

*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 ДОЛБЯКА**

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

При проектировании зубчатых механизмов рабочие поверхности зубьев колес выбираются в соответствии с основной теоремой зацепления так, чтобы обеспечивалась постоянная величина передаточного отношения. Этому условию удовлетворяют сопряженные поверхности, одна из которых может быть выбрана произвольно. При этом необходимо учитывать требования эксплуатационного и технологического характера, а именно:

1) сопряженные поверхности зубьев колес должны быть такими, чтобы нарезание производилось инструментом с простой формой режущей кромки;

2) поверхности должны обеспечивать высокую нагрузочную способность передачи, сменность зубчатых колес, нечувствительность зацепления к погрешностям изготовления и монтажа (изменению межосевого расстояния, перекосу осей и т.п.).

Перечисленные требования выполняются в эвольвентном зацеплении. Профиль рабочей поверхности зубьев в таком зацеплении очерчен по эвольвенте.

### Цели работы:

1 Получить наглядное представление о сущности способа образования эвольвентного профиля зуба по методу огибания.

2 Научиться определять геометрические параметры станочного зацепления при нарезании эвольвентных колес долбяком.

3 Научиться управлять формой профиля и размерами зубьев при смещении долбяка.

**Оборудование и принадлежности:** прибор, калькулятор, карандаш.

## 1 ПРИНЦИП ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ ОБКАТКИ

На рисунке 1 изображена принципиальная схема нарезания зубчатого колеса с помощью долбяка. Долбяк представляет собой эвольвентное зубчатое колесо, зубья которого снабжены режущими кромками. В процессе нарезания колеса долбяк (инструмент) совершает возвратно-поступательное движение  $S_o$  (движение резания) и вращательное движение  $\omega_o$  (движение обкатки). Заготовка колеса  $З$  поворачивается с угловой скоростью  $\omega$ .

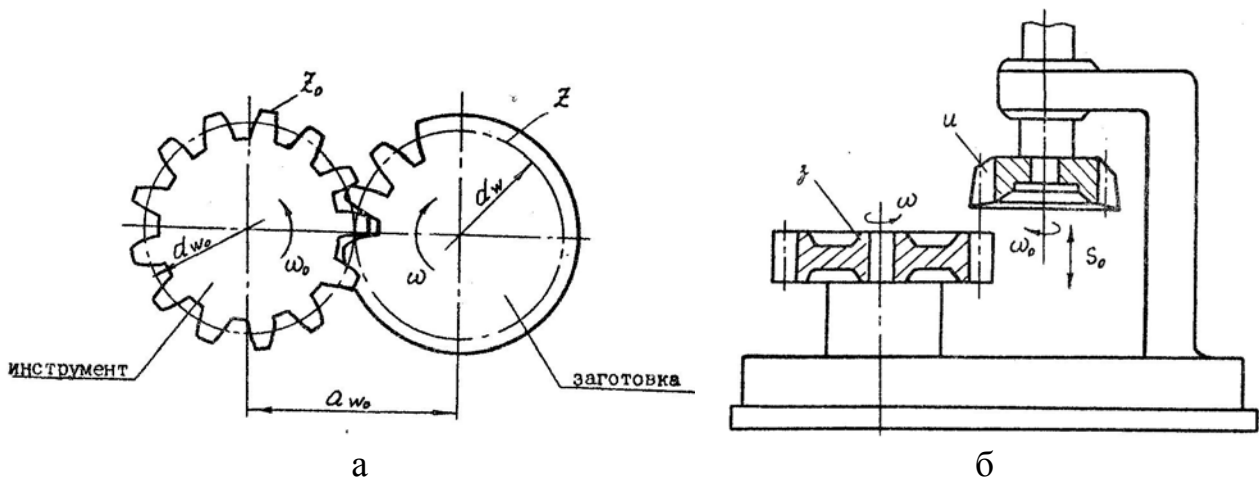


Рисунок 1 – Схема станочного зацепления

Помимо указанных движений, в зубодолбежных станках, работающих по полуавтоматическому циклу, осуществляются дополнительно следующие движения: непрерывное врезание долбяка в заготовку в период чернового и получистового проходов (радиальная подача), отвод стола с заготовкой от долбяка (или долбяка от стола при обратном ходе последнего) и возврат его в исходное положение перед началом резания. Все зубья колеса нарезаются за один оборот долбяка после врезания его в заготовку на полную высоту зуба.

Зацепление долбяка с обрабатываемым зубчатым колесом называют станочным зацеплением. Так как станочное зацепление при зубодолблении соответствует зацеплению двух зубчатых эвольвентных колес, то геометрические параметры станочного зацепления могут быть определены по ГОСТ 16532-70 «Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии».

При изготовлении зубчатых колес применяется смещение инструмента в станочном зацеплении по отношению к номинальному положению.

Правильным выбором величины смещения можно улучшить качественные показатели передачи в целом за счет:

- 1) увеличения прочности поверхностей зубьев передач;
- 2) устранения подрезания ножки зуба при нарезании колес с малым числом зубьев;
- 3) увеличения коэффициента перекрытия зацепления;
- 4) изменения величины межцентрового расстояния колес в передаче;
- 5) уменьшения величины относительного скольжения профилей в зацеплении.

## 2 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРА ДЛЯ ВЫЧЕРЧИВАНИЯ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФИЛЯ

Прибор (рисунок 2) состоит из диска 1 и долбяка 2, смонтированных на литом основании 3. На диске, при помощи трех игл и прижимной накладке 4 закрепляется круг из плотной бумаги, на котором и вычерчивается профиль нарезаемого зубчатого колеса. Игла в центре диска 1 намечает его центр 5.

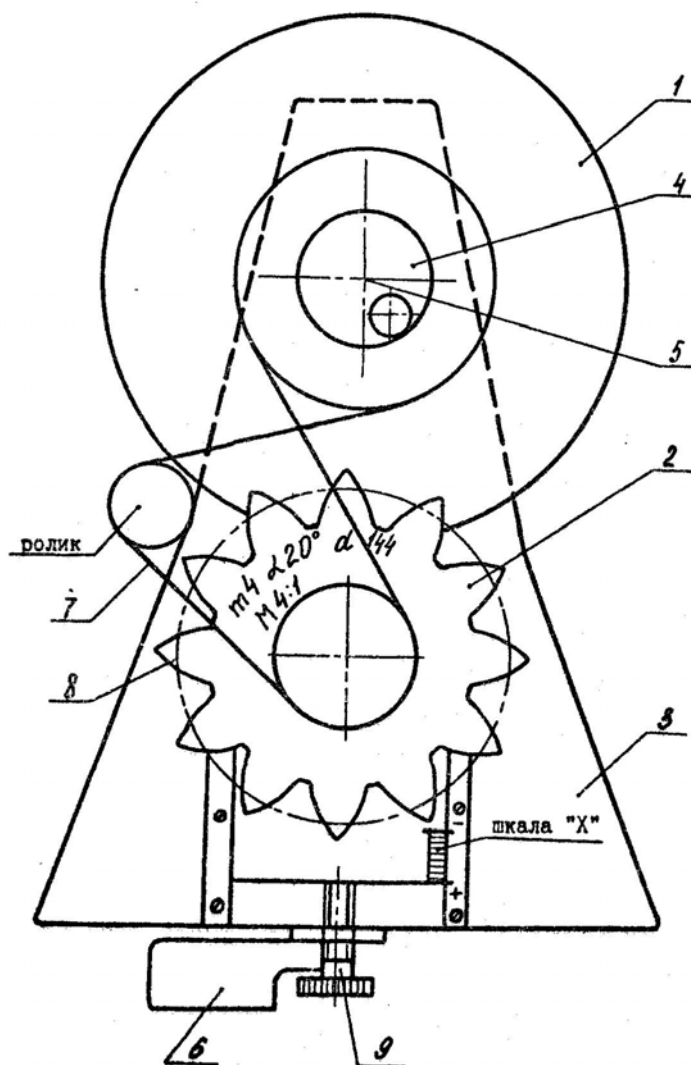


Рисунок 2 – Схема прибора для построения эвольвентных профилей зубьев

При нажатии клавиши 6 долбяк и диск, связанные бесконечной нитью 7, поворачиваются на один шаг, и на бумаге карандашом от руки обводится контур зубьев долбяка. При многократном нажатии клавиши на бумажном круге получается изображение профилей зубьев колеса.

На зубьях долбяка нанесены риски 8, соответствующие делительной окружности, а в средней части выгравированы параметры долбяка: модуль  $m$ , угол профиля  $\alpha$  и диаметр делительной окружности вычерчиваемого колеса  $d$ , увеличенный в  $M$  раз ( $M$  – масштаб).

При вращении винта 9 можно смещать долбяк на величину  $x \cdot m$ , а также увеличенную в  $M$  раз. Отсчет производится по шкале, имеющейся на ползуне. Если  $x \cdot m > 0$ , то долбяк отодвигается от центра колеса. Увеличивая тем самым  $a_{w_o}$ , и наоборот, при  $x \cdot m < 0$  долбяк подвигается к центру нарезаемого колеса.

Рабочее положение прибора наклонное, с упором на откидывающуюся скобу на нижней стороне основания прибора.

### 3 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

Исходные данные для расчета (выгравировано на долбяке)

- 1 Модуль зацепления –  $m$ .
- 2 Число зубьев долбяка –  $z_o$ .
- 3 Угол профиля –  $\alpha$ .
- 4 Коэффициенты  $h_a^* = 1$ ;  $c^* = 0,25$ ;  $h_{a_o}^* = 1,25$ .
- 5 Делительный диаметр колеса –  $d$ .
- 6 Масштаб –  $M$ .

Геометрический расчет по п.1 – 14 провести для трех вариантов коэффициента смещения долбяка:

- а)  $x^{(1)} = 0$ ;
- б)  $x \geq 0,5 \left[ \sqrt{(z_o + 2h_{a_o}^*)^2 + z(2z_o + z) \cdot \cos^2 \alpha} - (z_o + z) \right]$ ;
- в)  $x^{(3)} = -x^{(2)}$ .

Для каждого варианта вычисляются:

- 1 Делительный диаметр долбяка:

$$d_o = m \cdot z_o.$$

- 2 Толщина зуба долбяка по делительной окружности:

$$S_o = \frac{\pi \cdot m}{2}.$$

- 3 Делительное станочное межосевое расстояние:

$$a_o = \frac{d + d_o}{2} = 0,5m \cdot (z + z_o).$$

- 4 Станочное передаточное число:

$$u_o = \frac{d / m}{z_o}.$$

5 Высота головки зуба долбяка:

$$h_{a_o} = (h_a^* + C^*) \cdot m.$$

6 Станочное межосевое расстояние с учётом смещения:

$$a_{w_o} = a_o + xm.$$

7 Диаметр начальной окружности колеса:

$$d_w = \frac{2a_{w_o} \cdot u_o}{u_o + 1}.$$

8 Диаметр начальной окружности долбяка:

$$d_{w_o} = \frac{2a_{w_o}}{u_o + 1}.$$

9 Диаметр выступов долбяка:

$$d_{a_o} = d_o + 2h_{a_o}.$$

10 Диаметр основной окружности  $d_b$ :

$$d_b = m \cdot z \cdot \cos \alpha.$$

11 Диаметр окружности впадин колеса:

$$d_f = 2a_{w_o} - d_{a_o}.$$

12 Толщина зуба по делительной окружности колеса:

$$S = \frac{\pi \cdot m}{2} + 2x \cdot m \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

13 Угол станочного зацепления  $\alpha_{w_o}$ :

$$i w \alpha_{w_o} = \frac{x}{z + z_o} \cdot 2 \operatorname{tg} \alpha + i w \alpha.$$

14 Толщина зуба по начальной окружности:

$$S_w = d_w \cdot \left( \frac{\pi}{2z} + \frac{2x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z} + i w \alpha_w \right).$$

#### 4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Провести геометрический расчет зубчатого колеса для трех вариантов. Результаты занести в таблицу 1.

2 С помощью прибора вычертить на бумажной заготовке колесо при  $x = 0$ . Вычерчивать достаточно 1-2 зуба колеса.

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

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

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

Таблица 1 – Параметры зубчатого колеса

Параметры колеса	Нулевое смещение		Положительное смещение		Отрицательное смещение	
	Расчет	Замер	Расчет	Замер	Расчет	Замер
1 Делительный диаметр долбяка		-		-		-
2 Толщина зуба долбяка по делительной окружности		-		-		-
3 Делительное станочное межосевое расстояние		-		-		-
4 Станочное передаточное число		-		-		-
5 Высота головки зуба долбяка		-		-		-
6 Межосевое расстояние с учетом смещения		-		-		-
7 Диаметр начальной окружности колеса						
8 Диаметр начальной окружности долбяка		-		-		-
9 Диаметр выступов долбяка		-		-		-
10 Диаметр основной окружности колеса		-		-		-
11 Диаметр окружности впадин колеса		-		-		-
12 Толщина зуба по делительной окружности колеса						
13 Угол станочного зацепления						
14 Толщина зуба по начальной окружности колеса						



6 Провести анализ полученных замеров с расчетными данными.

7 В отчете приводятся выполненные расчеты, результаты замеров, анализ полученных теоретических и экспериментальных данных. К отчету прикладывается чертеж (рисунок 3).

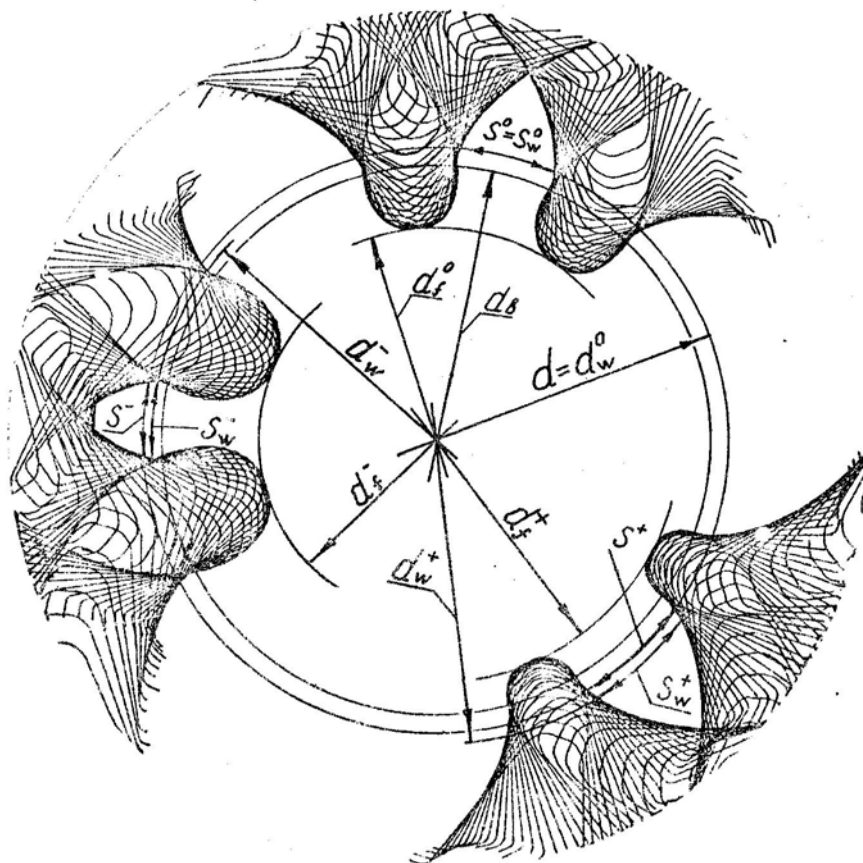


Рисунок 3 – Чертеж зубчатого колеса

## 5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Какие кривые используются в качестве рабочих профилей зубьев? Какие к ним предъявляются требования?

2 Что такое модуль зацепления? Какова связь между модулем и шагом зацепления?

3 Одинакова ли величина шага по делительной и основной окружностям, по другим окружностям?

4 Как выразить через модуль высоту головки зуба, ножки, радиусы окружностей: делительной, выступов и впадин?

5 Как определить через числа зубьев и модуль межцентровое расстояние передачи, составленной из пары колес?

6 Дайте определения делительной и начальной окружностям,

7 Можно ли указать размеры радиуса начальной окружности для одного колеса?

- 8 Назовите методы изготовления зубчатых колес.
- 9 Какой профиль зуба имеет долбяк?
- 10 Как нарезаются колеса со смещением?
- 11 С какой целью применяют смещение при нарезании колес?
- 12 Как определяется величина смещения?
- 13 Какие параметры зацепления изменяются при смещении долбяка?
- 14 Можно ли обеспечить зацепление пары колес, из которых одно нарезано без смещения, а другое со смещением? Что при этом изменится?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Теория механизмов и механика машин : учебник для втузов / 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. Передачи 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 [Текст] : учебное пособие для вузов. в 2 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	5
3 Геометрический расчет зубчатого колеса	6
4 Порядок выполнения работы	7
5 Контрольные вопросы	9
Список литературы	10

Николай Николаевич Крохмаль

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

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 60 x 84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 0,75	Уч.- изд.л. 0,75
Заказ 172	Тираж 25	Цена свободная

---

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