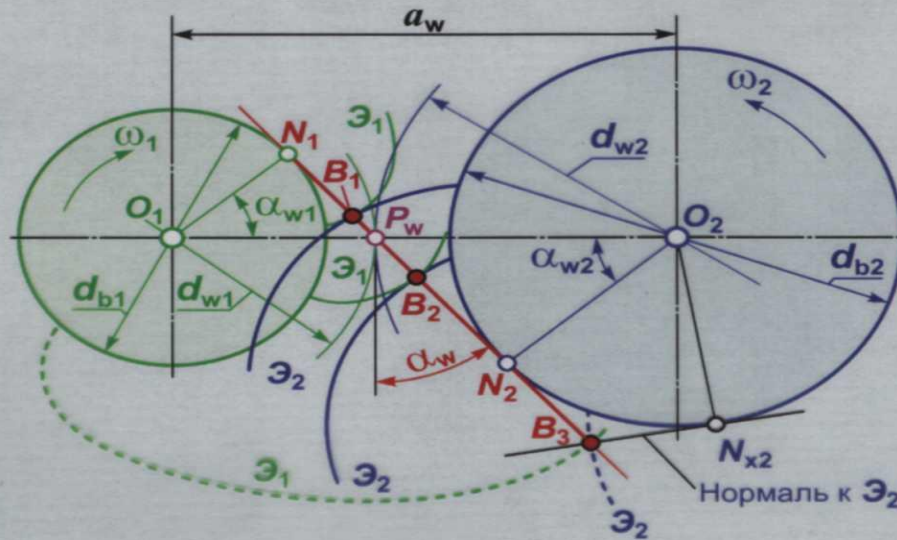


## СВОЙСТВА ВНЕШНЕГО ЭВОЛЬВЕНТНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ



$N_1, N_2, N_1N_2$  - предельные точки и линия зацепления;  
 $P_w$  - полюс зацепления (МЦВ);  
 $d_{w1}, d_{w2}$  - начальные окружности,  
 $\alpha_w, \alpha_{w1}, \alpha_{w2}$  - угол зацепления (угол давления) и профильные углы эвольвент в точках на  $d_{w1}$  и  $d_{w2}$ .

1. Эвольвенты контактируют в пределах предельной линии зацепления  $N_1N_2$  ( $B_1$  и  $B_2$  - имеют общие производящие); за ее пределами они пересекаются ( $B_3$  - имеет разные производящие). Условие отсутствия интерференции

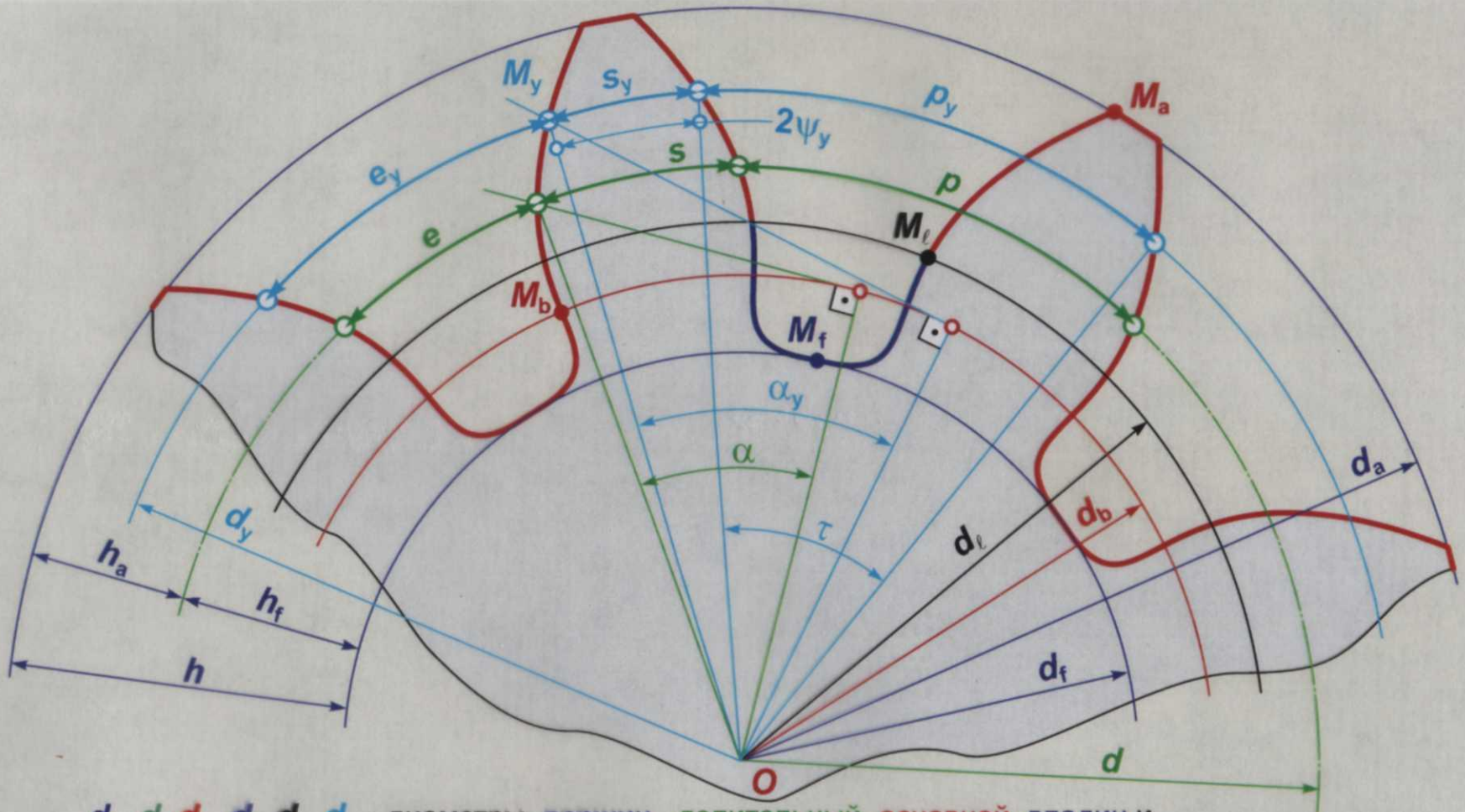
$$P_w N_2 > P_w B_i < P_w N_1.$$

2. Эвольвентное зацепление обеспечивает  $i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{d_{w2}}{d_{w1}} = \text{const}$  (полюс фиксирован на межцентровой линии).

3. Кинематика эвольвентного зацепления нечувствительна к колебаниям межцентрового расстояния

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{d_{b2}}{d_{b1}} = \text{const}$$

# ЭЛЕМЕНТЫ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПРЯМОЗУБОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА



$d_a, d, d_b, d_f, d_l, d_y$  - диаметры вершин, делительный, основной, впадин и окружностей граничных точек и произвольного радиуса соответственно.

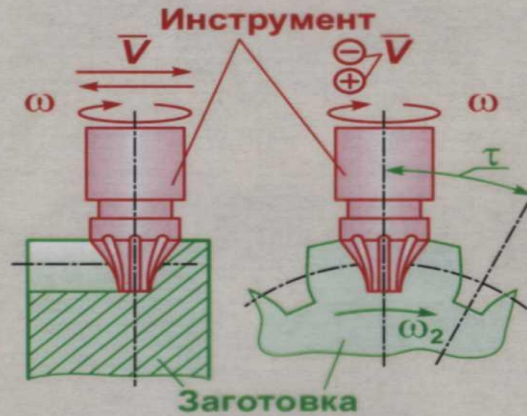
$M_b, M_l, M_a, M_l, M_f$  - предельная и граничная точки, главный профиль зуба (эвольвента) и переходная кривая соответственно.

$\alpha, \alpha_y$  - углы, численно равные углам профиля эвольвенты на делительной и произвольного радиуса окружностях соответственно.



# МЕТОДЫ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

## МЕТОД КОПИРОВАНИЯ



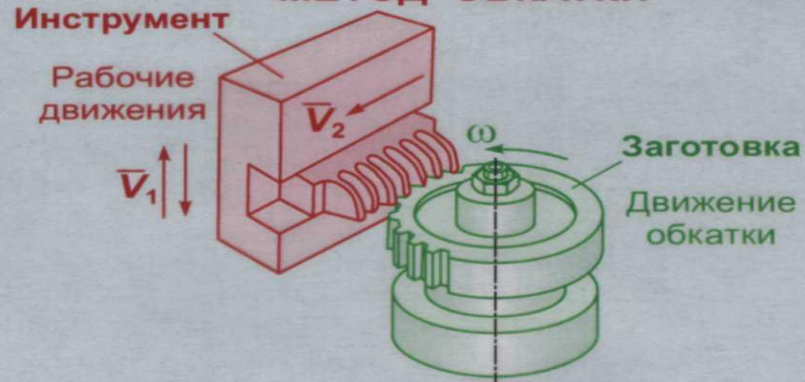
### НЕДОСТАТКИ

1. Огромная наomenclатура режущего инструмента (равна сочетанию числа зубьев и модуля).
2. Принципиальная неточность нарезания зубьев (использование универсального комплекта фрез).
3. Нетехнологичность инструмента, малая производительность.

### ДОСТОИНСТВА

Возможность нарезания зубьев на универсальном фрезерном оборудовании.

## МЕТОД ОБКАТКИ



### ДОСТОИНСТВА

1. Принципиальная точность нарезания зубьев.
2. Резкое сокращение наomenclатуры и технологичность инструмента.
3. Высокая производительность.

### НЕДОСТАТКИ

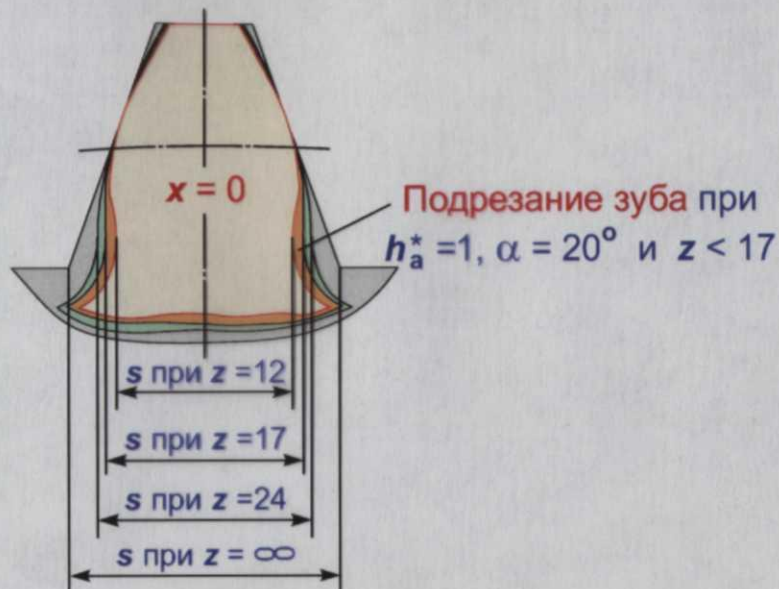
Требуется специальное зубонарезное оборудование.

# ПРОФИЛИ ЗУБЬЕВ КОЛЕС С РАЗЛИЧНЫМ ЧИСЛОМ ЗУБЬЕВ

При взаимодействии **эвольвент** за пределами предельной линии зацепления они **пересекаются**. В этом случае у заготовки режущим инструментом срезается часть эвольвенты ниже точки  $M_t$  и получается зуб, нарезанный **с подрезанием**.

Подрезание недопустимо :

- **срезается часть эвольвенты**
- и **нарушается кинематика** зацепления,
- **ослабляется зуб** в наиболее опасном сечении.



## ПОДРЕЗАНИЕ ЗУБЬЕВ

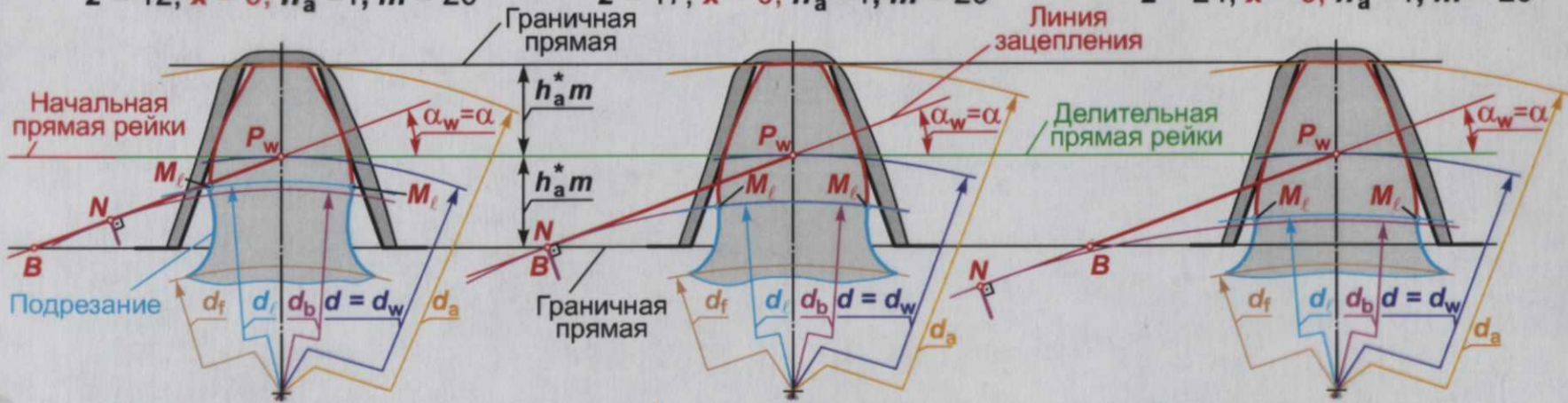
Зубья нарезаны с подрезанием

$z = 12, x = 0, h_a^* = 1, m = 20$

Зубья свободны от подрезания

$z = 17, x = 0, h_a^* = 1, m = 20$

$z = 24, x = 0, h_a^* = 1, m = 20$





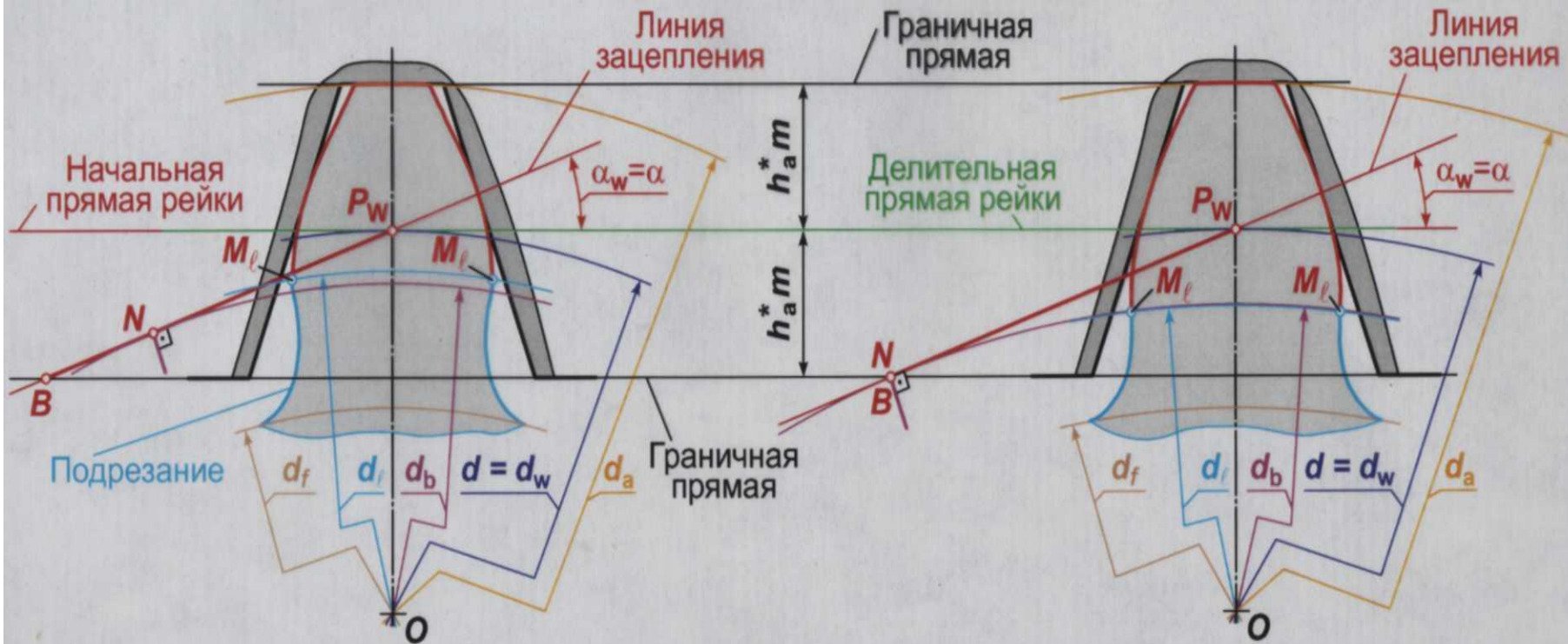
# МИНИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ЗУБЬЕВ СВОБОДНОЕ ОТ ПОДРЕЗАНИЯ ( $Z_{min}$ )

Зубья нарезаны с подрезанием

$$z = 12, x = 0, h_a^* = 1, m = 20$$

Зубья свободны от подрезания

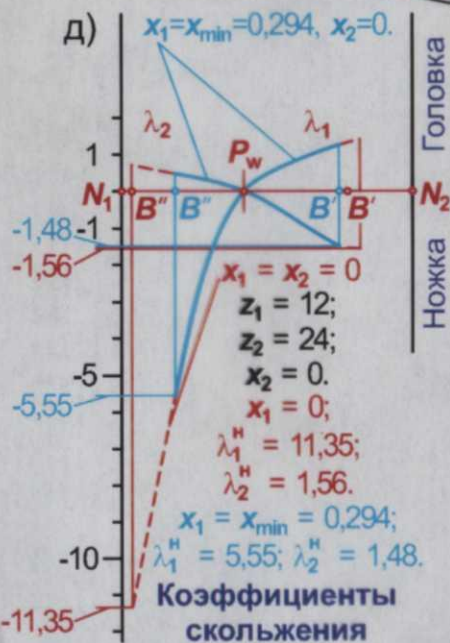
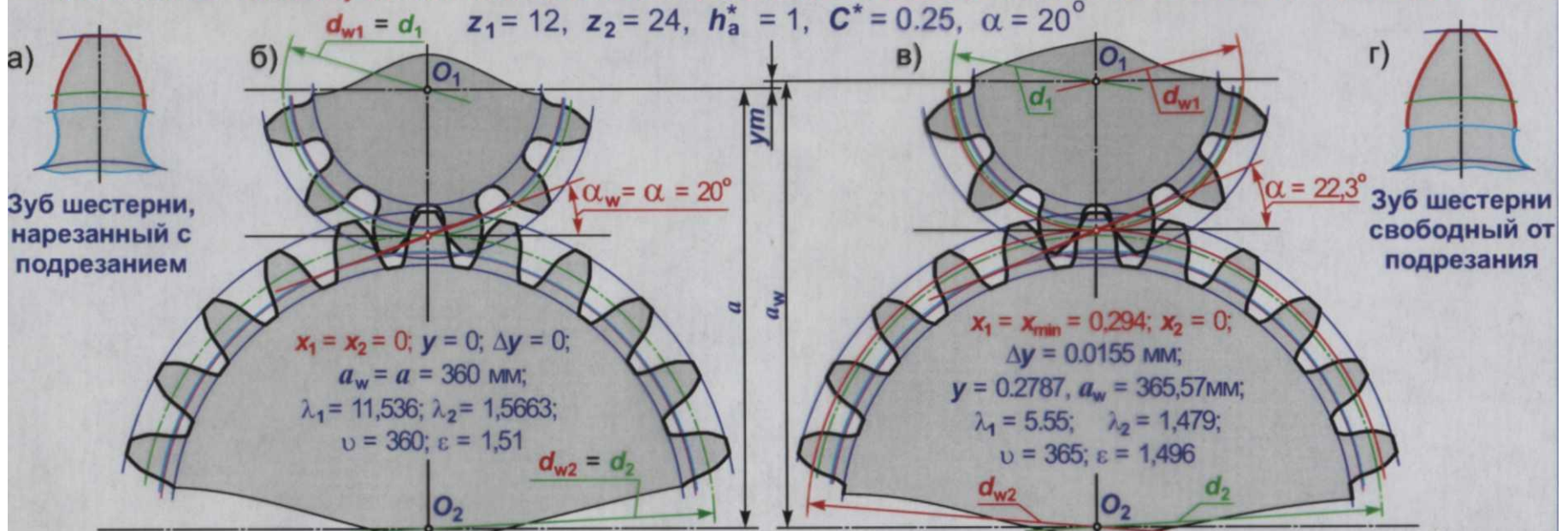
$$z = 17, x = 0, h_a^* = 1, m = 20$$



Граничное условие, обеспечивающее отсутствие подрезания зубьев инструментом

$$P_w B = P_w N.$$

# ВЛИЯНИЕ СМЕЩЕНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ



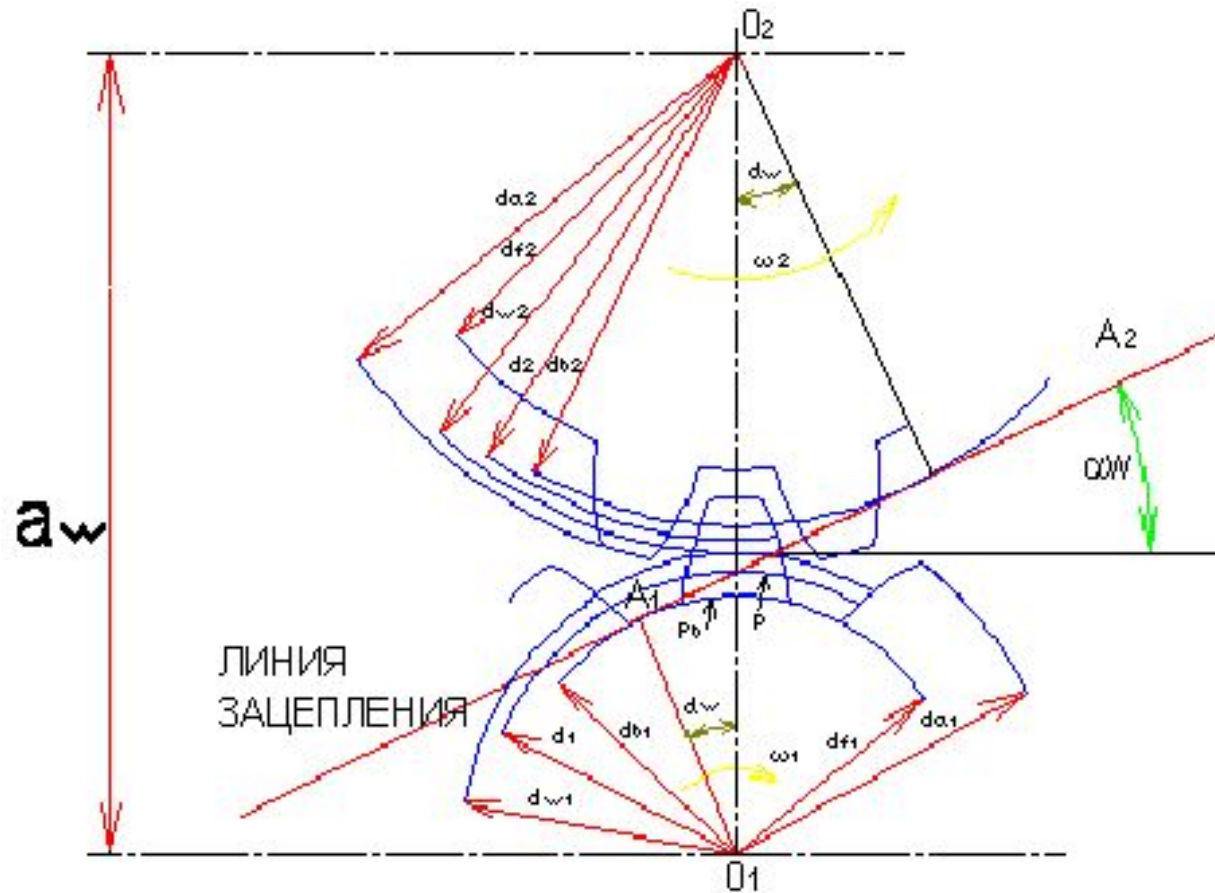
Увеличение положительного смещения приводит к следующим результатам:

- позволяет **уменьшить габариты** передачи за счет возможности уменьшения числа зубьев;
- **уменьшает коэффициент скольжения**, исключает участки эвольвенты с большим  $\lambda$  (рис. д);
- **уменьшает коэффициент удельного давления**, снижаются  $\sigma_H$  за счет увеличения  $\rho_{np}$ ;
- **увеличивается коэффициент формы зуба  $Y$** , зуб утолщается у основания (рис. а, г);
- **увеличивается угол давления  $\alpha_w$** , снижается силовая работоспособность (рис. б, в, е);
- **уменьшается коэффициент перекрытия  $\varepsilon$**  (рис. б, в), так как уменьшается длина активной линии зацепления  $B'B''$  (рис. е), а шаг по основной окружности  $\rho_b$  не меняется (снижаются силовая и динамическая работоспособности).

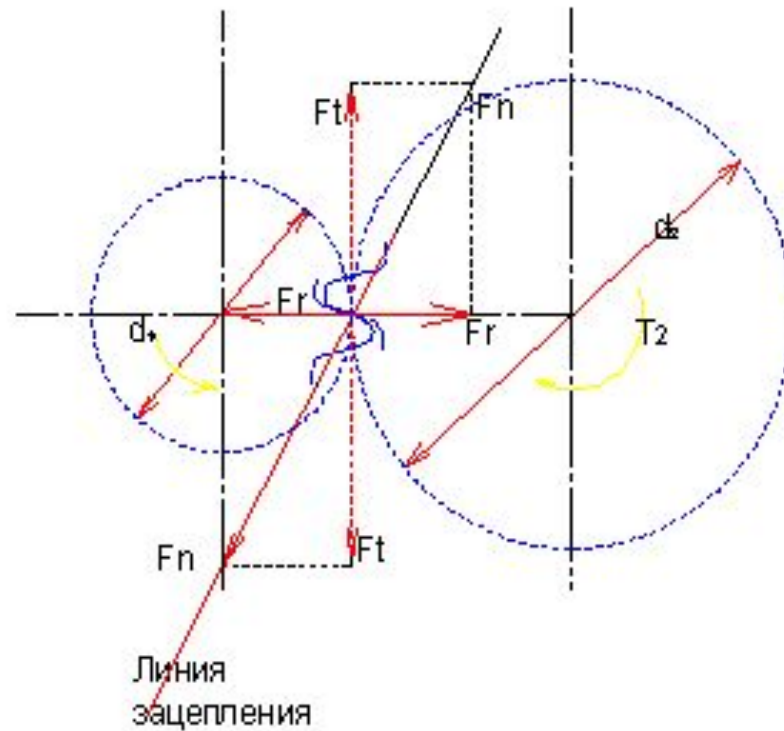
Введение отрицательного смещения дает обратные зависимости



# Геометрия прямозубой цилиндрической передачи.

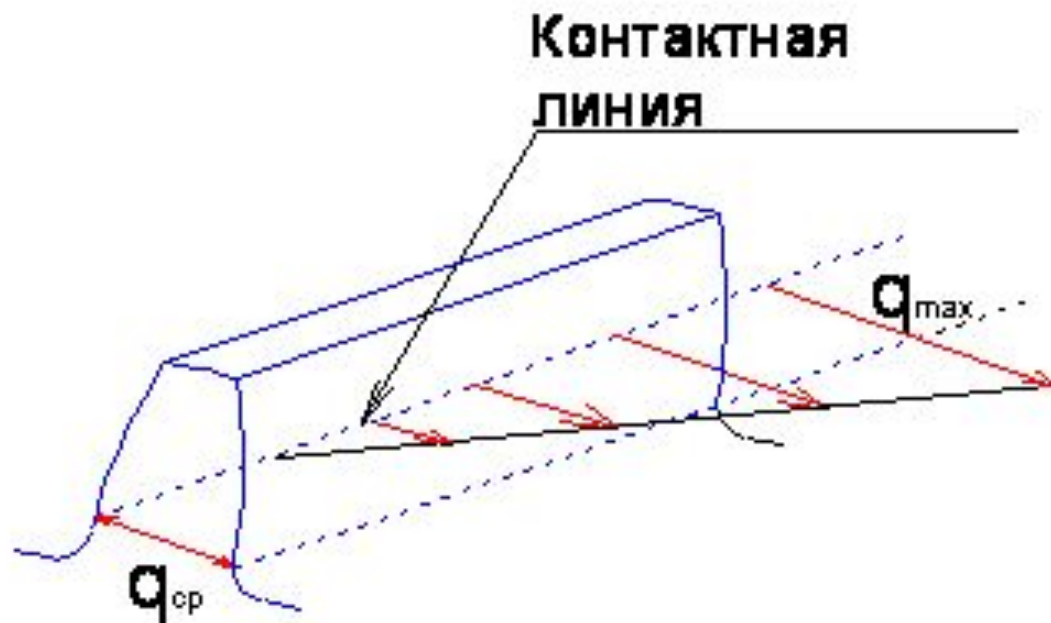


# Силы действующие в зацеплении.





# Расчетная нагрузка



# Расчет на контактную прочность формула Герца.

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{q}{\rho_{np}} * \frac{E}{2\pi(1-\mu^2)}} \leq [\sigma_H]$$





$$\sigma_H = \frac{340}{au} * \sqrt{\frac{(U+1)^3}{b} * K_H T_2} \leq [\sigma_H]$$

$$a = (U+1)^3 \sqrt{\left(\frac{340}{U[\sigma_H]}\right)^2 \frac{K_H T_2}{\psi_{ba}}}$$

# От чего зависит $K_{H\beta}$

Коэффициент  $K_{H\beta}$  (или  $K_{F\beta}$ ) зависит:

- От жесткости валов (особенно вала шестерни).
- От характера расположения шестерни относительно опор.
- От коэффициента безразмерной ширины  $\psi_{bd} = \frac{b}{d_1}$
- От твердостей рабочих поверхностей зубьев.



# От чего зависит $K_{HV}$

Коэффициент  $K_{HV}$  (или  $K_{FV}$ ) зависит:

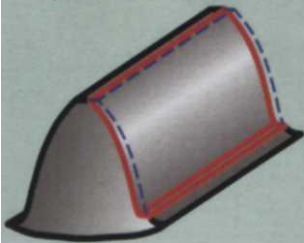
- От степени точности зацепления,
- От величины окружной скорости в зацеплении,
- От твердости рабочих поверхностей зубьев.

### Поломка зубьев



Излом зуба по сечению у основания может носить усталостный характер или являться следствием перегрузок. При циклическом нагружении микротрещины у основания зуба разрастаются, что может привести к его разрушению. Приоритетное значение имеет оптимальное сочетание коэффициентов формы зуба  $Y$  и перекрытия  $\varepsilon$ . Необходимо учитывать, что увеличение коэффициента смещения  $x$  увеличивает  $Y$ , но уменьшает  $\varepsilon$ .

### Абразивный износ



При работе **открытой** зубчатой передачи превалирует абразивный износ и **приоритетное** значение имеют коэффициенты скольжения  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Для обеспечения равнопрочности по износу желательно при термообработке обеспечить

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{H_{b1}}{H_{b2}}$$

### Выкрашивание поверхностных слоев зубьев



При работе **закрытой** зубчатой передачи в условиях **хорошей смазки** при циклическом нагружении у полюсной линии разрастаются микротрещины, что приводит к образованию оспинок, переходящих в раковины. На первое место выступают угол давления  $\alpha_w$  и коэффициент удельного давления  $\rho$ .

### Заедание

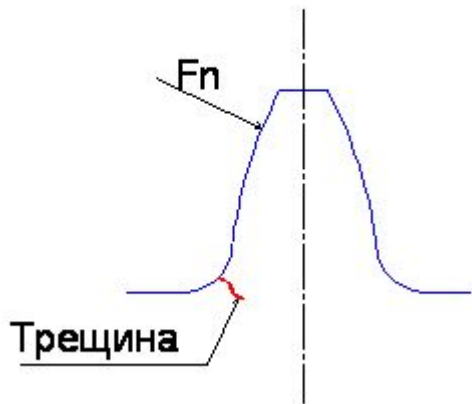


При высокой удельной нагрузке происходит разрыв масляной пленки, нагрев и схватывание сопряженных поверхностей с образованием микротрещин и следов задира в направлении скольжения зубьев.



# Виды разрушения зубчатых колес

Поломка зубьев



Износ зубьев



проскальзывание

# Выкрашивание рабочих поверхностей зубьев

