

Ташкентский автомобильно-дорожный институт

Кафедра: *Основы проектирование машин*



Тема: Выбор рационального угла зацепления в фазе полюса зацепления и совершенствование эвольвентной зубчатой передачи.

Выполнил: ст. гр. 212-05 Хасанов Ш.Б.

Принял: доц. Мухамедов С.

Ташкент -2008

План:

1. Зацепления и совершенствование эвольвентной зубчатой передачи.
2. Система смешанного зубчатого зацепления IP.
3. Технологическая реализация смешанного зацепления.
4. Шлифование зубьев методом обкатки .

## Выбор рационального угла зацепления в фазе полюса зацепления и совершенствование эвольвентной зубчатой передачи.

1. Анализ передачи эвольвентного зацепления с позиций нелинейных взаимосвязей основных факторов реального контакта показывает, что отсутствует некая универсальная или присущая конкретной отрасли техники инвариантная параметрам площадки реального контакта зубьев величина оптимального угла зацепления, например  $a_{tw} \approx 25^\circ$  (как принято в вертолетостроении), минимально (вплоть до  $a_{tw} \rightarrow a_{twmin} \approx 7^\circ$  - с ограничением по технологическим соображениям) или максимально возможная (вплоть до  $a_{tw} \rightarrow a_{twmax} \approx 52^\circ$  - с ограничением по геометрическим соображениям) его величина.

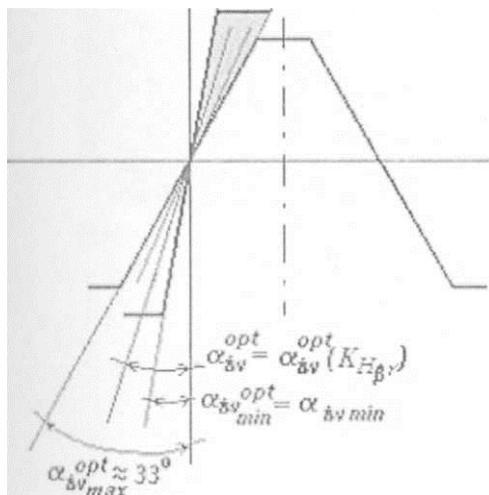


Рис.5. К выбору оптимального значения угла зацепления в фазе полюсного зацепления и рациональных параметров исходного контура

Выбор рационального значения угла зацепления зависит от сочетания геометрических и трибологических параметров реального контакта зубьев и может быть осуществлен из достаточно широкого диапазона  $\Delta\alpha \approx 27^\circ$ :  $a_{tw} \approx a_{twmin} - 33^\circ$ , где  $a_{Uvmin}$  - технологически минимально возможный угол зацепления (рис. 5).

Использование найденного описания механизма контактного взаимодействия зубьев создает эффективный инструмент совершенствования тяжело нагруженных эвольвентных передач

выбором наиболее рационального значения угла зацепления, приближенное значение которого (патент РФ №1710889) может быть определено как:

$$6.0 \leq \frac{(\alpha_{tw} - 11)}{(3 - K_{H\beta}^3)} \leq \frac{8 \cdot (K_{H\beta}^3 - 0.2)}{(K_{H\beta}^3 - 0.4)},$$

где:  $K_{H\beta}$  - коэффициент, учитывающий концентрацию нагрузки вдоль линии номинального контакта зубьев.

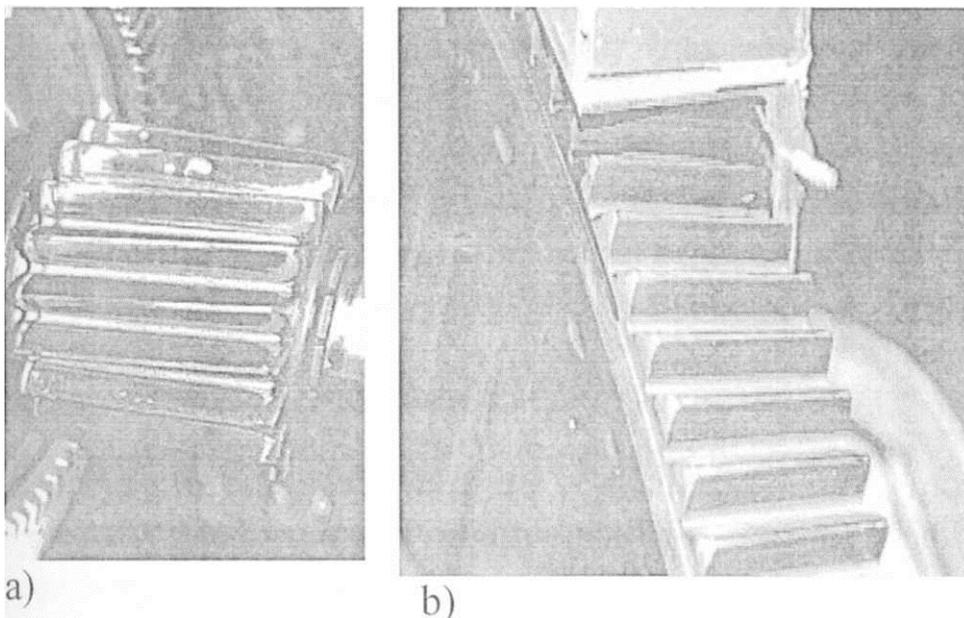


Рис.6.

Фото зубьев шестерни(а) и колеса (б) после стендовых испытаний усовершенствованной цилиндрической эвольвентной передачи главного редуктора ВР-28 вертолета МИ-28

Рациональные его значения для точки полюса зацепления в более широком представлении геометрии различных зацеплений и условий контактирования зубьев зависят от параметров реального контакта и лежат в широком диапазоне:  $\alpha_{twopt} \sim \alpha_{twmjn}^{-33^0}$ , где  $\alpha_{twmjn}$  -минимально возможное (по технологическим или конструктивным ограничениям) значение угла зацепления. Выбором рационального

значения ( $\alpha \approx 31^\circ$ ) угла зацепления решена задача задиростойкости (рис.6) и показана возможность кардинального (восьмикратного) увеличения ресурса по контактной выносливости зубьев эвольвентной цилиндрической передачи главного редуктора вертолета.

### Система смешанного зубчатого зацепления IP.

Ограничением дальнейшего улучшения геометрии плоского зацепления становится не достижение геометрически предельно - максимального угла зацепления (как это диктует чисто гидродинамическая модель) или рационального значения из диапазона угла  $7-33^\circ$  (как это получено нами), а сохранение единства закона описания профиля зубьев по эвольвенте в разных фазах зацепления. Устранение этого ограничения достигнуто синтезом системы смешанного зацепления IP (G.A.Zhuravlev. Mixed Engagement Gearing. EUROPEAN PATENT №0293473, 29.07.92) на базе сочетания новых кинематических принципов.

Кинематические принципы системы IP построены на выявлении и анализе негерцевских взаимосвязей основных факторов контакта близких к НЛК упругих тел, а сама система IP соответствует современным тенденциям развития техники и не имеет принципиальных ограничений сферы рационального применения.

Некоторые структуры профиля зубьев колес IP и типичные пятна интегрального контакта приведены на рис. 7-10. Профили зубьев состоят из кинематически самостоятельных участков, выполненных по разным законам, чем снимаются ограничения (накладываемые единым законом описания профиля) на выбор значений радиуса  $r_2$  в различных фазах зацепления. Система смешанного зубчатого зацепления IP базируется на кинематически самостоятельных взаимосопряженных эвольвентных участках, соединенных с внеполюсными точечно-сопряженными участками выпуклого профиля у головки и/или вогнутого - у ножки зуба.

Для введения принципа смешанности в теорию и практику зубчатых передач использовано новое концептуальное выражение путей совершенствования зубчатых зацеплений и выявленные

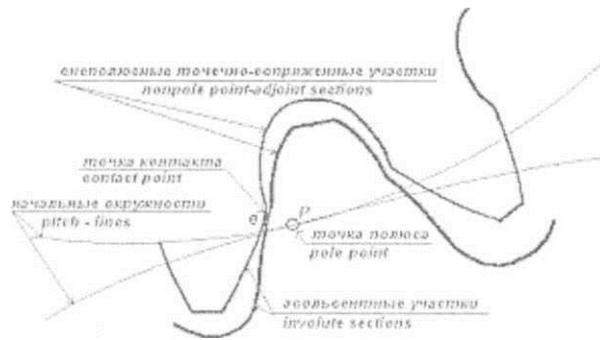
прочностные эффекты влияния кривизны профиля зубьев. Даны концепции реализации принципа смешанности зацеплений и снижения уровня компромисса при многокритериальной оптимизации параметров профиля зубьев.

Принципиально система IP имеет широкую сферу возможного применения, аналогично эвольвентному зацеплению, но характеризуется меньшими уровнями контактных и изгибных напряжений, виброактивности и теплонапряженности (контактной и объемной температур), меньшей чувствительностью к технологическим и деформационным отклонениям передачи. Принятая нами аббревиатура IP (или ЭТ) состоит из первых букв терминов, раскрывающих в порядке их упоминания главную идею и наиболее важные признаки реализуемого принципа смешанности законов описания рабочего профиля зубьев: базирование (в кинематическом, прочностном и метрологическом смыслах) на Эвольвентные - Involute (то есть Э-И) участки и выполнение неэвольвентных участков профилей взаимодействующих зубьев с Точечной - Point (Т-Р) взаимной сопряженностью.

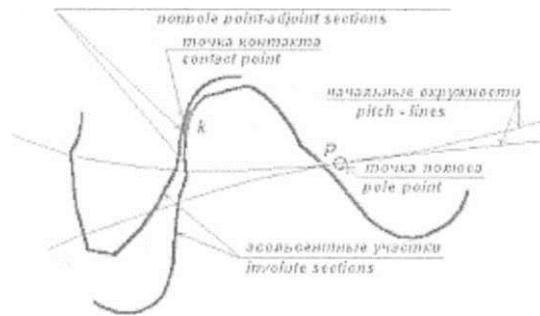
### 3. Технологическая реализация смешанного зацепления.

Смешанное зацепление реализуется инструментом со специальным профилем. При изготовлении и контроле зубчатых колес и необходимого зубообрабатывающего инструмента применяется широко распространенное оборудование. Зубья парных колес цилиндрической передачи могут быть (при базировании на паре идентичных исходных контуров) обработаны методом обкатки одним и тем же инструментом.

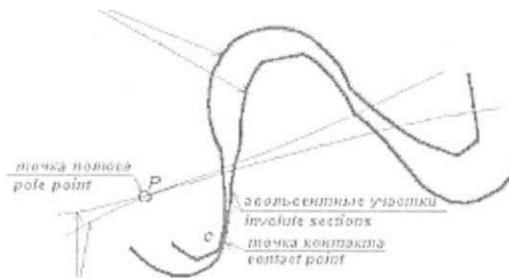
Для изготовления и контроля зубчатых колес и необходимого зубообрабатывающего инструмента используется широко распространенное оборудование. Процессы зубообработки колес IP отличаются от процессов зубообработки эвольвентных колес только применением инструмента (например, червячной фрезы) со специальным профилем.



a)



б)



в)

Рис. 7.

Торцовые профили зубьев зубчатых колес IP (вариант двух кинематически самостоятельных рабочих участков - на базе пары неидентичных исходных контуров) в различных фазах

смешанного зацепления

а,в - граничные положения фазы зацепления эвольвентных участков;

с - фаза зацепления внеполюсных точно- сопряженных участков

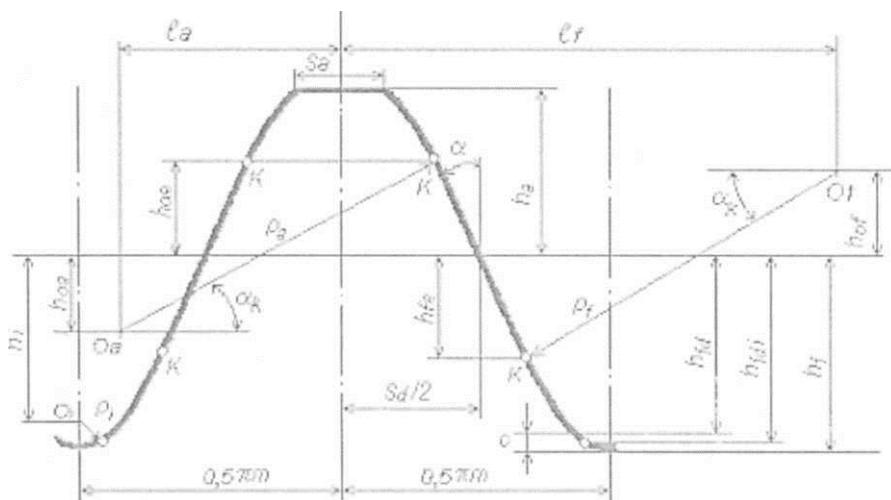


Рис.8.

Структура исходного контура зубьев с тремя рабочими участками на каждой стороне профиля - для передачи IP на базе пары идентичных исходных контуров.

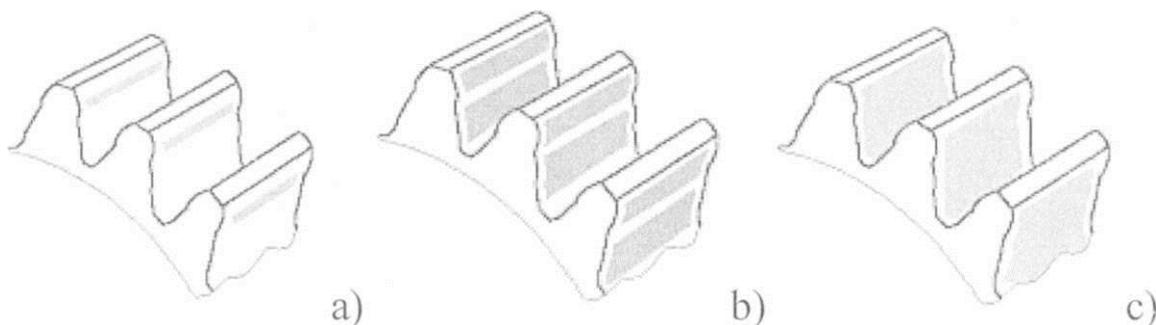


Рис. 9.

Пятна контакта зубьев IP (вариант двух кинематически самостоятельных рабочих участков) при различных уровнях нагружения :

а - кинематическое зацепление (без нагрузки);

б - период приработки;

c - под нагрузкой (длительное действие).

$$x_p = (x_k \cdot \cos \frac{\tau}{2} - y_k \cdot \sin \frac{\tau}{2}) \cdot \cos \beta' + z_k \cdot \sin \beta';$$
$$r_p = \sqrt{y_p^2 + z_p^2},$$

Рис. 10. Пятна контакта зубьев передачи IP на базе пары идентичных исходных контуров (вариант трех кинематически самостоятельных рабочих участков) при максимальных отклонениях межосевого расстояния  $a_w = a_{wном} + Aa_w$ :

a - положительное отклонение  $Aa_w > 0$ ;

b - отрицательное отклонение  $Aa_w < 0$ .

Шлифование зубьев методом обкатки :

на станках с правкой шлифовального круга фасонным роликом;

на станках с коническим двусторонним шлифовальным кругом, например 5M841 («MSZ»), ZSTZ0,6 («NILES»), RKZ400 («REISHAUER»), - с правкой шлифовального круга на основе специального механизма с фасонным копиром (по а.с. СССР № 1673416);

на станках с правкой шлифовального круга ЧПУ;

на станках с профильным (например, эльборовым) кругом.

Шлифование зубьев методом копирования на станках с фасонным шлифовальным кругом, профиль которого по его рабочей части задан

$$x_p = (x_k \cdot \cos \frac{\tau}{2} - y_k \cdot \sin \frac{\tau}{2}) \cdot \cos \beta' + z_k \cdot \sin \beta';$$
$$r_p = \sqrt{y_p^2 + z_p^2},$$

по специальной методике.

координатами  $x_p, r_p$  (схема на рис. 11) определяемыми:

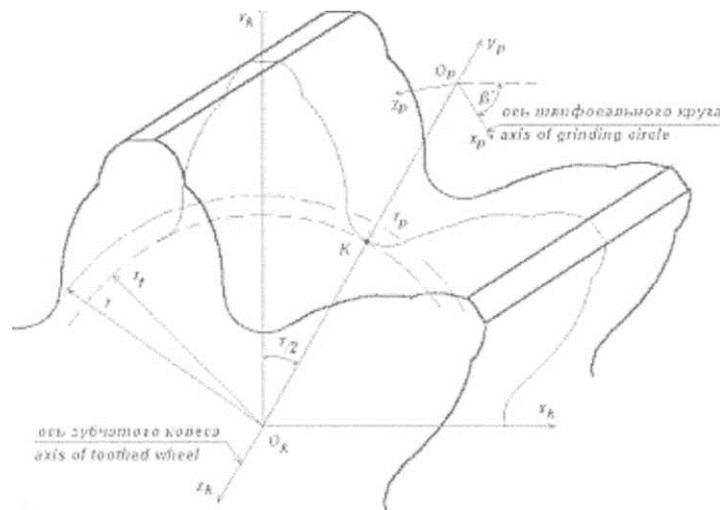


Рис. 11. К схеме расчета профиля инструмента 2-го порядка при формообразовании зубьев цилиндрической передачи IP.

Эти методики универсальны и могут быть использованы при произвольном профиле и любых углах наклона зубьев.

#### 9. Применение смешанного зацепления в зубчатых передачах с поэлементной взаимозаменяемостью.

Отметим еще одну особенность нового зацепления возможность образования смешанного зацепления IP путем обеспечения в традиционной эвольвентной цилиндрической передаче поэлементной взаимозаменяемости зубчатых колес с колесами смешанного профиля зубьев, а в результате - улучшения динамических показателей, продления срока работы и повышения ремонтпригодности (например - снижение объема работ по демонтажу и замене отдельных деталей) отбракованных по износу эвольвентных зубчатых колес.

Рассмотрим цилиндрические зубчатые передачи внешнего зацепления. В процессе изнашивания эвольвентных зубьев их профили приобретают своеобразную модификацию, неравномерный характер которой в большей степени определен особенностями кинематики эвольвентного зацепления, по-разному проявляющимися в прямозубой и косозубой передачах, в ведущем и ведомом колесах или при реверсе силового потока. В одном

случае линия «естественной» модификации плавно сопрягается с исходным профилем, при этом ее удаление от исходного эвольвентного профиля возрастает к периферийным точкам рабочего профиля. В другом случае у ножки эвольвентного зуба по его профилю образуется вогнутый участок с максимальным отклонением примерно посередине высоты этого участка.

По мере изнашивания эвольвентные зубья теряют свою взаимосопряженность, динамические показатели передачи резко ухудшаются и она становится неработоспособной. Замена одного из изношенных колес новым эвольвентным колесом не решает проблему. Поэтому предельно допускаемая величина износа обычно четко регламентирована. Например, для косозубой тяговой передачи электровоза (модуль зубьев  $t=10\text{мм}$ ) браковочная величина износа составляет  $0,5\text{мм}$  на одну сторону зуба.

Диализ показал, что параметры изношенного эвольвентного зуба по допускаемым значениям отклонения от исходного профиля и по характеру его изменения близки к конструктивно и технологически целесообразным формам профиля зубьев IP. Учитывая это, а также то обстоятельство, что смешанное зацепление IP обеспечивает рост ресурса и улучшение передачи по различным показателям работоспособности, сведем задачу поэлементной взаимозаменяемости к образованию смешанного зацепления с неидентичными исходными контурами зубьев в паре зубчатых колес, одно из которых является изношенным эвольвентным колесом, а другое - колесом смешанного профиля IP. Достаточными и необходимыми условиями образования правильного зацепления IP являются точечное сопряжение профилей зубьев парных колес по неэвольвентным участкам и выполнение эвольвентных участков эквидистантными номинально взаимосопряженным участкам с их отводами в тело на глубину  $5y > 0$ , регламентированную по величине некоторым диапазоном. Второе условие снимает необходимость в индивидуальной технологии изготовления колес GP с учетом конкретного браковочного диапазона величины износа каждого эвольвентного колеса.

$$\varphi_j = \alpha_j + \text{inv}\alpha_j = \rho_d / r_b; \rho_d = \sqrt{h_j^2 + x_j^2 - r_b^2}; h_j = y_{ij} + r + xm,$$

## Хулоса:

Биз юкорида келтирилган маълумотлар асосида звалвентали тишли узатмаларни илашишидаги богкликлар тугрисида, узатмаларни илашиш тизимини IP дастури асосида анализ килиш, уларнинг технологияда кулланиш асослари ва тишларини шлифовка (силликлаш) килиш методлари тугрисида маълумотлар келтирилган.

## Фойдаланган адабиёт:

1. [www.google.ru](http://www.google.ru)
2. [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru)