

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. И. РАЗЗАКОВА

На правах рукописи

УДК 621.833.24: 621.914.5

**Самсалиев Анвар Амантаевич**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ  
ОСНАСТКИ ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНИЧЕСКИХ  
ПЕРЕДАЧ С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ**

Специальность 05.02.08 – «Технология машиностроения»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Бишкек-2005

Работа выполнена на кафедре «Автоматизация и робототехника» Кыргызского Национального Технического Университета им. И. Раззакова.

**Научные руководители**

доктор технических наук, профессор  
Усубаматов Р.Н.

доктор технических наук, профессор  
Муслимов А.П.

**Официальные оппоненты**

доктор технических наук, профессор  
Тусупбеков М. Р.

кандидат технических наук, доцент  
Самсонов В. А.

**Ведущая организация**

Институт машиноведения  
Национальной академии наук  
Кыргызской республики, г. Бишкек.

Защита состоится " 24 " июня 2005г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д.05.05288 при Кыргызском национальном техническом университете им. И. Раззакова по адресу: 720044, Бишкек, пр.Мира 66, Малый актовй зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КНТУ им.И. Раззакова

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 200\_г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д.05.05288

к.т.н. доц. У.К. Омуралиев

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Известно, что производство конических колес с круговыми зубьями выполняется на двух видах зуборезных станков, основанных на конусовершинных и плосковершинных производящих колесах. Конусовершинные производящие колеса дают теоретически правильную геометрию зубьев конических колес в пределах точности работы станков, за счет использования настройки наклоняющегося инструментального шпинделя на расчетный угол зацепления при использовании резцов с любыми значениями профильных углов. Но зуборезные станки этого вида конструктивно сложны, дорогие и не имеют широкого применения в машиностроении. Их выпускают в ограниченном количестве некоторые станкостроительные фирмы промышленно-развитых стран. Значительно шире применяются зуборезные станки с плосковершинным производящим колесом, конструктивно более простые, менее дорогие. Но такие станки не дают теоретически правильной геометрии зубьев колес, в связи, с чем фирмы, выпускающие эти зуборезные станки, снабжают потребителей руководящими материалами, позволяющие производить коррекции, снижающие погрешность изготовления зубьев колес [29,51]. Инструктивные материалы по использованию зуборезных станков с плосковершинным производящим колесом содержат два вида коррекции зубьев.

Первый вид коррекции производится зуборезным инструментом с резцами, имеющим разные углы профилей режущих кромок для нарезания вогнутой и выпуклой сторон круговых зубьев. Этот вид коррекции позволяет компенсировать часть отклонений профиля зубьев. Профили наклона режущих кромок резцов определяются в соответствии с ГОСТ 11902-66, ГОСТ 11906-66 СССР, сегодня – это ГОСТ Российской Федерации. Стандарты Европейского Сообщества в отношении рассматриваемых зуборезных головок и геометрии резцов аналогичны. Эти стандарты охватывают практически всю номенклатуру конических зубчатых колес с круговыми зубьями, учитывающие размеры, модули, углы наклона и число зубьев колес.

По причине широкого разнообразия геометрических параметров зубчатых колес зуборезные головки выпускаются с определенным номерным рядом номинального диаметра и нормализованным номерным рядом резцов с установленными отклонениями углов профиля режущих кромок.

Поскольку номерные резцы со ступенчатым размерным рядом не позволяют полностью компенсировать отклонения профилей круговых зубьев, инструктивными материалами предусматривается второй вид коррекции, путем наладочных установок исполнительных устройств зуборезных станков. В руководствах по эксплуатации станков приводятся схемы расчетов отклонения профилей зубьев по номограммам коррекции наладочных установок, позволяющие частично компенсировать отклонения профиля зубьев. Окончательная коррекция производится после операции обкатки конической

передачи на контрольно-обкатном станке методом эмпирического приближения путем последовательных проб и изменений наладочных установок станка, позволяющих получить форму зубьев приближенную к теоретически правильной геометрии зубьев. При этом, в основу приемки в эксплуатацию конической пары, положен критерий расположения и формы пятна контакта зацепления зубьев.

Из вышесказанного следует, что до настоящего времени не установлены точные аналитические зависимости коррекции круговых зубьев для станков с плосковершинным производящим колесом.

Таким образом, для выпуска конических передач с круговыми зубьями, отвечающим высоким требованиям к качеству зацепления, возникла необходимость разработки новых методов коррекции производства конических колес с круговыми зубьями и проведения теоретических и экспериментальных исследований, следовательно тема диссертационной работы, посвященная решению данной проблемы является весьма актуальной.

**Цель и задачи исследования** – создание технологии качественной обработки конических колес с круговыми зубьями на зубообрабатывающих станках путем:

- 1) разработки методов коррекции углов профиля зуборезного инструмента и наладочных параметров зуборезных станков путем исследования факторов, влияющих на отклонение профиля круговых зубьев, нарезанных плосковершинным производящим колесом;
- 2) синтеза кинематических связей обработки зубчатых колес;
- 3) программно – математическое обеспечение обработки конических передач на зуборезных станках.
- 4) создания высокопроизводительных способов и инструментов для зубонарезания;

**Методы исследований.** Теоретические исследования кинематических характеристик формообразования зубьев колес базировались на основных положениях теоретической механики, аналитической геометрии и теории механизмов и машин.

В экспериментальных исследованиях обработки конических колес на зуборезных станках, проверка качества зацепления конической пары определялось показаниями положения и размерами пятна контакта. Анализ и синтез элементов настройки эксцентрикового модификатора по новым зависимостям производился методом компьютерного моделирования и эксперимента.

**Научная новизна.** Разработана математическая модель обработки конических передач, позволяющая определить аналитические зависимости кинематики формообразования эвольвенты круговых зубьев конических передач методом обката на зуборезных станках, основанных на плосковершинных производящих колесах; определены формулы расчета профилей сторон резцов зуборезных головок для обработки конических

передач на зуборезных станках с упрощением методик вычисления параметров обработки.

Разработаны методы: расчета относительной ориентации зуборезной головки и конического колеса с учетом граничных параметров нарезания круговых зубьев на зуборезных станках, введения коррекции в осевое и гипоидное положение заготовки, учитывающих влияние множества факторов на станочное зацепление в расчетной точке, а также получены формулы расчета и настройки параметров эксцентрикового модификатора обкатки, обеспечивающего переменную синусоидальную зависимость отклонения угла профиля в процессе обкатки и программно-математическое обеспечение выбора величин коррекции.

**Практическая значимость полученных результатов.** Разработанные методы коррекции формы кругового зуба конических колес позволяют качественно обрабатывать колеса зуборезными головками с резцами разных величин, производить быструю, обоснованную и целенаправленную коррекцию обработки в соответствии с особенностями корректирующих устройств зуборезных станков. Полученная зависимость расчета углов профиля сторон резцов зуборезных головок позволяет упростить методы расчетов параметров, отказаться от многих поправок на специализированных зуборезных станках и являются основой для разработки новой системы номерных резцов.

Разработанный метод определения параметров настройки модификатора обкатки позволяет улучшить степень формирования правильной эвольвенты кругового зуба конического колеса, что повышает плавность, бесшумность передачи и увеличивает прочностные характеристики.

#### **Экономическая значимость полученных результатов.**

Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы в качестве коммерческого продукта при соответствующей заинтересованности предприятий в качественном нарезании конических передач с круговыми зубьями. Результаты исследования доказывают повышение качества и производительности изготовления конических передач: точность зубонарезания составляет 6-7 степень, штучное время обработки сократилось в 1,5-1,8 раза.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту**

- 1) результаты анализа зависимостей кинематики формообразования эвольвенты по выпуклой и вогнутой сторонам круговых зубьев конических колес методом обката на зуборезных станках; переменный характер изменения отклонения угла профиля в процессе обкатки пары нарезаемое - производящее колесо послужил основой для пересмотра формул расчета углов профилей сторон резцов зуборезной головки;
- 2) методы определения и назначения корректирующих коэффициентов в наладочные параметры зубообрабатывающих станков.

- 3) результаты аналитического исследования и вычислительного моделирования по определению параметров наладки эксцентрикового модификатора обкатки по новым полученным зависимостям;
- 4) о необходимости иметь переменную синусоидальную функцию изменения отклонения угла профиля от угла поворота производящего колеса для получения на всем протяжении участка профилирования правильной формы эвольвенты зуба, а не только в расчетной точке и вокруг него.

**Личный вклад соискателя.** Главы, где рассматриваются теоретические основы введения коррекции при нарезании конических колес с круговыми зубьями и экспериментальная проверка теоретических положений написаны в тесном сотрудничестве с Усубаматовым Р.Н.. Остальные разделы диссертации разработаны автором диссертации.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты работы докладывались и опубликованы в сборниках трудов двух Международных (в Вильнюсе и Севастополе), одной Республиканской научно-технической конференции (Бишкеке) и на первом съезде инженеров Кыргызской Республики, посвященных проблемам в машиностроительной промышленности в 1994-2000гг.

**Публикация результатов.** Опубликовано по теме диссертации 10 работ, в том числе две статьи в московских журналах и пять статей в республиканских журналах, два доклада и один тезис доклада в сборниках трудов конференций. Получено положительное решение на заявку-изобретение “Способ нарезания круговых зубьев конических колес”.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов, списка использованных источников и приложений, содержащих справочные материалы, программы. Работа содержит 136 страниц компьютерного текста, 48 рисунков, 5 таблиц, 129 наименований литературы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** приведены результаты обзора и анализа научно-технической литературы по теме диссертационной работы.

Синтезом конических зубчатых передач с понижающимися круговыми зубьями занимались многие ученые и, прежде всего Ф.Л.Литвин со своими учениками. За рубежом весьма известными являются компьютерные комплексы немецкой фирмы Клингельнберг и американской фирмы Глисон. Однако описание алгоритмов, на которых они построены, в открытой литературе практически отсутствует. Опубликованные материалы, как правило, носят рекламный характер или характер инструкций.

Анализ использования методик расчета параметров зуборезных головок и наладочных характеристик зуборезного станка при производстве конических колес с круговыми зубьями, изложенной в руководящих материалах ЭНИМСа показывает, что отсутствует определенная последовательность при назначении

корректирующих поправок в наладочные параметры зуборезного станка и инструмента, что вынуждает вводить и отыскивать дополнительные поправки после обкатки конической пары в зацеплении на контрольно-обкатном станке. Это объясняется тем обстоятельством, что при использовании расчетных зависимостей не учитываются многие факторы. К примеру, на сегодня отклонение профиля зуба рассчитывается по приближенной зависимости, которая включает только два параметра:  $\Delta\alpha = \text{tg}\theta_f \sin\beta_n$ , а именно  $\theta_f$ -угол ножки и  $\beta_n$ -угол наклона кругового зуба. Эта зависимость вошла в государственный стандарт по расчету углов профиля номерных резцов зуборезных головок.

Практика нарезания круговых зубьев конических колес номерными резцами, спрофилированными по указанной формуле, показывает что, коррекция формы зуба проводится частично, и диагональность контакта зуба не устраняется.

Проведенные исследования выявили, что отклонение угла профиля зуба имеет сложную зависимость и является функцией многих параметров. В общем виде это отклонение представляется в виде:  $\Delta\alpha = f(\theta_f, \beta_n, R_m, r, W, h_f, \alpha)$ . Углы профиля резцов имеют сложную зависимость, в которую входят семь геометрических параметров нарезаемого колеса.

Научные разработки проводились в научно – исследовательском институте «Физико – технических проблем» Кыргызского Национального Технического Университета им. И.Раззакова.

Выводы. Анализ состояния вопроса показывает, что для выпуска конических передач с круговыми зубьями, отвечающим высоким требованиям к качеству зацепления, необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований для выявления новых зависимостей профилирования эвольвенты зубчатой передачи и на их основе разработать методы коррекции.

**Вторая глава** посвящена теоретическому обоснованию и разработке новых методов коррекции по настройке и наладке зуборезных станков и инструмента.

В настоящее время отклонение профиля зуба рассчитывается по приближенной зависимости, которые включает только два параметра

$$\Delta\alpha_1 = \text{tg}\Theta_f * \sin\beta_n \quad (1)$$

Исследования факторов, влияющих на отклонение профиля круговых зубьев, нарезанных плосковершинным производящим колесом, показали переменную зависимость изменения угла профиля в процессе обкатки пары нарезаемое - производящее колеса. При этом отклонения углов профиля зуба для вогнутой и выпуклой сторон не равны по своим абсолютным значениям.

Предлагаемая зависимость определения величин отклонения профиля зуба имеет следующий вид.

$$\Delta\alpha = \arctg\left[\operatorname{tg}\theta_f \sin(\varphi_3 + \beta_n)\right] \mp \left[ \arctg \frac{\operatorname{tg}\alpha \cos \beta_n}{\cos \theta_f} - \arctg(\operatorname{tg}\alpha \cos \beta_n) \right],$$

$$\text{где } \varphi_3 = -\arccos \frac{A^2 + (R_m \cos \theta_f)^2 - r^2}{2AR_m \cos \theta_f} \pm \arccos \frac{A^2 + (R_m \cos \theta_f)^2 - (r \pm W/2 \pm h_f \operatorname{tg}\alpha)^2}{2AR_m \cos \theta_f} \quad (2)$$

где  $R_m$  – среднее конусное расстояние;  $\Theta_f$  – угол ножки зуба;  $A$  – радиус движения зуборезной головки;  $r$  – номинальный радиус зуборезной головки;  $W$  – величина развода резцов;  $\alpha$  – угол профиля зуба плоского колеса;  $h$  – высота ножки зуба. Знаки ( $\mp$ ): – верхний – для вогнутой, нижний – для выпуклой сторон зуба.

На рис.1. представлены графические изображения отклонения  $\Delta\alpha(\varphi)$  по формуле предлагаемой в настоящей работе (2), по следующим исходным данным:  $A = 45,88747\text{мм}$ ;  $r = 44,45\text{мм}$ ;  $R_m = 53,639607\text{мм}$ ;  $\theta_f = 4,141189^\circ$ ;  $\delta_a = 49,14^\circ$ ;  $\delta_f = 40,86^\circ$ ;  $h_f = 3,0045623\text{мм} = h_a$ ;  $\delta = 45^\circ$ ;  $\beta_n = 35^\circ$ ;  $W = 1\text{мм}$ .

Отклонение профиля зуба имеет место по всей высоте зуба. Для получения более точного профиля зуба необходимо изменить геометрию режущих кромок резцов зуборезной головки. Компенсируемое поправочное отклонение профиля зубьев резцов в этом случае должно быть рассчитано по формуле (2) при условии, что режущие кромки будут проходить точку полюса зацепления пары: нарезаемое – производящее колесо.

Анализ величин отклонения профиля зуба, рассчитанных по принятой в машиностроении зависимости (1) и по уточненной зависимости (2), показывает на существенные расхождения величин отклонения в абсолютных значениях, как для вогнутой, так и для выпуклой сторон кругового зуба. Для наглядности на рис.1. представлены графики отклонения угла профиля кругового зуба  $\Delta\alpha$  в зависимости от изменения одного параметра – величины угла ножки зуба  $\Theta_f$  при одинаковых исходных геометрических параметрах колеса. Графики рассчитаны по двум вариантам, а именно – по принятой в машиностроении зависимости  $\Delta\alpha$  (1) и по новым уточненным зависимостям для вогнутой  $\Delta\alpha_1$  и выпуклой  $\Delta\alpha_2$  сторон кругового зуба (2).

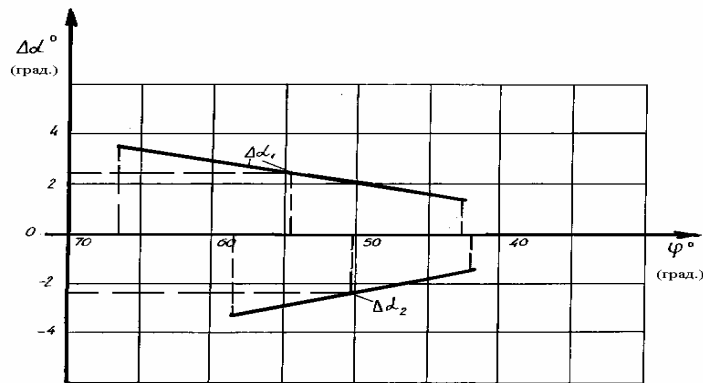


Рис.1. График зависимости отклонения угла профиля  $\Delta\alpha$  от угла обката  $\varphi$ .

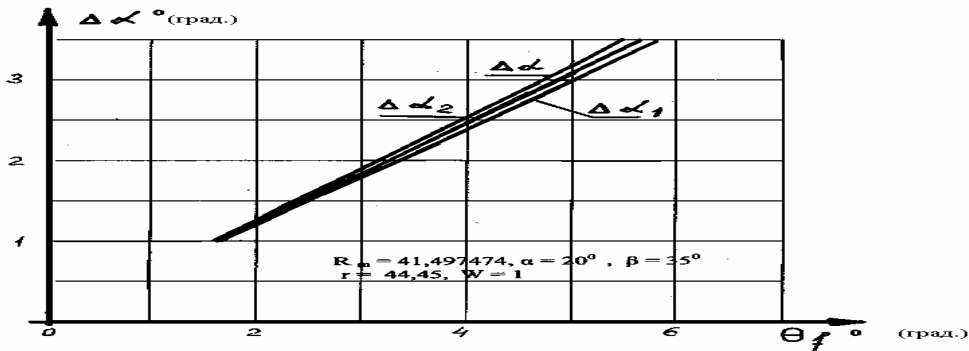


Рис.2. График отклонения угла профиля  $\Delta\alpha$  в зависимости от угла ножи  $\theta_f$

Теоретические положения о неравенстве углов отклонения профиля зуба по его вогнутой и выпуклой сторонам по абсолютным значениям подтверждаются практически.

Зубчатые передачи, обработанные резцами зуборезных головок и режущие кромки которых спрофилированы по новым зависимостям, дают правильное пятно контакта в зацеплении пары. Это обстоятельство может служить основанием для пересмотра известных положений и разработки новой нормативно-технической документации на геометрию номерных резцов зуборезных головок. С целью сокращения номенклатуры используемых номерных резцов в дальнейшем целесообразна разработка новых методик по настройке и наладке зуборезных станков на основе вышеизложенных положений для получения необходимой геометрии и правильного расположения пятна контакта в зацеплении зубчатой передачи.

Известно, что корректирование движения обкатки в зуборезных станках для нарезания конических колес с круговыми зубьями является основным средством воздействия на поверхности зубьев нарезаемой шестерни в целях придания им преднамеренных отклонений для получения надлежащих размеров, формы пятна контакта и устранения отклонений, нарушающих зацепление.

Введение коррекции в настройку и наладку зуборезного станка позволяет ликвидировать разницу между расчетным углом  $\Delta\alpha_{p,2}$  по выпуклой и вогнутой сторон кругового зуба и ступенчатым номерным рядом углов профиля резцов зуборезного инструмента.

Введение осевого смещения. При корректировании движения обкатки происходит изменение угла зацепления, влияющего на форму поверхности эвольвенты кругового зуба.

Изменение угла зацепления при введении положительного осевого смещения ( $+ \Delta R$ ) характеризуется новым углом профиля резца  $\alpha_x$ :

$$\alpha_x = \arccos \left[ \frac{(R_m + \Delta R) * \operatorname{tg} \delta \cos^2 \beta \cos \alpha}{(R_m + \Delta R) * \operatorname{tg} \delta - \Delta R \operatorname{tg} \left( \delta - \arcsin \left( \frac{R_m \sin \delta}{R_m + \Delta R} \right) \right) \cos^2 \beta'} \right], \quad (3)$$

где  $\delta$  - угол делительного конуса;  $\beta'$  - изменение угла спирали определяется по ранее известной формуле

$$\beta' = \arcsin \left( \frac{1}{2r} \left[ (R_m - \Delta R) + \frac{R_m}{R_m - \Delta R} (2r_u \sin \beta - R_m) \right] \right)$$

Новый угол профиля резца  $\alpha_x$  при введении отрицательного осевого смещения  $(-\Delta R)$  будет следующим:

$$\alpha_x = \arccos \left[ \frac{(R_m + \Delta R) \operatorname{tg} \delta \cos^2 \beta \cos \alpha}{(R_m + \Delta R) \operatorname{tg} \delta + \Delta R \operatorname{tg} \left( \arcsin \left( \frac{R_m \sin \delta}{R_m - \Delta R} \right) - \delta \right) \cos^2 \beta'} \right], \quad (4)$$

где  $\beta'$  по уже известной формуле

$$\beta' = \arcsin \left( \frac{1}{2r} \left( (R_m + \Delta R) + \frac{R_m}{R_m + \Delta R} (2r_u \sin \beta - R_m) \right) \right)$$

Совместим в один график (рис. 3.) изменение угла профиля  $\alpha_x$  при введении отрицательного и положительного осевого смещения стола зуборезного станка и проанализируем.

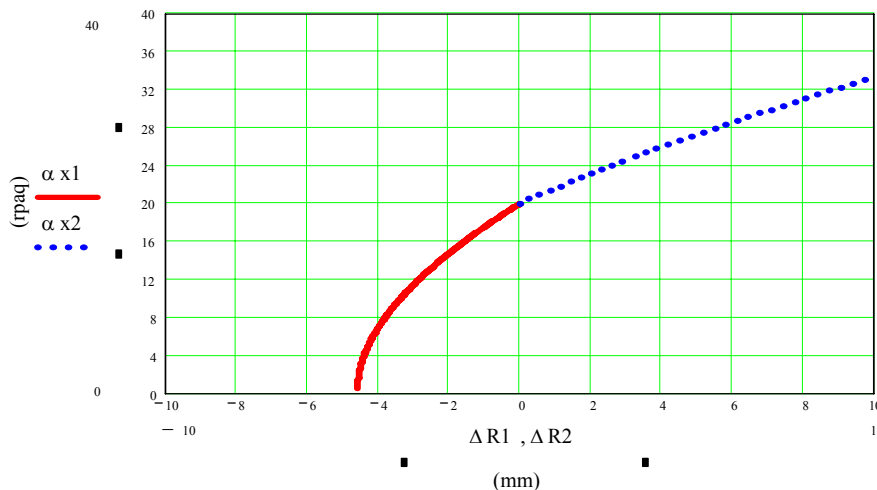


Рис.3. Влияние отрицательного и положительного смещения  $\mp \Delta R$  на искомый угол профиля  $\alpha_x$

Анализ графика показывает, что существует неоднозначная, нелинейная зависимость между изменением угла зацепления и введением осевого

смещения, который изменяется при различном исходном номере реза зуборезной головки и неодинаково ведет себя при введении отрицательного и положительного осевых смещений, чем можно объяснить существующие затруднения в назначении корректирующих поправок в осевое смещение стола зуборезного станка.

Введение гипоидного смещения. Для выяснения влияния гипоидного смещения  $\Delta E$  на изменение угла профиля  $\Delta\alpha$  используем теорию винтового движения, так как при гипоидном смещении оси нарезаемого и производящего колес не пересекаются, а скрещиваются на наименьшем расстоянии, равном величине гипоидного смещения  $\Delta E$ . Относительное движение между ними в этом случае будет винтовым и определяется мгновенной осью вращения - скольжения и параметром винта  $p$ .

Отклонение угла профиля реза зуборезной головки  $\Delta\alpha$  в зависимости от введения коррекции в гипоидное смещение  $\Delta E$  будет вычисляться по следующей формуле

$$\pm \Delta\alpha = \frac{\mp \Delta E \sin \delta_c \sin(\delta - \theta_f) * \operatorname{tg} \beta' \cos^2 \beta}{R_m \operatorname{tg} \delta \sin(\delta_c + \delta - \theta_f) * \operatorname{tg} \alpha} \quad (5)$$

где  $\delta_c$  - межосевой угол передачи,  $\beta'$  - находится в соответствии с формулами

$$\cos \beta'_i = \frac{V + \Delta E}{2r}, \quad \cos \beta'_e = \frac{V - \Delta E}{2r}, \quad V = 2r \cos \beta$$

Знаки ( $\pm$ ) ставятся в соответствии с принципом  $r \cos \alpha = \uparrow r_x \cos \alpha_x \downarrow$

Графическое изображение полученных зависимостей угла профиля резцовой головки от введения гипоидного смещения в наладку зуборезного станка показано на рис.4.. Из графика видно, что положительное и отрицательное гипоидное смещения различно влияют на угол профиля резцовой головки.

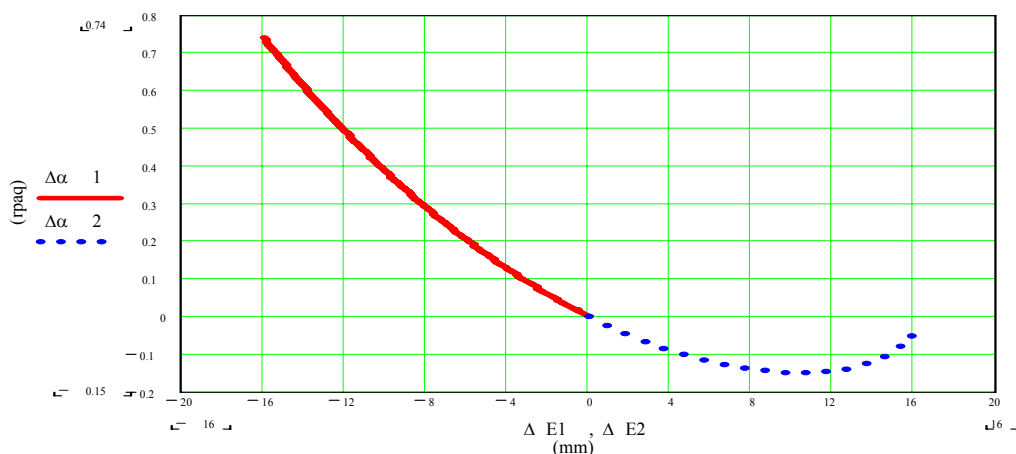


Рис.4. Зависимость изменения отклонения угла профиля  $\Delta\alpha$  при введении отрицательного и положительного гипоидного смещения.

Использование эксцентрикового модификатора обкатки. Постоянная скорость относительного движения при обкатке не всегда обеспечивает желаемое качество зацепления даже при введении корректур. Более широкие

возможности в этом отношении достигаются применением переменной скорости обкатки, переменного угла зацепления или модификацией обкатки.

Если коррекция, вводимая в осевое и гипоидное положение заготовки, изменяли углы  $\alpha$  и  $\beta$  на постоянную величину, то при модификации обкатки  $\alpha$  и  $\beta$  изменяются непрерывно в процессе обкатки по синусоидальному закону в функции от переменного угла фазы  $\Phi$ .

Имея в виду, что механизм модификации обкатки обеспечивает дополнительное синусоидальное движения непрерывно в процессе обкатки и его влияние на отклонение угла профиля  $\Delta\alpha_M$  в общем случае описывается следующей зависимостью.

$$\Delta\alpha_M = E * \sin(\Phi_M + \Phi), \quad (6)$$

где,  $E$  – эксцентриситет ролика модификатора,  $\Phi_M$  – сдвиг фазы установки эксцентриситета ролика модификатора,  $\Phi$  – угол фазы обкатки непрерывно изменяющийся при нарезании каждого зуба. Как видно из формулы (6) движение модификатора имеет синусоидальный характер с определенной амплитудой и сдвигом фазы. Установим связь между зависимостью движения модификатора описываемым формулой (6) и изменением отклонения угла профиля  $\Delta\alpha$  по вогнутой стороне зуба характеризуемым формулой (7). Для решения этой задачи на основе анализа предыдущих формул, получены зависимости в графическом виде с помощью программирования на MathCade 2000 Professional, которые приведены ниже: (7,8,9)

$$\Delta\alpha_{11i} := \frac{180}{\pi} \cdot \text{atan}[\tan(\theta_f \cdot p) \cdot \sin[(\psi_{31i} - N_1 + \beta_n) \cdot p]] - (KL) \quad (7)$$

Смоделируем и получим график синусоиды при соответствующей амплитуде

$$\Delta\alpha_{11i} := \Delta\alpha_{11\max} \cdot \sin[(\psi_{31i}) \cdot p] \quad (8)$$

Математическую модель можно описать следующим образом

$$\Delta\alpha_{111i} := \Delta\alpha_{11\max} \cdot \sin\left[\left(\psi_{31i} - \frac{\beta_n + kf_1}{2}\right) \cdot p\right] \quad (9)$$

Для сравнения зависимостей отклонения угла профиля  $\Delta\alpha_{11}$ ,  $\Delta\alpha_{111}$  и  $\Delta\alpha_{1111}$  описываемых соответственно формулами (7), (8) и (9) сведем все графики в один рисунок (рис.6.). Как показывает анализ графиков, произошло полное совпадение функций  $\Delta\alpha_{11}$  и  $\Delta\alpha_{1111}$  при изменяющемся параметре  $\psi_{31}$  - угле поворота производящего колеса на участке профилирования зуба конического колеса и некоторое различие на участке от  $240^0$  до  $320^0$ , которое существенным образом не влияет на формирование эвольвенты зуба, поэтому им можно пренебречь. Для наглядности дадим графики:  $\Delta\alpha_{11}(\psi_{31})$  - расчетной величины отклонения угла профиля и  $\Delta\alpha_{1111}(\psi_{31})$  - выведенной зависимости настройки модификатора обкатки в диапазоне углов начала и конца профилирования эвольвенты зуба конического колеса для вогнутой стороны (рис.7.). Как видно из графика имеется полное совпадение двух зависимостей, расчетной и выведенной, в диапазоне профилирования эвольвенты зуба.

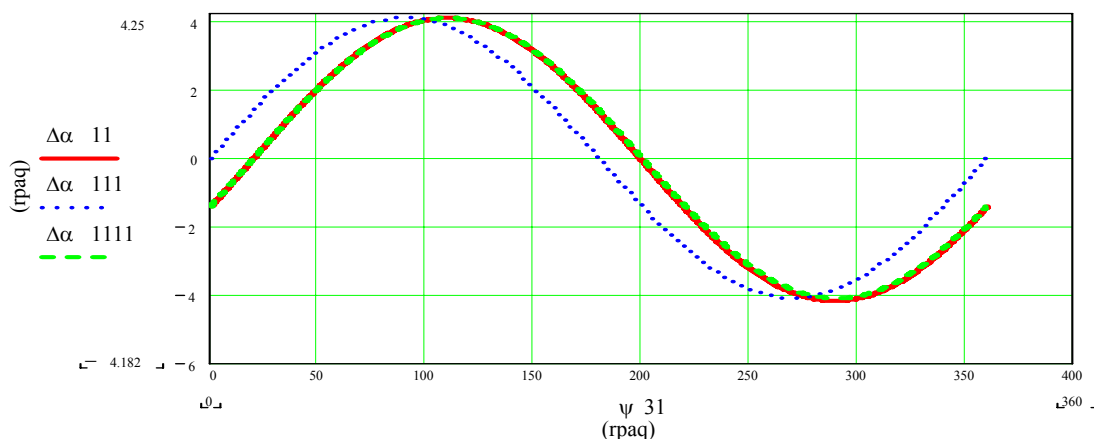


Рис.6. Сравнительные графики отклонений угла профиля по вогнутой стороне зуба, описываемых различными зависимостями:  $\Delta\alpha_{11}$  - формула (7),  $\Delta\alpha_{111}$  - формула (8),  $\Delta\alpha_{1111}$  – формула (9).

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что выведенная формула (9) настройки модификатора обкатки при нарезании вогнутой стороны зуба, удовлетворяет условию получения на выходе переменной синусоидальной зависимости отклонения угла профиля в процессе обкатки пары нарезаемое – производящее колеса. Поэтому можно поставить соответствие между параметрами настройки модификатора обкатки (формула (6) и (9)). Получаем следующее соответствие для вогнутой стороны зуба:  $E = \Delta\alpha_{11\max}$ ;  $\Phi_m = (\beta_n + kf1)/2$ ;  $\Phi = \psi_{31}$ , где  $E$  - характеризует амплитуду колебаний или эксцентриситет ролика модификатора; посредством  $\Phi_m$  подбираем угол сдвига фазы,  $\Phi$  - угол обкатки пары нарезаемое – производящее колеса, изменяющийся в пределах от  $0^0$  до  $360^0$ .

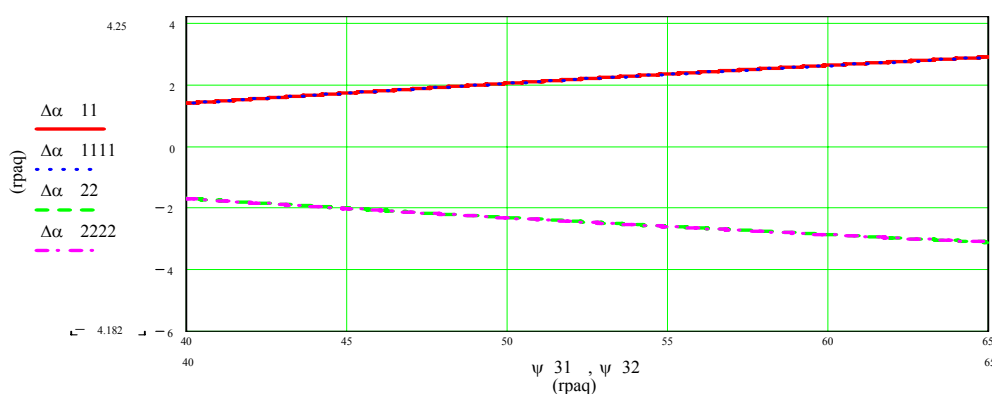


Рис.7. Графики  $\Delta\alpha_{11}$  и  $\Delta\alpha_{22}$  - кривые теоретических исследований отклонений угла профиля по вогнутой и выпуклой стороне в диапазоне профилирования эвольвенты зуба, графики  $\Delta\alpha_{1111}$  и  $\Delta\alpha_{2222}$  – кривые моделирования настройки модификатора обкатки для получения расчетных отклонений угла профиля по вогнутой и выпуклой стороне зуба

Методика расчета отклонений элементов поверхности круговых зубьев конических колес при введении коррекции. Корректирование движения обкатки, изменения параметров инструмента при нарезании конических колес с круговыми зубьями плосковершинным производящим колесом дает отклонение в геометрии поверхностей зуба. Имеется 6 элементов, характеризующие качество нарезания зубчатых пар и погрешности формы зубьев; отклонение угла зацепления  $\Delta\alpha_{nx}$ , отклонение кривизны профиля зуба  $\Delta\xi$ , коэффициент изменения кривизны профиля линии зуба  $D$ , коэффициент изменения угла профиля вдоль линии зуба  $\sigma$ , отклонение направления линии зуба  $\Delta\beta_x$ , отклонение кривизны линии зуба  $\Delta\aleph$ .

Анализ полученных зависимостей и графиков дает основания для разработки уточненных параметров оценки отклонений формы круговых зубьев конических колес

$$\Delta\alpha = \arctg \left( \operatorname{tg} \theta_f \sin(\varphi - \varphi_1 + \beta_n) \mp \left[ \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha \cos \beta_n}{\cos \theta_f} - \arctg(\operatorname{tg} \alpha \cos \beta_n) \right] \right), \quad (10)$$

$$\text{где } \varphi = \arccos \frac{A^2 + (R_m \cos \theta_f)^2 - (r \pm W/2 \pm htg\alpha)^2}{2AR_m \cos \theta_f}.$$

Отклонение угла в заданной точке профиля в среднем сечении зуба:

$$\Delta\alpha_{nx} = \pm \operatorname{tg} \theta_f \sin(\arccos(r_b/r_x) \sin \delta / \cos \theta_f - \varphi_1 + \beta_n) \mp \left[ \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha \cos \beta_n}{\cos \theta_f} - \arctg(\operatorname{tg} \alpha \cos \beta_n) \right] \quad (11)$$

Отклонения кривизны профиля зуба представляется в виде

$$\Delta\xi = \frac{H}{r_b \cos \alpha \left[ \frac{H\gamma}{\cos^2(\gamma + \alpha \pm \Delta\alpha)} + \operatorname{tg}(\gamma + \alpha \pm \Delta\alpha) \right]}, \quad (12)$$

$$\text{где } H = \left( \pm \operatorname{tg} \theta_f \cos \left( \frac{\sin \delta}{\cos \theta_f} \gamma - \varphi_1 + \beta_n \right) \frac{\sin \delta}{\cos \theta_f} \right).$$

Коэффициент изменения угла профиля вдоль линии зуба

$$D = \left( \pm \operatorname{tg} \theta_f \cos \left( \frac{\cos \delta}{\cos \delta_f} + \beta_x \right) \pm \frac{\operatorname{tg} \alpha \sin \beta_x \cos \theta_f}{\cos^2 \theta_f + \operatorname{tg} \alpha \cos \beta_x} + \frac{\operatorname{tg} \alpha \sin \beta_x}{(1 + (\operatorname{tg} \alpha \cos \beta_x)^2)} \right) \frac{2 - \cos \theta_f}{2r\sqrt{1 - w^2}}, \quad (13)$$

$$\text{где } \omega = \frac{r^2 + (R_x \cos \theta_f)^2 - A^2}{2rR_x \cos \theta_f}.$$

Коэффициент изменения кривизны профиля вдоль линии зуба

$$\sigma = \frac{(\pm \Delta\alpha AB \cos^2 \psi)(r_b \cos \alpha ((1 \pm \gamma FA) + (\sin 2\psi)/2) - (1 \pm FA)(r_b \cos \alpha [\mp \Delta\alpha A \gamma + \cos 2\psi D]))}{1(r_b \cos \alpha [1 \pm \gamma FA + (\sin 2\psi)/2])^2}, \quad (14)$$

$$\text{где } A = \sin \delta / \cos \theta_f, \beta_x = \arcsin \omega, F = \operatorname{tg} \theta_f \cos(\cos \delta / \cos \delta_f + \beta_x),$$

$$B = (2 - \cos \theta_f) / 2r\sqrt{1 - \omega^2}, \psi = \gamma + \alpha \pm \Delta\alpha, \gamma = \arccos(r_b/r_x),$$

$$\Delta\alpha = \operatorname{tg}\theta_f \sin(\cos\delta / \cos\delta_f + \beta_x) \mp \left( \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg}\alpha \cos\beta_x}{\cos\theta_f} - \operatorname{arctg}(\operatorname{tg}\alpha \cos\beta_x) \right).$$

Отклонения направления линии зуба  $\Delta\beta_x$  в зависимости от отклонения профиля зуба имеем.

$$\Delta\beta = \pm \operatorname{tg}\alpha (\operatorname{tg}\Delta\alpha * \operatorname{tg}\beta_n + \operatorname{tg}\theta_f * \cos\beta_n) \quad (15)$$

Отклонение кривизны линии зуба определяется по формуле

$$\Delta\aleph = \pm \operatorname{tg}\alpha \left( \frac{D \operatorname{tg}\beta_x}{\cos^2 \Delta\alpha} + \frac{B \operatorname{tg}\Delta\alpha}{\cos^2 \beta_x} - \beta \operatorname{tg}\theta_f \sin\beta_x \right), \quad (16)$$

где D, B – приведены в предыдущих формулах.

Полученные формулы (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16) отклонений элементов поверхности кругового зуба конического колеса позволяют по-новому оценить качество нарезания зубчатых пар, поведение и параметры пятна контакта и могут послужить ограничивающими условиями при расчете наладок станков.

**Третья глава** содержит разработку алгоритмов расчета параметров резцовых головок и наладочных характеристик зуборезного станка.

Имеется большое разнообразие методик расчета наладочных данных зуборезных станков. К примеру, разработаны пакеты компьютерных программ для нарезания конических передач с круговыми зубьями, среди них, программный комплекс «Волга», выполненный под руководством М.Г. Сегалю, «Эксперт», созданный в «Станкине», известны компьютерные комплексы немецкой фирмы Клингельнберг и американской фирмы Глисон.

Указанное многообразие методик расчета, подходов к решению одной и той же задачи можно рассматривать как аргумент нерешенности многих проблем зацепления конических передач, формообразования круговых зубьев конических колес, нарезанных плосковершинным производящим колесом.

В связи с вышеизложенным проведено теоретическое исследование по данной проблеме и получены новые зависимости по: расчету углов профиля резцов зуборезной головки, введению осевого и гипоидного смещения в положение заготовки, расчету параметров настройки модификатора обкатки, а также были разработаны инженерные методики введения коррекции в наладочные данные станка и расчет параметров резцовых головок.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальной проверке методов коррекции в производстве конических колес с круговыми зубьями.

Результаты теоретических исследований, выявившие новые зависимости углов профиля  $\alpha$  по вогнутой и выпуклой сторон зуба, закономерности при назначении корректирующих поправок в осевое и гипоидное смещение стола зуборезного станка, были экспериментально проверены в производственных условиях завода АО «Электротехник».

Для наладки и настройки зуборезного полуавтомата на обработку экспериментальной конической передачи на основе инженерных методик

расчета параметров зуборезных головок и наладочных данных зуборезного станка, изложенной в третьей главе, была составлена карта наладки по которой настраиваются все исполнительные механизмы и управляющие органы станка.

Экспериментальная коническая передача показан на чертеже рис.8.. Для проверки теоретических положений о неравенстве углов профиля по вогнутой и выпуклой сторон зуба при использовании первого метода коррекции, рассчитаны и изготовлены специальные резцы зуборезной головки, внешний угол профиля которой равен -  $17^{\circ}28'38''$ , а внутренний -  $22^{\circ}36'15''$ . Остальные параметры резца показаны на чертеже рис.9.. После обработки конических колес на зуборезном полуавтомате 5С270П (рис. 10.) были получены конические пары с круговыми зубьями, отвечающие высоким требованиям качества по пятну контакта.

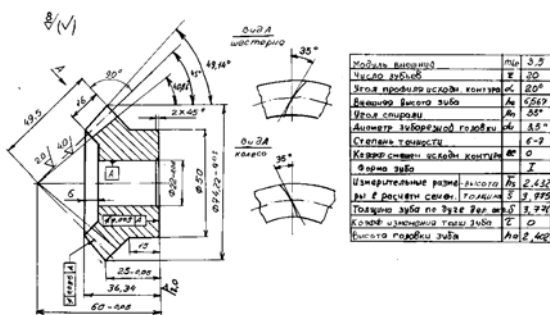


Рис.8. Коническая передача с круговыми зубьями

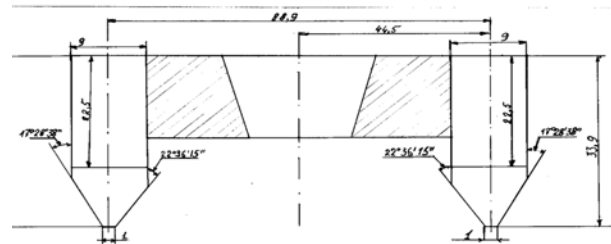


Рис.9. Экспериментальная зуборезная головка с углом профиля резца спроектированному по новым расчетным зависимостям

Известно, что главным критерием контроля качества изготовления конических передач с круговыми зубьями является наличие требуемой формы и правильного расположения пятна контакта. Для проверки по критерию пятна контакта была обкатана экспериментальная коническая передача (рис. 11.) в

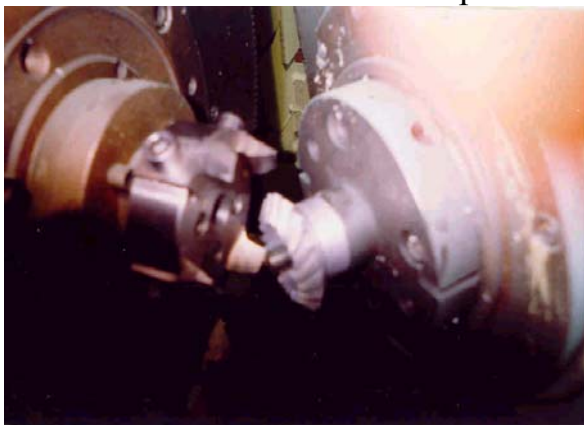


Рис.10. Процесс обработки конических колес.



Рис. 11. Проверка пятна контакта после обкатки конической передачи.

приспособлении с малой нагрузкой, когда по следу типографской краски, нанесенной на колесо, на боковой поверхности шестерни можно судить о

форме и расположении пятна контакта. Анализ пятна контакта показывает, что она имеет центральное расположение и форма ее занимает по длине 60%, а по её высоте 40%. Такие показатели пятна контакта характеризуют оптимальную форму и отвечают самым высоким эксплуатационным требованиям.

## Заключение

Основные выводы и результаты по работе следующие:

1. Анализ величин отклонения профиля зуба, рассчитанных по принятой в машиностроении зависимости (1) и по уточненной зависимости (2), показывает на существенные расхождения величин отклонения в абсолютных значениях, как для вогнутой, так и для выпуклой сторон кругового зуба, что заставляет пересмотреть существующие расчеты погрешности геометрии зуба и методики их коррекции, используемых как руководства в производственных условиях.

2. Полученные формулы профилирования сторон резцов зуборезных головок позволили разработать новые положения по выбору номеров резцов для качественной обработки конических передач на зуборезных станках. Выявлено, что отклонение профиля зуба имеет место по всей высоте зуба. Доказано, что для получения более точного профиля зуба необходимо изменить геометрию режущих кромок резцов зуборезной головки. Компенсируемое поправочное отклонение профиля зубьев резцов в этом случае должно быть рассчитано по формуле (2) при условии, что режущие кромки будут проходить точку полюса зацепления пары: нарезаемое – производящее колеса. Зубчатые передачи, обработанные резцами зуборезных головок, режущие кромки которых спрофилированы по новым зависимостям, дают правильное пятно контакта в зацеплении пары.

3. Получены аналитические зависимости расчетов граничных параметров профилирования конических колес с круговыми зубьями, оценки отклонений элементов поверхности круговых зубьев конических колес при введении коррекции, что позволяют по-новому оценить качество нарезания зубчатых пар.

4. Выведенные зависимости угла зацепления  $\alpha_x$  производящего и нарезаемого колес в процессе обкатки от введения осевого  $\Delta R_{1,2}$  и гипоидного смещения  $\Delta E_{1,2}$  позволило целенаправленно и обоснованно вводить коррекцию в настройку и наладку зуборезного полуавтомата, для обеспечения высокого качества эвольвентного зацепления, отвечающим требованиям по пятну контакта.

5. Разработаны методы определения корректирующих коэффициентов эксцентрикового модификатора обкатки, обеспечивающего переменную синусоидальную зависимость отклонения угла профиля в процессе обкатки. Доказано что настройкой модификатора обкатки отдельно по вогнутой и выпуклой сторонам зуба возможно получение заданного переменного

отклонения угла профиля в диапазоне профилирования эвольвенты зуба для качественного нарезания конических передач с круговыми зубьями.

6. Разработано программно-математическое обеспечение обработки конических передач на зуборезных станках включающее: методики расчета данных и параметров обработки передач при введении угловой коррекции инструмента, коррекции осевого и гипоидного смещений стола, корректирующих поправок в наладку модификатора обкатки; методики и программы расчета корректирующих поправок в наладочные данные зуборезного станка.

7. Результаты экспериментальных исследований обработки конических передач с круговыми зубьями на зуборезном станке подтверждают разработанные теоретические положения кинематики формообразования зубьев.

8. Доказано, что использование предлагаемых методик настройки зуборезных станков повысило качество и производительность изготовления конических передач: точность зубонарезания составило 6-7 степень, штучное время обработки сократилось в 1,5-1,8 раза.

#### Список опубликованных работ

1. Усубаматов Р.Н., Самсалиев А.А. Программная коррекция формы зубьев в процессе обработки передач. Сб. трудов Международной конференции по механике «Механика'94». Вильнюс, 1994.-С.41-45
2. Усубаматов Р.Н., Самсалиев А.А. Повышение точности нарезания круговых зубьев конических колес //Современные проблемы машиностроения и технический прогресс: Тез.докл.конф. – Севастополь, 1996. – С.276.
3. Усубаматов Р.Н., Самсалиев А.А. Расчет углов профиля резцов зуборезных головок. – Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1997.- №10-12.-С.103-107.
4. Самсалиев А.А. Анализ схем ориентирования колеса и инструмента в координатных системах станков с ЧПУ. – Вестник технического университета. 1997.- №1.-С.23-28.
5. Самсалиев А.А. Повышение точности нарезания круговых зубьев конических колес на обычных зуборезных станках. – Вестник технического университета. 1998.- №1.-С.17-22.
6. Усубаматов Р.Н., Самсалиев А.А. Новый подход к определению номерных резцов для нарезания круговых зубьев конических колес. – Техника машиностроения. 2000.- №3.-С.48-49.
7. Самсалиев А.А. Нарезание высококачественных конических колес с круговыми зубьями для горных машин. Сб. трудов научно-практической конференции «Наука и наукоемкие горные технологии». Бишкек.- 2000.- С.128-130.

8. Усубаматов Р.Н., Самсалиев А.А. Анализ новых подходов введения коррекции при нарезании конических колес с круговыми зубьями. – Наука и новые технологии.-2002.- №1.- С.112-114.
9. Самсалиев А.А. Методика расчета отклонений элементов поверхности круговых зубьев конических колес при введении коррекции. //Известия Кыргызского национального технического университета им. И. Раззакова.-2005.- №7- С.60-65.
10. Усубаматов Р.Н., Самсалиев А.А. Предпосылки к разработке новых методик нарезания конических колес с круговыми зубьями. //Известия Кыргызского национального технического университета им. И. Раззакова.-2005.- №7 С.65-68.

Корутунду

Самсалиев Анвар Амантаевичтин

Тегеректщц тиштерменен конустуу передачаларды сапаттуу даярдоо боюнча коррекциянын методторын жана аспаптардын жабдуулуктарын иштеп табуу жумушуна

Кесипчилик 05.02.08

Тегеректщц тиштерменен конустуу передачалар, тишкесщц тестерлер жана аспаптар, эвольвентанын формасын тщцщц, ёздоо, коррекциялоо, учтары тийишип турган жердин тактары, тактык.

Бул диссертациялык жумуш жабы теоретикалык мазмуну менен таянган тегеректщц тиштердин эвольвентанын формасын тузуу боюнча конустуу передачаларды сапаттуу даярдоого коррекциянын методторын жана аспаптардын жабдуулуктарын иштеп табуусына арналган.

Жумуштун жыйынтыгы болуп математикалык моделдери жана осько же гипойдго жылдыруу киргизуу, обкатканын эксцентрикалык модификатордын ёлчёмщнё ёздоо киргизщц жана тишкесуу головканын профилинин бурчтарына коррекциялык ёзгёртщцлёрунун кёлёмун эсептёё алгоритмдерин тщцщц болуп эсептелет.

Бул иштелип чыккан математикалык моделдери жана эсептёё алгоритмдери машинекурууда жогорку тактыктагы тегерек тиштуу конустуу передачаларды курууда кеъири колдонулушу мумкун.

Резюме

Самсалиев Анвар Амантаевич

Разработка методов коррекции и инструментальной оснастки для качественного изготовления конических передач с круговыми зубьями

Специальность 05.02.08

Коническая передача с круговыми зубьями, зуборезный станок и инструмент, формообразование эвольвенты, наладка, коррекция, пятно контакта, точность.

Диссертационная работа посвящена разработке методов коррекции и инструментальной оснастки для качественного изготовления конических передач на основе новых теоретических положений формообразования эвольвенты кругового зуба.

Результатами работ являются создание математических моделей и алгоритмов расчета величин корректирующих поправок в осевое и гипоидное смещение, наладочные параметры эксцентрикового модификатора обкатки и углы профиля зуборезной головки.

Разработанные модели и алгоритмы расчета могут быть широко использованы при создании высокоточных конических передач с круговыми зубьями в машиностроении.

The resume  
of Mr. Samsaliev Anvar Amantaevich

Working of the correction methods and tool rigging for qualitative making of the conical gearings with circular teeth.

Specialty 05.02.08.

Conical gearing with circular teeth, gear cutting machine and tool, forming of evolvent, setting up, correction, contact spot, accuracy.

The Dissertation is devoted to working of the correction methods and tool rigging for qualitative making of the conical gearings on the basis of new theoretical positions of forming of circular tooth evolvent.

Creation of mathematical models and algorithm of quintile calculation correcting modifications in the axled and hypoid displacement, the fixing operation factors of the eccentric modifier of the rolling and angles of thread gear-cutting capping are results of this dissertation.

Worked out the methods and the algorithms of calculation can be extensively used at the creation of high-accuracy conical gearings with circular teeth in mechanical engineering.