

**Методические указания
к лабораторной работе № 17**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ
МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ
ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

Утверждено методической
комиссией кафедры РЛ-5

Москва, 2014 г.

Цель работы

1) нарезание эвольвентного профиля зубьев колеса путем моделирования метода огибания (обката);

2) экспериментальное исследование влияния смещения инструментальной рейки при нарезании зубьев колеса на форму профиля зуба.

Мелкомодульные зубчатые передачи, состоящие из двух зубчатых колес, находят широкое применение в приборах. Колесо с меньшим числом зубьев в паре зацепления называется **шестерней**, с большим – **колесом**.

Зубчатые передачи в паре зацепления являются составной частью многоступенчатой передачи.

Эвольвента окружности есть траектория точки, принадлежащей образующей прямой **n-n**, при качении ее без скольжения по окружности диаметра d_b (рис.1).

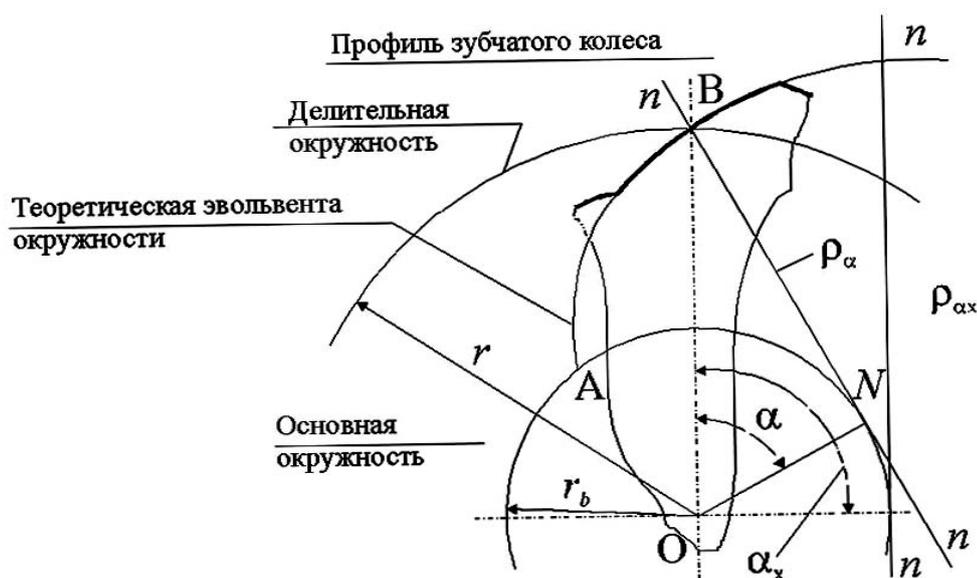


Рис. 1.

Поэтому иногда эвольвенту называют разверткой окружности. Окружность диаметра d_b называется **основной**. Выбор участка эвольвенты зависит от величины потерь передаваемого колесом момента M и определяется углом профиля, т.е. углом между линией проведенной из точки пересечения образующей прямой с делительной окружностью и нормалью к точке касания ее с основной окружностью α . Для эвольвентных передач принят стандартный угол профиля зуба $\alpha = 20^\circ$.

Из выше сказанного следует, что:

1) эвольвента не может существовать внутри **основной** окружности;

2) касательная к основной окружности (образующая прямая **n-n**) является нормалью к эвольвенте.

В практике приборостроения **диаметр заготовки** зубчатого колеса $d_{заг}$ всегда принимается **равным** диаметру окружностей вершин d_a .

Все геометрические параметры эвольвентного зубчатого колеса приведены на рис. 2:

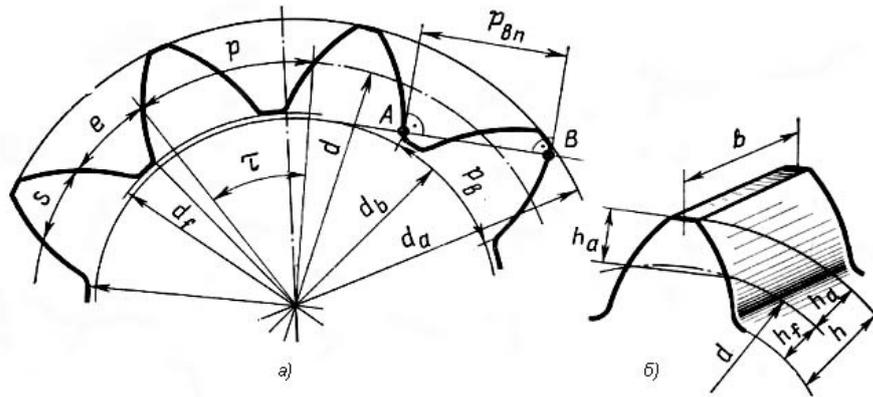


Рис. 2.

d, d_f, d_b, d_a – диаметры: делительной окружности, впадин, основной окружности и вершин соответственно.

P – расстояние между одноимёнными профилями соседних зубьев по дуге делительной окружности (окружной шаг);

S – расстояние между разноимёнными профилями зуба по дуге делительной окружности;

e – расстояние между профилями впадин соседних зубьев;

b – наименьшее расстояние между торцами зубьев (ширина венца);

h – расстояние между окружностями вершин и впадин (высота зуба);

h_a – высота делительной головки зуба;

h_f – высота делительной ножки зуба;

P_b – шаг зубьев колеса по основной окружности;

Длина окружности, число зубьев z и окружной шаг p связаны соотношением:

$$2\pi r = pz \text{ или } \pi d = pz.$$

Из этого следует, что диаметр делительной окружности колеса равен:

$$d = \frac{p}{\pi} z = mz. \quad (1)$$

Для удобства расчёта вводится новый параметр, называемый «модуль».

Модуль показывает, сколько миллиметров диаметра приходится на один зуб колеса:

$$m = \frac{p}{\pi}. \quad (2)$$

Шаги двух зубчатых колёс, находящихся в зацеплении, должны быть одинаковы, т.е. они должны иметь один и тот же модуль. Модули зубчатых колес стандартизированы (ГОСТ 9563-60). Таким образом, **делительная** окружность – это окружность стандартного **модуля**. Значения модуля определяются расчётным путём из условия расчёта на прочность и затем округляются в большую сторону до ближайшей величины из стандартного ряда.

Окружной шаг зубьев колеса по любой окружности вычисляется по формуле:

$$p = s + e. \quad (3)$$

Для нулевых колёс ($s = e$) высота делительной головки зуба равна $h_a = m$.

В приборостроении чаще применяются модули равные $m = 0.3 \dots 1$ мм.

Диаметры вершин и впадин зуба определяются по формулам:

$$d_b = d \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

$$d_a = m \cdot (z + 2h_a^*), \quad (5)$$

$$d_f = m \cdot (z - 2h_f^*) = m \cdot [z - 2(h_a^* + c^*)], \quad (6)$$

где: $h_a^* = 1,0$; при $m \leq 0,5$ мм $c^* = 0,5$; при $0,5 \leq m \leq 1$ мм $c^* = 0,35$.

Если радиус одного из колёс в зацеплении увеличить до бесконечности, то колесо превратится в рейку, имеющую вырожденную эвольвенту.

При методе обката рейка является режущим инструментом с зубьями, главные поверхности которых имеют режущие кромки. В основе инструментальной рейки лежит стандартный **исходный контур**, представляющий собой симметричные зубья и впадины трапецеидальной формы. При нарезании рейка совершает возвратно-поступательное движение, при этом эвольвентный профиль формируется как огибающая ряда последовательных положений прямолинейного профиля зуба рейки. Проскальзывание между инструментом и заготовкой исключается, такая кинематическая связь осуществляется специальными устройствами.

В лабораторной установке для этой цели используется туго натянутая струна, связывающая движения имитатора зуборезной рейки и заготовки зубчатого колеса. Зуборезной рейкой можно нарезать как прямозубые, так и косозубые колеса.

Геометрически фреза представляет собой винт с продольными канавками для выхода стружки. Профили зубьев червячной фрезы в нормальном сечении, т.е. в плоскости, перпендикулярной направлению витков фрезы, образуют производящую зубчатую рейку.

Профиль зубчатой рейки для приборных зубчатых колес называется **исходным производящим реечным контуром** (ИПРК).

Все параметры исходного контура отсчитываются от базовой прямой, которая называется **делительной** прямой. Принято абсолютные параметры исходного контура определять в виде соответствующего коэффициента с индексом "0" (см. рис.) умноженного на модуль.

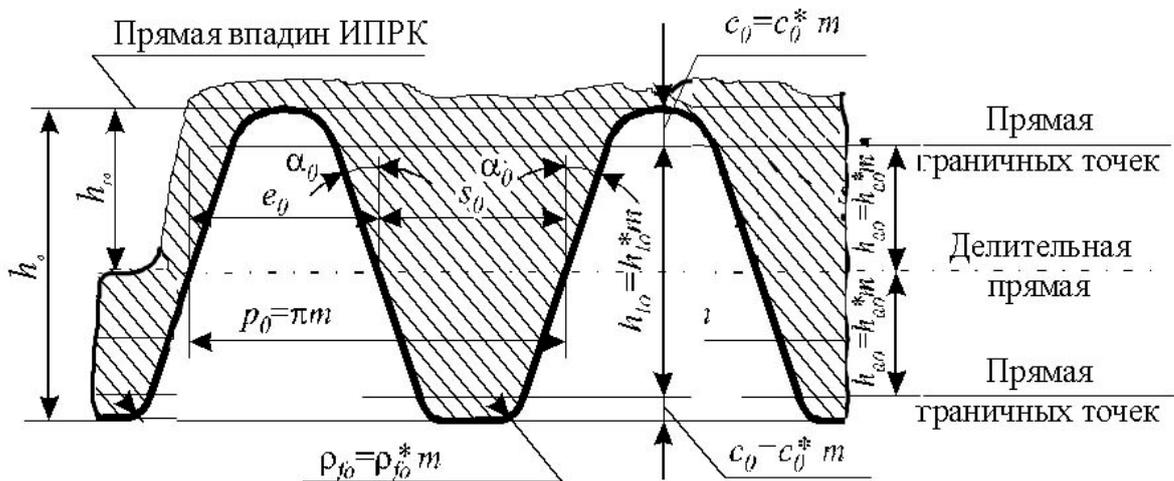


Рис.3.

$\alpha_0 = 20^\circ$ – угол профиля исходного производящего контура;

$h_{a0}^* = 1,0 \dots 1,1$ – коэффициент высоты головки зуба;

$c_0^* = 0,5$ – коэффициент радиального зазора;

$h_{f0}^* = h_{a0}^* + c_0^*$ – коэффициент высоты ножки зуба;

$h_{f0}^* = 2h_{a0}^*$ – коэффициент граничной высоты;

$\rho_{f0} \approx 0,4$ – коэффициент радиуса кривизны переходной кривой;

$e_0 = p/2 = \pi m/2$ – ширина впадины;

$s_0 = p/2 = \pi m/2$ – толщина зуба;

$h_0 = (2h_{a0}^* + 2c_0^*)m$;

$h_{f0} = h_{f0}^* m$.

В процессе нарезания зубьев делительная прямая *исходного контура* или одна из параллельных ей прямых всегда касается окружности делительного диаметра d , перекачиваясь по ней без проскальзывания. В станочном зацеплении прямая, касающаяся делительной окружности, называется начальной прямой.

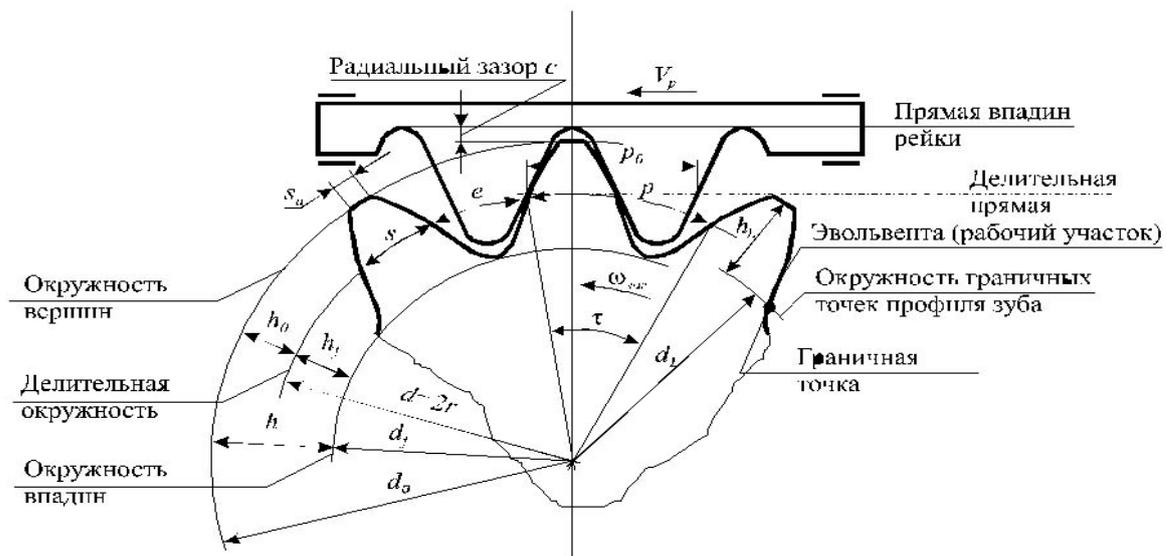


Рис.4.

Между диаметром заготовки зубчатого колеса и прямой впадин исходного контура должен быть радиальный зазор $c = c^* m$, где $c^* = c_0^*$ (см. рис.3, 4).

Этот зазор является технологическим, вводимым в станочное зацепление для обеспечения оптимальных условий нарезания.

Боковая поверхность зубьев (эвольвента) на нарезаемом колесе образуется как огибающая последовательных положений прямолинейных режущих кромок инструмента (рис.5). В связи с этим данный метод нарезания зубчатых колес часто называют также методом огибания (обката).

Достоинства метода обката:

- высокая точность профиля зубьев и шага;
- простота заточки инструмента;
- возможность одним инструментом данного модуля нарезать колёса с разным числом зубьев;
- высокая производительность, большая степень автоматизации.

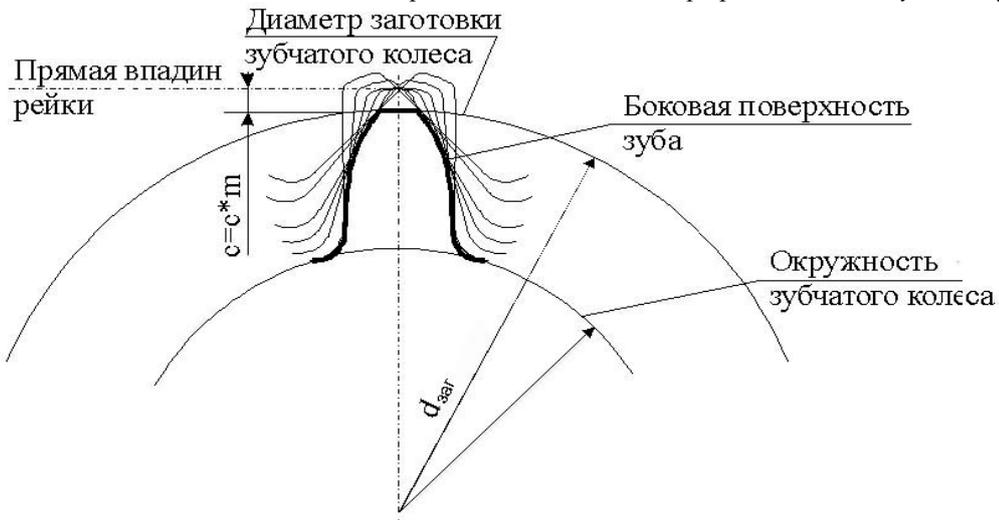


Рис.5.

Число зубьев, равное 17, называется наименьшим или минимальным числом зубьев и обозначается z_{\min} . **В колёсах с числом зубьев, меньшим 17, при нарезании происходит подрезание ножки зуба (рис.6).** Зубчатые передачи с шестернями, имеющими числа зубьев 10...16 применяют с целью уменьшения габаритов приборных устройств. В этом случае уменьшается рабочая высота зуба, прочность, длина зацепления и как следствие, нарушается плавность работы передачи, возрастает скорость скольжения профилей и снижается КПД передачи.

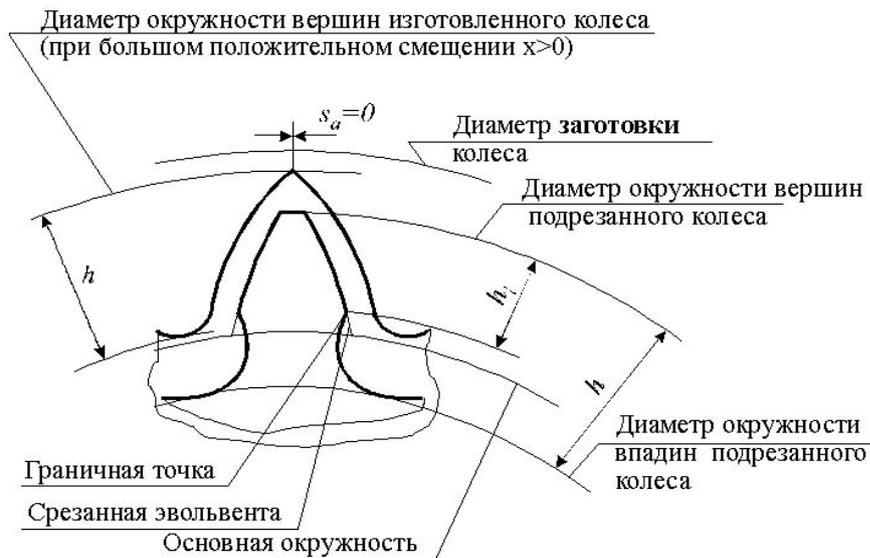


Рис.6

Для устранения подрезания зуба прибегают к исправлению профиля зуба – **коррегированию**.

Коррегирование эвольвентного зацепления – способ улучшения формы зубьев путём смещения инструментальной рейки в радиальном направлении. При этом делительная прямая рейки не касается делительной окружности колеса.

Чтобы уменьшить подрезание зубьев, необходимо инструмент сместить от центра заготовки на величину $x = \xi m$. Коррегирование зацепления заключается в изменении профиля зубьев за счёт использования различных участков эвольвенты одной и той же основной окружности путём смещения исходного контура в процессе нарезания зубьев. При этом полное смещение будет составлять $\xi \cdot m$.

Геометрические параметры зубчатого колеса со смещением определяются по формулам:

$$S = m \left(\frac{\pi}{2} + 2\xi \cdot \operatorname{tg} \alpha \right) = m(1,57 + 0,7279\xi),$$

$$d_a = m \cdot (z + 2h_a^* + 2\xi), \quad (7)$$

$$d_f = m \cdot (z - 2h_f^* + 2\xi) = m \cdot [z - 2(h_a^* + c^*) + 2\xi], \quad (8)$$

В формулы (6),(7) коэффициенты смещения x подставляются со своими знаками в зависимости от того, какое смещение (положительное или отрицательное) применяется при нарезании данного колеса. За счёт разности высот ножки и головки зубьев обеспечивается радиальный зазор зубчатой передачи. Коэффициенты h_a^* и c^* принимают равными соответствующим коэффициентам h_{a0}^* и c_0^* , (см. рис.3,4,5). В правильно изготовленном зубчатом колесе высота теоретического профиля зуба колеса (граничная высота зуба) должна быть равна $2h_a^* m$ (см. рис.3,4,5).

В случае, когда смещение равно нулю, получают нулевые зубчатые колёса. При этом делительная прямая рейки касается делительной окружности колеса. Смещение рейки от центра (при $\xi > 0$) называется *положительным*, а смещение к центру ($\xi < 0$) – *отрицательным*. При положительном смещении инструмента делительная толщина зуба увеличивается, вершина зуба приближается к *заострению*. Наиболее распространена *равносмещённая* передача: $\xi_1 = -\xi_2$, $\xi_1 + \xi_2 = \xi_\Sigma = 0$.

При этом, положительное смещение применяют для шестерни, отрицательное – для колеса. Угол зацепления в равносмещённой передаче не изменяется. Коэффициент наименьшего смещения ξ_{\min} , при котором шестерня с числом зубьев $z < z_{\min}$ будет нарезана без подрезания, определяется по формуле:

$$\xi_{\min} = \frac{z_{\min} - z}{z_{\min}} \quad (9)$$

Описание лабораторной установки

Прибор для моделирования нарезания профилей зубьев в большом масштабе для $m = 11 \dots 16$ мм по методу огибания (рис.7) состоит из диска 1, на котором устанавливается бумажный круг нужного диаметра, и рейки 2, имитирующей производящую зуборезную рейку. Перемещение рейки производится вручную при нажатии клавиши 5. При этом рукоятка 6 должна лежать сверху ограничивающего штифта. Рукоятка 7 служит для создания натяжения струны.

Исходным положением рейки является *крайнее правое*. Для перевода рейки в это положение рукоятки 6 и 7 следует повернуть против часовой стрелки до упора. После этого кинематическая связь между «рейкой-инструментом» и диском 1, на котором закреплена заготовка, нарушается. Для восстановления кинематической связи рукоятки 6 и 7 следует повернуть по часовой стрелке.

Необходимое смещение рейки инструмента относительно делительной окружности можно установить с помощью шкал 4, расположенных по бокам рейки, винтов 3 и меток, нанесенных на рейке 2.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Определите номер вашего варианта по номеру прибора (номер нанесен на рейке), установленному на столе, и по таблице «Варианты заданий для лабораторной работы №17» (Таблица 1).
2. Рассчитайте минимальный коэффициент смещения режущего инструмента ξ_{\min} для заданного варианта.
3. Определите смещения x_1, x_2, x_3, x_4 режущего инструмента по значениям коэффициентов $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$ и занесите результаты расчета в таблицу отчета. Во всех вариантах $\xi_1 = 0, \xi_2 = \xi_{\min}$.
4. Определите геометрические параметры зубчатых колес при различных смещениях режущего инструмента и занесите результаты в таблицу отчета.
5. Разделите круг на четыре равных сектора. В каждой четверти напишите величину соответствующего коэффициента смещения.
6. В каждой четверти нанесите на круг соответствующие диаметры заготовок зубчатых колес.
7. Установите бумажный круг на диск 1 (рис.7). Следите за тем, чтобы центр диска точно совпадал с центром окружностей, проведенных на бумажном круге.
8. Установив «рейку-инструмент» с первым заданным смещением $\xi = 0$ отведите рейку в исходное **крайнее правое** положение, предварительно повернув рукоятку 7 против часовой стрелки. Поворачивая заготовку относительно оси, установите ее таким образом, чтобы левая граница заданной четверти бумажного круга входила в первую впадину рейки. Восстановите кинематическую связь между диском 1 и рейкой 2, повернув рукоятку 7 по часовой стрелке.
9. Обведите зубья рейки, попадающие в заданную четверть. Переведите «рейку-инструмент» на один шаг в следующее положение, нажимая на клавишу 5 (с легким усилием, обязательно до упора), и обведите все зубья рейки, попадающие в указанную четверть карандашом.
10. Повторите процесс до перехода рейки в крайнее левое положение. При переводе рейки из одного положения в другое обведите рейку карандашом.
11. Освободите диск 1 с помощью рукоятки 7, поверните его на 90° , установите необходимое для данной четверти смещение рейки. Последовательно осуществите корректирование зубьев колеса $\xi_2 \cdot m = \xi_{\min} \cdot m, \xi_3 \cdot m = \xi_{\max} \cdot m, \xi_4 \cdot m$.
12. Подпишите вид каждого спрофилированного зуба – **подрезанный, нормальный, заостренный**.
13. Укажите на вашей модели угол профиля α , начало и конец эвольвенты на боковом профиле зуба.
14. Обозначьте приведенные в таблице отчета геометрические параметры на спрофилированных зубьях.

Таблица 1

| Варианты задания | | | | |
|------------------|----------|-----|----------------------|---------|
| № прибора | m , мм | z | Коэффициент смещения | |
| | | | ξ_3 | ξ_4 |
| 1 | 13 | 9 | +0.64 | -0.7 |
| 2 | | 10 | +0.70 | -0.7 |
| 3 | | 11 | +0.76 | -0.7 |
| 4 | | 12 | +0.82 | -0.7 |
| 5 | 14 | 9 | +0.64 | -0.65 |
| 6 | | 10 | +0.70 | -0.65 |
| 7 | | 11 | +0.76 | -0.65 |
| 8 | 15 | 12 | +0.82 | -0.65 |
| 9 | | 9 | +0.64 | -0.6 |
| 10 | | 10 | +0.70 | -0.6 |
| 11 | | 11 | +0.76 | -0.6 |
| 12 | 16 | 12 | +0.82 | -0.6 |
| 13 | | 9 | +0.64 | -0.6 |
| 14 | | 10 | +0.70 | -0.6 |
| 15 | | 11 | +0.76 | -0.6 |

ПРИМЕЧАНИЕ: во всех вариантах
 $\xi_1 = 0$; $\xi_2 = \xi_{\min}(9)$;

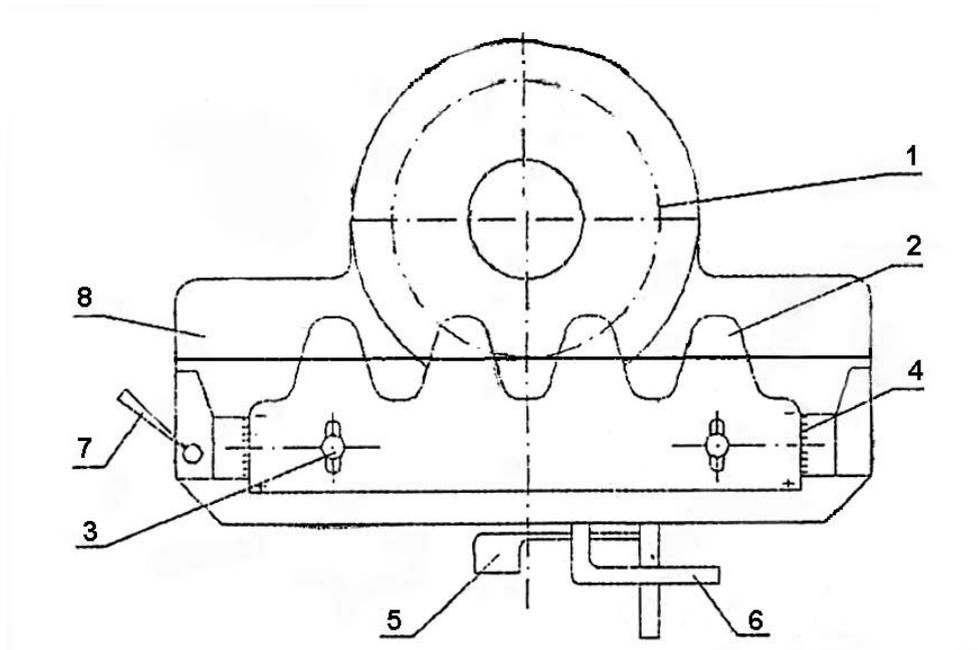


Рис.7. Изображение экспериментальной установки

Содержание отчета

1. Бумажный круг с изображенными на нем зубьями.
2. Схема прибора для моделирования нарезания зубьев колеса методом огибания.
3. Таблица с результатами расчетов и основными формулами.

Литература

1. Элементы приборных устройств. Учеб. пособие для ВУЗов. В 2-х ч. Ч.1. /Под ред. О.Ф.Тищенко. – М.: Высшая школа, 1984.

Таблица отчета

Геометрические параметры зубчатых колес с числом зубьев $z =$ и модулем $m =$ при различных коэффициентах смещения

($\xi_1 = 0$; $\xi_2 = \xi_{\min}$; $\xi_3 = \xi_{\max}$; $\xi_4 = _$)

| Варианты задания | | | | | | |
|------------------|---|----|---------------------------|---------|---------|---------|
| № формулы | Геометрический параметр и расчетная формула | | Смещение зуборезной рейки | | | |
| | | | $x_1 =$ | $x_2 =$ | $x_3 =$ | $x_4 =$ |
| (1) | $d =$ | мм | | | | |
| (4) | $d_b =$ | мм | | | | |
| (7) | $d_a =$ | мм | | | | |
| (8) | $d_f =$ | мм | | | | |
| (2) | $p_0 = p = \pi m$ | мм | | | | |
| (3) | $s =$ | мм | | | | |
| | $e = p_0 - s$ | мм | | | | |
| | $h_a = (d_a - d)/2$ | мм | | | | |
| | $h_f = (d - d_f)/2$ | мм | | | | |
| | $h = (d_a - d_f)/2$ | мм | | | | |
| | $C = c \cdot m$ | мм | | | | |
| | s^* (эксперимент) | мм | | | | |
| | d_f^* (эксперимент) | мм | | | | |

Примечание:

параметры, обозначенные звездочкой, определяются после профилирования зубьев на бумажных дисках; при $m > 1$ мм $h_a^* = 1,0$; $h_f^* = h_a^* + c^*$; $c^* = 0,25$.