

*МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Гусеничные машины и прикладная механика»

**ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС  
С НАРУЖНЫМИ ЗУБЬЯМИ С ПОМОЩЬЮ РЕЙКИ**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы  
по курсам «Теория механизмов и машин», «Прикладная механика»  
для студентов направлений:  
190109.65, 190110.65, 150700.62,  
151900.62, 190600.62; 140400.62;  
220400.62; 220700.62; 221700.62; 222000.62

Курган 2013

Кафедра «Гусеничные машины и прикладная механика»

Дисциплины: «Теория механизмов и машин» (190109.65, 190110.65, 150700.62, 151900.62, 190600.62; 190700.62);  
«Прикладная механика» (140400.62, 220400.62, 220700.62; 221700.62; 222000.62).

Составил: канд. техн. наук, доцент Н. Н. Крохмаль

Утверждены на заседании кафедры «11» апреля 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета «2» октября 2013 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Зубчатые передачи делятся по видам зацеплений на эвольвентные, циклоидные, октоидные и др. Форма зубьев венца зубчатого колеса определяется исходным контуром данного вида зацепления, а также рядом геометрических размеров станочного зацепления.

**Цели работы** – изучение принципа изготовления поверхностей зубьев эвольвентных цилиндрических зубчатых колес и овладение навыками расчета геометрических параметров зубчатых колес.

**Оборудование и принадлежности:** прибор ТММ-42, калькулятор, карандаш.

### 1 ПРИНЦИП ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ ОБКАТКИ

Нарезание эвольвентных профилей методом обкатки является наиболее распространенным способом изготовления зубчатых колес. Режущим инструментом в этом случае может быть зубчатая рейка, червячная фреза или долбяк в форме шестерни. Нарезание колес производится, соответственно, на зубострогальном, зубофрезерном или зубодолбежном станках.

При нарезании зубчатого колеса методом обкатки режущий инструмент и заготовка получают относительное движение такое же, как при зацеплении зубчатой рейки (или колеса) с колесом (рисунок 1). Начальная прямая рейки при нарезании перекачивается по делительной окружности заготовки (движение обкатки). Кроме этого рейка совершает поступательное движение вдоль оси заготовки (движение резания). Профиль зуба получается как огибающая профиля рейки в нескольких последовательных ее положениях относительно колеса.

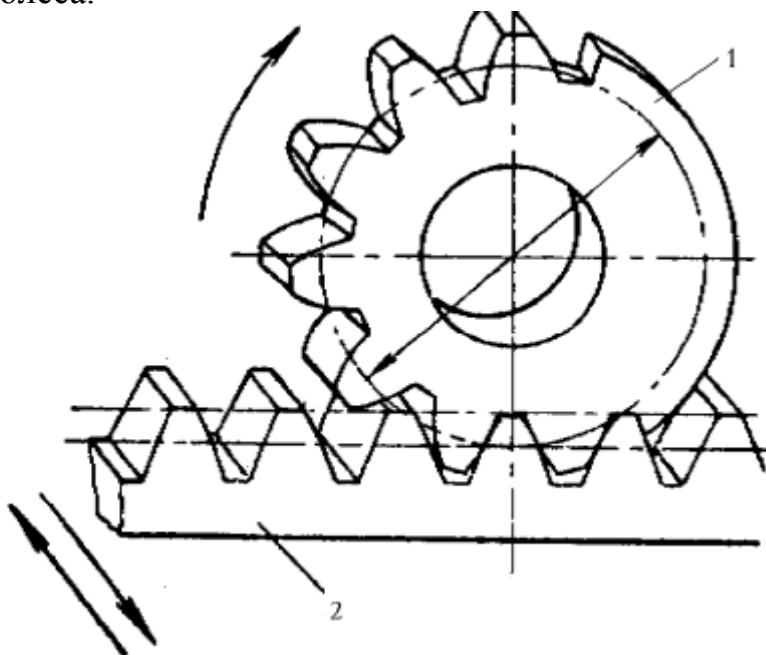


Рисунок 1 – Схема станочного зацепления

Преимуществом метода обкатки является то, что одним и тем же инструментом можно нарезать эвольвентные профили с разными параметрами, определяемыми положением инструмента относительно заготовки.

Положительным свойством инструментальной рейки является простота формы режущей кромки – прямая линия. Благодаря этому достигается высокая точность изготовления инструмента и колес, а также упрощается заточка рейки.

При выполнении данной лабораторной работы применяются следующие понятия теории зубчатых зацеплений.

**Эвольвента окружности** – траектория точки прямой линии, перекатываемой без скольжения по окружности. Эта окружность, эвольвентой которой является профиль зуба, называется **основной окружностью** зубчатого колеса и ее радиус обозначается  $r_b$  (диаметр –  $d_b$ ).

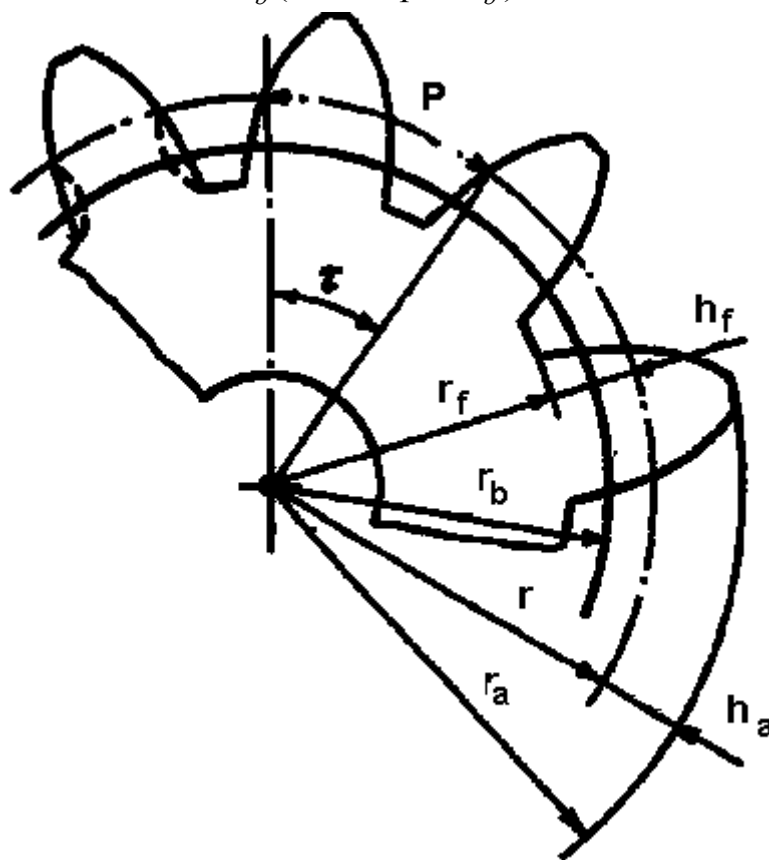


Рисунок 2 – Торцовое сечение зубчатого колеса

Сечение цилиндрического зубчатого колеса плоскостью, перпендикулярной его оси, называется торцовым сечением (рисунок 2). Каждый зуб представляет собой выступ, очерченный двумя симметрично расположенными эвольвентными профилями. Пространство между двумя соседними зубьями, ограниченное поверхностями вершин и впадин, образует **впадину** зубчатого колеса. В торцовом сечении этим поверхностям соответствуют **окружность вершин** зубьев диаметром  $d_a$  и **окружность впадин** колеса диаметром  $d_f$ .

**Окружным шагом**  $p_t$  называется расстояние, измеренное по дуге окружности между одноименными профилями соседних зубьев.

**Модулем зубьев** называется линейная величина  $m$ , равная отношению шага  $p_t$  к числу  $\pi$ , т.е.

$$m = \frac{p_t}{\pi}.$$

**Делительной окружностью** называется окружность, соответствующая стандартной величине модуля. Делительная окружность является базовой для определения элементов зубьев и их размеров. Для делительной окружности модуль выбирается из ряда чисел, задаваемого ГОСТом. Модуль является основным параметром зубчатого колеса, характеризующим его размеры.

Диаметр делительной окружности обозначают  $d$  и определяют по формуле

$$d = m \cdot z.$$

Расстояние между окружностью вершин и делительной окружностью определяет высоту **делительной головки** зуба  $h_a$ , а расстояние между делительной окружностью и окружностью впадин – высоту делительной ножки  $h_f$ .

Геометрия зуборезного инструмента, работающего по способу обкатки, определяется в соответствии с **исходным производящим контуром (ИПК)**, изображенном на рисунке 3. Он представляет собой контур зубьев инструментальной рейки и характеризуется параметрами:

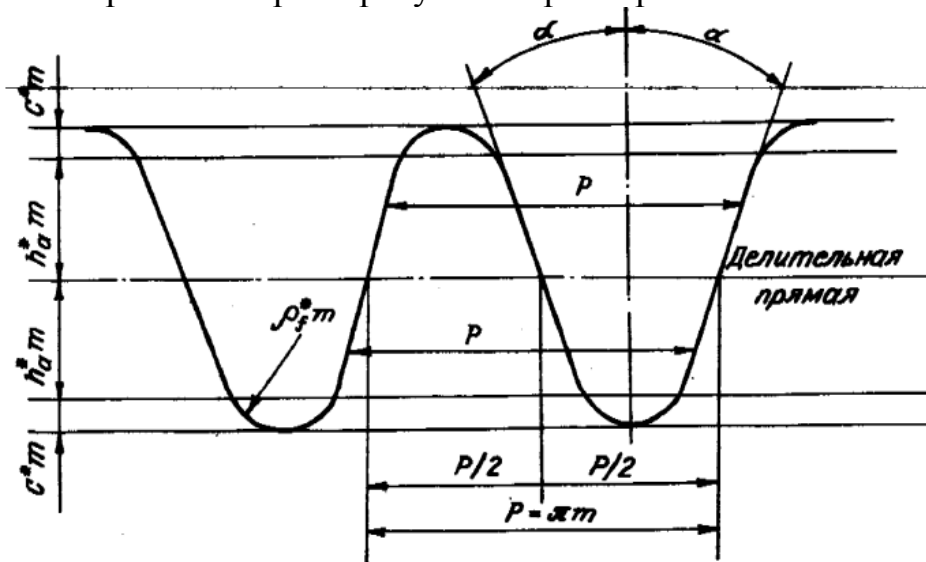


Рисунок 3 – Исходный производящий контур

$\alpha = 20^\circ$  – угол профиля исходного производящего контура;

$h_f = 1$  – коэффициент высоты головки зуба;

$c^* = 0,25$  – коэффициент радиального зазора;

$p_f = 0,38$  – коэффициент радиуса кривизны переходной кривой.

Средняя линия рейки, которая делит общую высоту зубьев пополам, называется **делительной прямой**. Толщина зуба рейки и ширина впадины по делительной прямой одинаковы между собой.

В зависимости от положения ИПК относительно заготовки можно получить различные вариаторы нарезания зубьев.

**Нулевое колесо** (рисунок 4 а). Делительная прямая рейки перекачивается по делительной окружности колеса. У такого колеса толщина зуба и ширина впадины между зубьями по делительной окружности равны между собой.

**Корригированные (исправленные) колеса** (рисунки 4 б и в), нарезанные смещенной инструментальной рейкой. В этих случаях делительная окружность колеса не соприкасается с делительной прямой рейки. Смещение инструмента производится с целью улучшения качества зацепления, устранения подреза ножки зуба, увеличения коэффициента перекрытия, уменьшения износа, повышения прочности зуба.

При нарезании корригированных колес расстояние  $X$  между делительной прямой  $N$  рейки и делительной окружностью колеса называется **смещением** рейки.

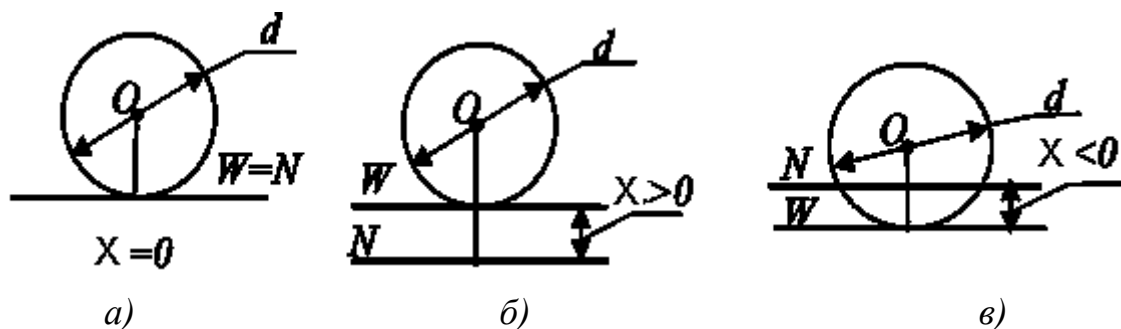


Рисунок 4 – Схема нарезание колес со смещением

Смещение рейки относительно ее положения для нулевого колеса в направлении от центра колеса называется **положительным смещением** ( $X > 0$ ), а в направлении к центру – **отрицательным смещением** ( $X < 0$ ).

**Коэффициентом смещения** называется отношение  $x = \frac{X}{m}$ .

Величина коэффициента смещения рейки, необходимая для устранения подреза ножки зуба при коэффициенте высоты головки зубьев  $h_a^* = 1$  и при значении угла профиля  $\alpha = 20^\circ$  определяется формулой

$$x_{\min} = \frac{17 - z}{17},$$

где  $z$  – число зубьев нарезаемого колеса.

## 2 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРА ДЛЯ ВЫЧЕРЧИВАНИЯ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФИЛЯ

Построение профилей зубьев в лабораторной работе выполняется на приборе ТММ-42 (рисунок 5). Заготовка в виде бумажного круга крепится на диске 3 с помощью шайбы 5. Рейка 2 может перекачиваться по делительной окружности нарезаемого колеса путем нажатия на рычаг 7. Рейку 2 можно передвигать относительно центра заготовки, освободив винты 10.

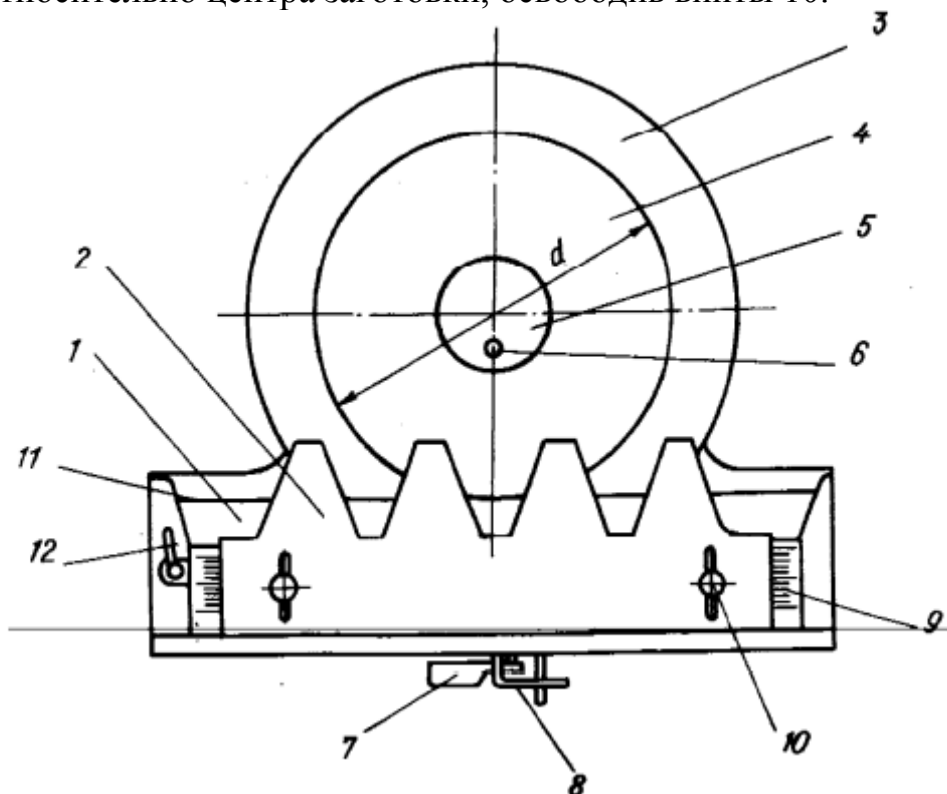


Рисунок 5 – Прибор ТММ-42

## 3 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ЗУБЧАТОГО КОЛЁСА

Исходные данные для расчёта – параметры исходного производящего контура, помещенные на рейке:

$m$  – модуль;

$d$  – диаметр делительной окружности;

$\alpha = 20^\circ$  – профильный угол;

$h_a^* = 1$  – коэффициент высоты головки зуба.

$c = 0,25$  – коэффициент радиального зазора.

1 Определить число зубьев нарезаемого колеса по формуле:

$$z = \frac{d}{m}.$$

2 Определить коэффициент смещения рейки по формуле

$$x_{\min} = \frac{17 - z}{17}.$$

3 Определить величину смещения рейки

$$X_{\min} = x_{\min} \cdot m.$$

4 Определить угловой шаг зубчатого колеса

$$\tau = \frac{2\pi}{z}.$$

5 Определить шаг по делительной окружности

$$p = \pi \cdot m.$$

6 Определить диаметр основной окружности

$$d_b = d \cdot \cos \alpha,$$

где  $\cos \alpha = \cos 20^\circ = 0,94$ .

7 Определить диаметр окружности вершин зубьев

$$d_a = d + 2 \cdot (h_a^* + x) \cdot m.$$

8 Определить диаметр окружности впадин колеса

$$d_f = d - 2(h_a^* + c^* - x) \cdot m.$$

9 Определить окружную толщину зуба по делительной окружности

$$s = \left( \frac{\pi}{2} + 2 \cdot x_{\min} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right) \cdot m,$$

где  $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 20^\circ = 0,364$

10 Определить ширину впадины по делительной окружности

$$e = p - s.$$

11 Определить угол профиля зуба по окружности вершин

$$\alpha_a = \arccos\left(\frac{d_b}{d_a}\right).$$

12 Определить толщину зуба по окружности вершин

$$s_a = d_a \left( \frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_a \right),$$

где  $\operatorname{inv} \alpha = \operatorname{inv} 20^\circ = 0,0149$ ,

$\operatorname{inv} \alpha_a = \operatorname{tg} \alpha_a - \alpha_a$ , здесь значение угла  $\alpha_a$  необходимо подставлять в радианах.



#### 4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Провести геометрический расчет зубчатого колеса для трех значений коэффициента смещения рейки, а именно для  $x = 0$ ,  $x = x_{\min}$  и  $x = -x_{\min}$ . Результаты занести в таблицу 1.

2 С помощью прибора вычертить на бумажной заготовке колесо при  $x = 0$ . Вычерчивать достаточно 2-3 зуба колеса.

3 Аналогично вычертить зубья колеса, когда  $x > 0$  и  $x < 0$ .

4 С помощью циркуля нанести на бумажную заготовку  $d_b$ ,  $d$ ,  $d_f$ , для всех трех вариантов.

5 Замерить линейкой толщины зубьев  $s$ ,  $s_a$ . Результаты занести в таблицу 1.

6 Провести анализ полученных замеров с расчетными данными.

7 К отчету приложить чертеж профилей зубьев (рисунок 6).

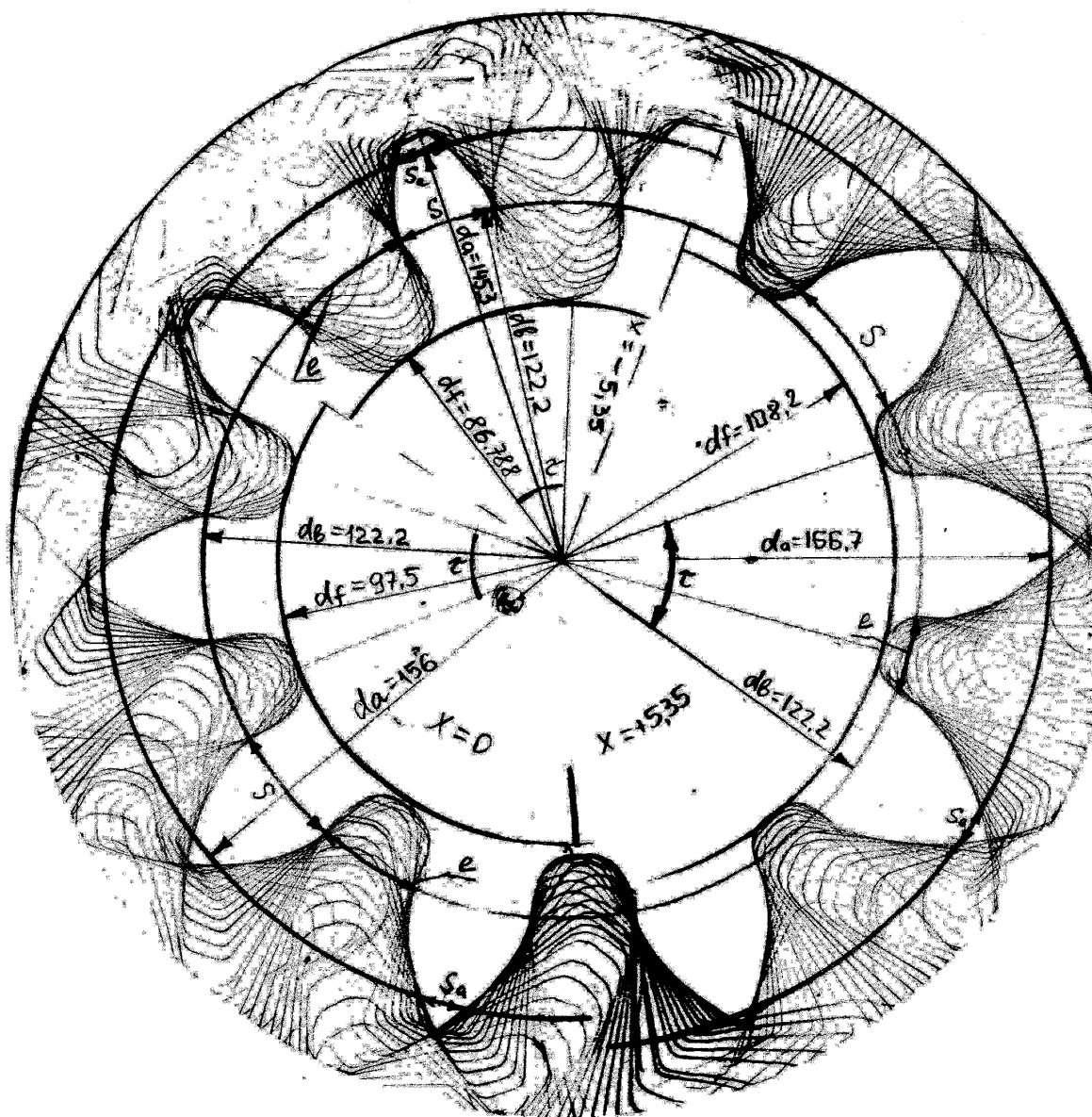


Рисунок 6 – Чертеж зубчатого колеса

Таблица 1 – Параметры зубчатого колеса

Параметры колеса	Нулевое смещение		Положительное смещение		Отрицательное смещение	
	Расчет	Замер	Расчет	Замер	Расчет	Замер
1 Число зубьев колеса		-		-		-
2 Коэффициент смещения рейки		-		-		-
3 Абсолютное смещение рейки		-		-		-
4 Угловой шаг зубчатого колеса						
5 Шаг по делительной окружности						
6 Диаметр основной окружности		-		-		-
7 Диаметр окружности вершин зубьев		-		-		-
8 Диаметр окружности впадин зубчатого венца		-		-		-
9 Толщина зуба по делительной окружности						
10 Ширина впадины по делительной окружности						
11 Угол профиля зуба по окружности вершин						
12 Толщина зуба по окружности вершин						

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что представляет собой эвольвента окружности?
- 2 Что такое модуль зуба и какова его роль в геометрическом расчете?
- 3 Какая окружность зубчатого колеса называется делительной, и какая называется основной? Какие еще окружности установлены для зубчатых колес?
- 4 В чем заключается существо способа обкатки применяемого для нарезания зубчатых колес?
- 5 Что такое исходный производящий контур и каковы его параметры?
- 6 Какое зубчатое колесо называется нулевым, и какое – корригированным (положительным, отрицательным)?
- 7 Как устраняется подрезание зубьев при нарезании зубчатого колеса?
- 8 Как определить коэффициент и величину смещения исходного производящего контура из условия отсутствия подрезания?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Теория механизмов и механика машин : учебник для вузов / К. В. Фролов [и др.] ; под ред. К. В. Фролова. – М. : Изд-во Высш. шк., 2001. – 496 с.
- 2 Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин. [Текст] : учебник для вузов / И. И. Артоболевский. – М. : Изд-во Наука, 1985. – 638 с.
- 3 ГОСТ 16530-70 – ГОСТ 16532-70. Передатки зубчатые [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 1971.
- 4 Болотовский, И. А. Цилиндрические эвольвентные зубчатые передачи внешнего зацепления. Расчет геометрии. [Текст] : учебное пособие для вузов / И. А. Болотовский [и др. ] . – М. : Машиностроение, 1974.
- 5 Колчин, Н. И. Механика машин. Том I [Текст] : учебное пособие для вузов. В 2-х т. Т. 1 / Н. И. Колчин – Л. : Машиностроение, 1971.
- 6 Баранов, Г. Г. Курс теории механизмов и машин [Текст] : учебное пособие для вузов / Г. Г. Баранов. – М. : Изд-во Машиностроение, 1967.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Принцип изготовления зубчатых колес методом обкатки	3
2 Описание конструкции прибора для вычерчивания эвольвентного профиля	7
3 Геометрический расчет зубчатого колеса	7
4 Порядок выполнения работы	9
5 Контрольные вопросы	10
Список литературы	11

Николай Николаевич Крохмаль

**ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС  
С НАРУЖНЫМИ ЗУБЬЯМИ С ПОМОЩЬЮ РЕЙКИ**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы  
по курсам «Теория механизмов и машин», «Прикладная механика»  
для студентов направлений:  
190109.65, 190110.65, 150700.62,  
151900.62, 190600.62; 140400.62;  
220400.62; 220700.62; 221700.62; 222000.62

Редактор Е.А. Могутова

---

Подписано в печать 24.10.13	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 0,75	Уч.-изд.л. 0,75
Заказ 171	Тираж 25	Цена свободная

---

РИЦ Курганского государственного университета.  
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет.