

# Качественные показатели зубчатого зацепления



**Основными критериями**, характеризующими работу проектируемого зацепления, являются:

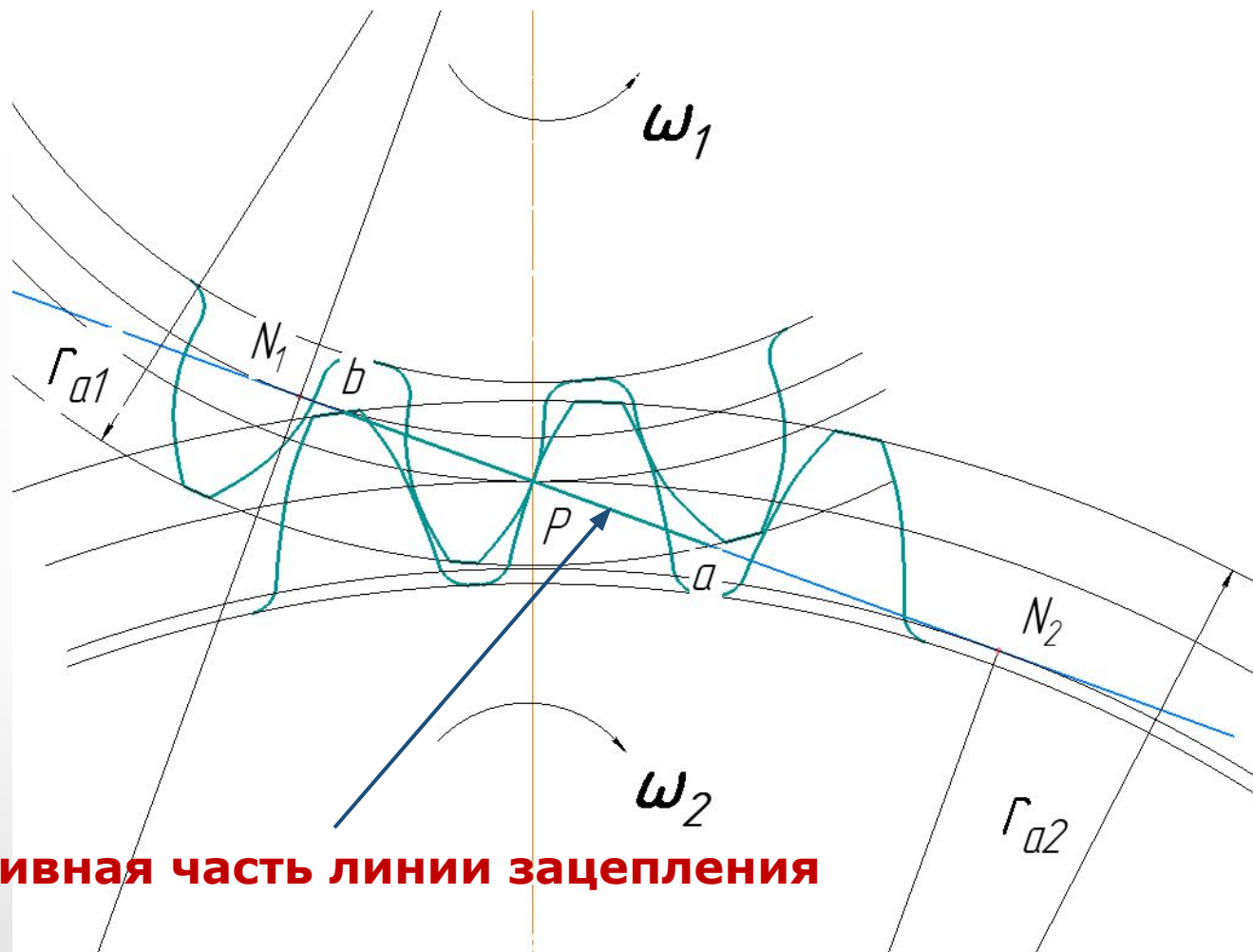
- *коэффициент перекрытия  $\varepsilon$* , определяющий, насколько число пар зацеплений одной пары зубьев перекрывается зацеплением следующей в ней пары зубьев;
- *коэффициент удельного скольжения  $\lambda$* , являющийся одним из параметров определяющих износ зубчатой пары, который пропорционален работе трения, т.е. нагрузке и относительной скорости скольжения профилей;
- *геометрической коэффициент удельного давления  $q$* , характеризующий контактное напряжение на поверхности профилей зубьев и одновременно являющийся вторым параметром, определяющим износ зубчатой пары.

# Коэффициент перекрытия

для обеспечения плавной и безударной работы зубчатой пары должно выполняться условие непрерывности смены пар зубчатых профилей, т.е. вторая пара зубчатых должна начать зацепления раньше, чем выйдет из зацепления.

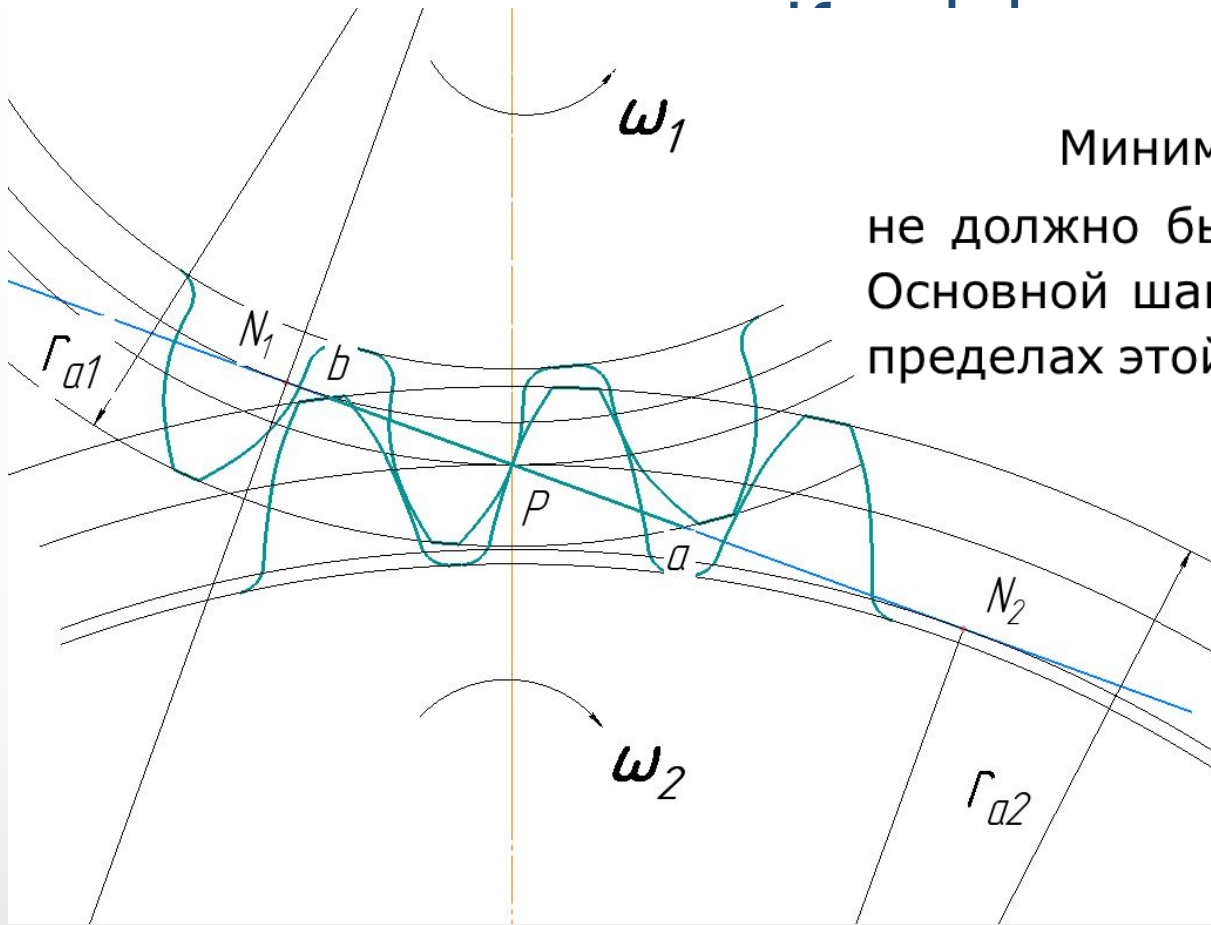
Коэффициентом перекрытия  $\epsilon_\alpha$  называется отношение длины активной части линии зацепления к основному шагу зубчатого колеса:

$$\epsilon_\alpha = \frac{ab}{\pi \cdot m \cdot \cos\alpha}$$



Коэффициент перекрытия характеризует плавность работы зубчатой передачи и является количественной характеристикой этого качества.

## Эт перекрытия (продолжение)



Минимальное значение  $\epsilon_\alpha$  для прямозубой передачи не должно быть меньше 1,1 (изменяется условно от  $1,1 \div 2$ ). Основной шаг короче активной линии зацепления, поэтому в пределах этой линии работает то одна то две пары зубьев.

При  $\epsilon_\alpha < 1$  передача движения между зубчатыми колесами невозможна.

Аналитически коэффициент перекрытия  $\epsilon_\alpha$  для зубчатой передачи колес 1 и 2 определяется следующим образом:

$$\epsilon_\alpha = \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b1}^2} - a_w \sin \alpha_w}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha}$$

$a_w$  - межосевое расстояние;  $\alpha_w$  - угол зацепления;  $\alpha$  - угол профиля

У прямозубых передач увеличение  $\epsilon_\alpha$  возможно при относительном увеличении габаритов передач. Радикальным приемом увеличения является переход на косозубые передачи, для которых  $\epsilon_\kappa \approx 2$  и более.

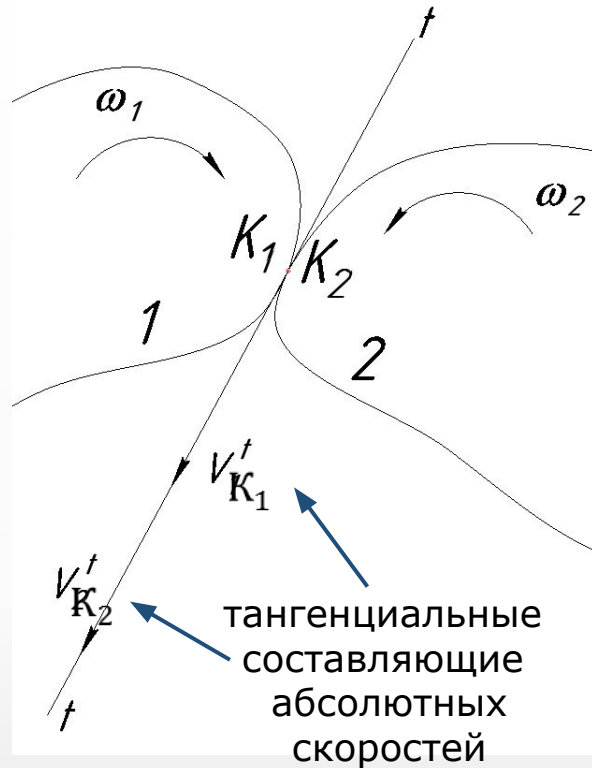
# Геометрический коэффициент удельного скольжения

Сила взаимодействия активных поверхностей зубьев сопровождается значительным по величине, переменным по модулю и знакопеременным скольжением.

При зацеплении профили зубьев одновременно совершают процесс качения и скольжения, и на боковых поверхностях зубьев возникают силы сопротивления качению и силы трения скольжения. Трение скольжение кроме дополнительных затрат мощности, вызывает износ зубьев. Скорость скольжения является одним из главных факторов определяющих износ.



# Геометрический коэффициент удельного скольжения (продолжение)



Удельное скольжение - это отношение скорости скольжения профилей в точке их касания к скорости перемещения точки касания по профилю. Этот показатель характеризует износ зубьев.

Удельное скольжение выражается следующим образом для каждого профиля в зацеплении:

$$\lambda_1 = \frac{V_{K_1}^t - V_{K_2}^t}{V_{K_1}^t}$$

$$\lambda_2 = \frac{V_{K_2}^t - V_{K_1}^t}{V_{K_2}^t}$$

Представленные формулы не являются расчетными, так как включают скорости требующие определения. Расчетные формулы для коэффициентов удельных скольжений будут иметь следующий вид

$$\lambda_1 = 1 - U_{21} \frac{1 - c}{c}; \quad \lambda_2 = 1 - U_{12} \frac{1 - c}{c}; \quad U_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{z_1}{z_2}; \quad U_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1};$$

$c$  – величина, определяющая положение точки контакта зубьев на линии зацепления  $N_1N_2$ , причем вся длина линии зацепления принимается за единицу.

# Геометрический коэффициент удельного скольжения (продолжение)

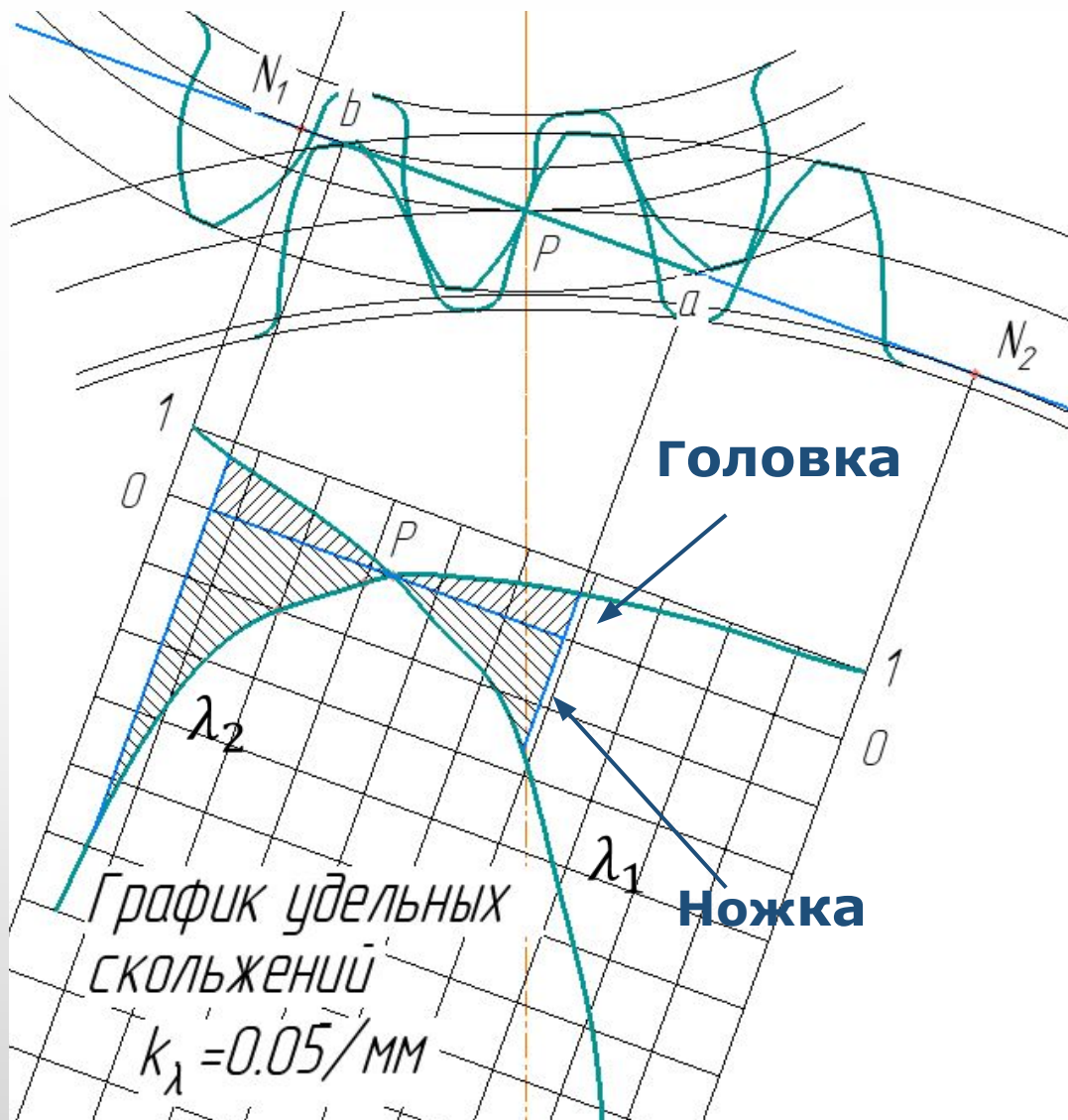


График показывает, что удельное скольжение на головках меньше, чем на ножках, следовательно ножки изнашиваются интенсивнее, чем головки.

Чем дальше от полюса в радиальном направлении находится зона профиля, тем более он изнашивается.

В полюсе зацепления износ от скольжения равен нулю, так как эта точка является мгновенным центром поворота одного колеса относительно другого и, точки профилей, попадающие в полюс, имеют радиус относительного вращения вокруг полюса равный нулю.

# Коэффициент удельного давления

Коэффициент удельного давления называется отношение модуля зацепления к приведенному радиусу кривизны профилей зубьев в точке их контакта.

Коэффициент удельного давления характеризует величину и знакопеременность изменения контактных напряжений по фазе зацепления.

Формула Герца определяет величину контактного напряжения смятия следующим образом:

$$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{P_N E^{пр}}{b \rho_{пр}}};$$

$P_N$  - нормальная нагружающая сила;  $E^{пр}$  - приведенный модуль упругости колес;  $b$  - длина контактной линии;  $\rho_{пр}$  - приведенный радиус кривизны (желательно, чтоб он был как можно больше, так как чем больше радиус кривизны тем меньше удельные давления при одинаковых усилиях в контакте).



# Коэффициент удельного давления (продолжение)

Умножив числитель и знаменатель формулы Герца на модуль  $m$  формула примет следующий вид:

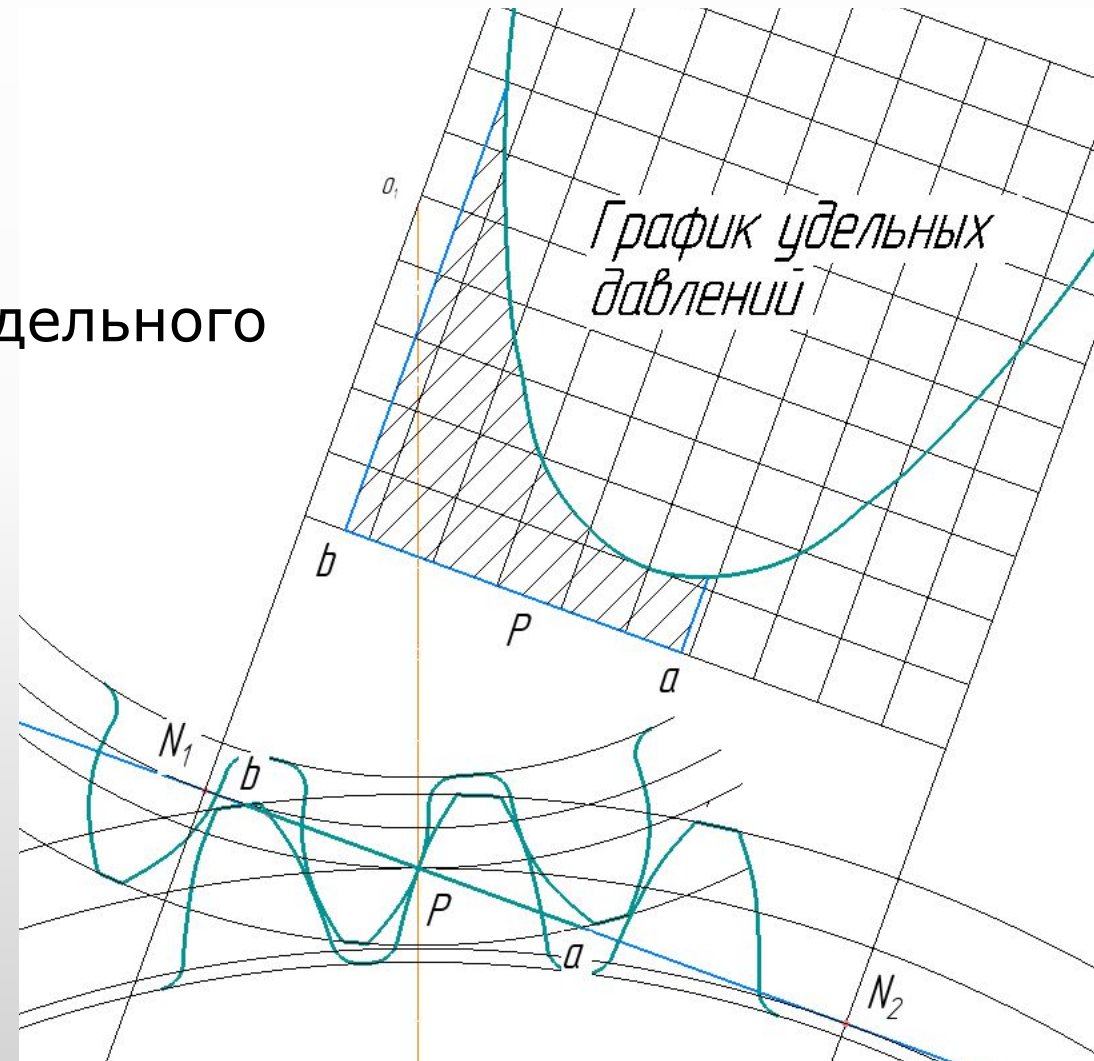
$$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{P_N E^{пр} m}{b \rho_{пр} m}};$$

и, соответственно, коэффициент удельного давления будет

$$q = \frac{m}{\rho_{пр}}.$$

Для расчетных целей применяем следующую формулу

$$q = \frac{m}{c(1-c)N_1 N_2}.$$



## Коэффициент удельного давления (продолжение)

Стоит отметить, что контактные напряжения имеют максимальные значения вблизи границ теоретической линии зацепления то есть в этих зонах наблюдается неблагоприятное сочетание напряжений и значительного скольжения.

Влиять на качественные показатели зацепления можно приемами исправления (корректирования) передач. Для этих целей назначают коэффициенты смещения  $x_i$ , которые позволяют:

- увеличивать изгибную прочность зуба путем увеличения его опасного сечения вблизи основания;
- увеличивать контактную прочность зуба путем использования участков эвольвенты, более удаленных от основной окружности;
- выравнивать максимальные удельные скольжения;
- увеличивать плавность работы передачи путем удлинения активной линии зацепления;
- обеспечивать заданное межосевое расстояние.

**Спасибо за внимание!!!**