

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»
(ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА)

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО
ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН**

Выполнил:

Проверил:

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

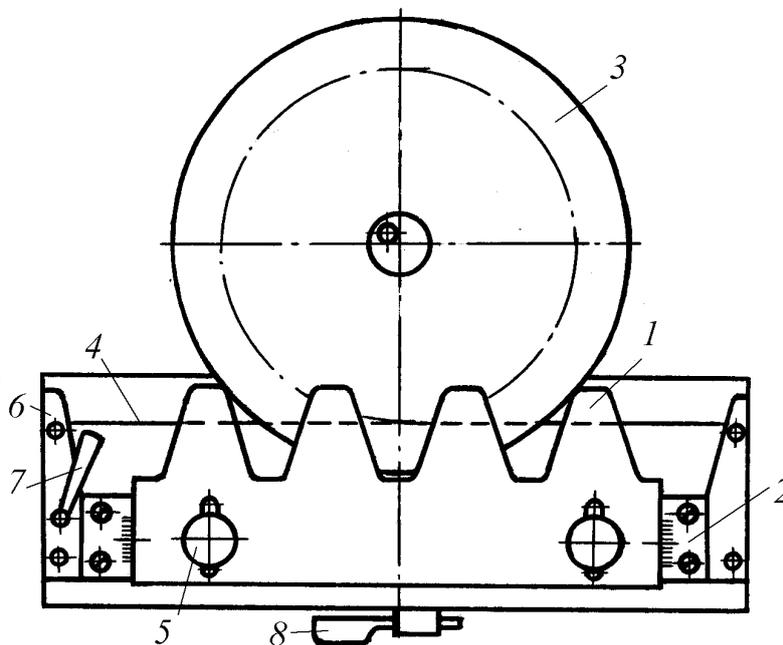
ОБРАЗОВАНИЕ ЗУБЬЕВ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ПРОФИЛЯ МЕТОДОМ ОГИБАНИЯ

Цель работы – изучение студентами теоретических основ изготовления зубчатых колес методом огибания. Кроме того, данная лабораторная работа позволяет практически ознакомиться с принципом образования эвольвентных профилей зубьев при изготовлении колес методом огибания, а также с методикой корригирования зубчатых колес с целью устранения подрезания зубьев.

1. Описание установки и теоретическое обоснование

В настоящее время применяют два метода нарезания зубчатых колес: метод копирования и метод огибания. Наиболее универсальным является метод огибания, который получил широкое применение. В этом случае в качестве инструмента применяют долбяк, гребенку, червячную фрезу.

В данной работе имитируется процесс нарезания колес методом огибания с помощью инструмента реечного типа (гребенки). Для проведения работы используется специальная установка (рисунок 1), состоящая из зубчатой рейки 1, закрепленной на станине 2 таким образом, чтобы можно было регулировать расстояние от средней линии рейки до оси «заготовки», и диска 3 с закрепленной на нем «заготовкой».



1 – рейка; 2 – станина; 3 – диск; 4 – струна; 5 – винты;
6 – захват; 7 – рукоятка; 8 – рычаг

Рисунок 1 - Схема прибора ТММ-4 для нарезания колес методом огибания

«Заготовка» представляет собой круглый лист белой бумаги. Она имеет возможность совершать относительно рейки движение огиба-

ния, при котором начальная окружность заготовки катится без скольжения по начальной прямой рейки. Для осуществления такого движения диск 3 охвачен проволокой 4. При перекачивании диска один конец проволоки наматывается на диск, а другой – сматывается с него. Захват 6 и рукоятка 7 с помощью эксцентрикового механизма создают необходимое натяжение шнура. Рычаг 8 с помощью храпового механизма осуществляет совместное движение рейки 1 и диска 3.

Для регулирования расстояния от средней линии рейки до центра диска 3 рейка имеет пазы и винты 5 для закрепления рейки. Поскольку рейка на установке не имеет движения резания, то для получения профиля нарезаемого зуба положения режущих кромок рейки относительно «заготовки» фиксируются карандашом. Исходными данными для выполнения работы являются модуль m , делительный диаметр d , профильный угол исходного контура α , нанесенный на рейке. В процессе выполнения лабораторной работы нужно определить: число зубьев z нарезаемого колеса, диаметр основной окружности d_b , диаметр окружности впадин d_f , шаг зубьев по делительной окружности p , толщину зуба по окружности и вершин S_a , толщину зуба по основной окружности S_b , толщину зуба по делительной окружности S , диаметр окружности вершин d_a .

2. Расчет геометрических параметров нарезаемого зубчатого колеса

1. Определение основных размеров и числа зубьев нулевого колеса (при $x=0$):

а) число зубьев нарезаемого колеса

$$z = d/m = \quad (1)$$

б) диаметр основной окружности

$$d_b = d \cdot \cos \alpha = \quad (2)$$

в) диаметр окружности вершин

$$d_a = d + 2 \cdot h_a^* \cdot m = \quad (3)$$

где $h_a^* = 1,0$ коэффициент высоты головки зуба

г) диаметр окружности впадин

$$d_f = d - 2 \cdot (h_a^* + c^*) \cdot m = \quad (4)$$

где $c^* = 0,25$ коэффициент радиального зазора

д) шаг зубьев по делительной окружности

$$p = \pi \cdot m = \quad (5)$$

е) толщина зубьев по делительной окружности

$$S = \pi \cdot m/2 = \quad (6)$$

з) толщина зуба по основной окружности

$$S_b = d_b \cdot \left(\frac{S}{d} + \operatorname{inv}\alpha \right) = \quad (7)$$

где $\operatorname{inv}\alpha = \operatorname{tg}\alpha - \alpha$ – эвольвентная функция угла α (угол подставляется в радианах), либо определяется по приложению, рад;

и) толщина зуба по окружности вершин

$$S_a = d_a \cdot \left(\frac{S}{d} + \operatorname{inv}\alpha - \operatorname{inv}\alpha_a \right) = \quad (8)$$

где $\alpha_a = \arccos(d_b/d_a) =$ рад. (9)

$$\operatorname{inv}\alpha_a = \operatorname{tg}\alpha_a - \alpha_a =$$

После расчетов на «заготовку» с начерченными зубьями наносят четыре окружности колеса: делительную, основную, окружности вершин и впадин; замеряют толщины зубьев S, S_a, S_b . Эти величины сравнивают с соответствующими величинами, полученными в результате теоретических расчетов.

3. Определение размеров корригированного колеса

Исходные данные в этой работе таковы, что в нарезанных зубьях будет иметь место явление подрезания. Для устранения этого явления производится корригирование зубчатого колеса. При помощи корригирования (или исправления) зубчатых колес можно также увеличить прочность зубьев, уменьшить их износ, обеспечить минимальные размеры зубчатой передачи, достаточную плавность работы передачи и др.

Таким образом, корригирование – это исправление зубчатых колес с целью повышения качественных характеристик передачи путем смещения инструментальной рейки при нарезании зубчатых колес. При этом одним из основных требований при выборе коэффициента смещения является отсутствие подрезания зубьев. Величина смещения инструментальной рейки при этом

$$b = x \cdot m = \quad (10)$$

где x – коэффициент смещения.

Величина коэффициента смещения, необходимая для устранения подрезания ножки зуба, равна

$$x = \frac{2 \cdot h_a^* - z \cdot \sin^2 \alpha}{2}. \quad (11)$$

где h_a^* – коэффициент высоты головки зуба.

При $h_a^* = 1$ и $\alpha = 20^\circ$

$$x = \frac{17 - z}{17} = \quad (12)$$

Определим размеры корригированного колеса.

1. Диаметр окружности вершин

$$d_a = d + 2 \cdot h_a^* \cdot m + 2 \cdot x \cdot m = \quad (13)$$

2. Диаметр окружности впадин

$$d_f = d - 2 \cdot (h_a^* + c^*) \cdot m + 2 \cdot x \cdot m = \quad (14)$$

3. Толщина зуба по делительной окружности

$$S = \frac{\pi \cdot m}{2} + 2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha = \quad (15)$$

4. Формулы (7) и (8) для определения толщины зубьев по основной окружности и окружности вершин остаются такими же, как и для нулевых колес.

Для вычерчивания зубьев корригированного колеса используется та же «заготовка», повернутая к рейке противоположным сектором, свободным от чертежа. На эту часть «заготовки» наносятся окружность вершин, впадин, основная окружность, делительная и начальная окружности. Производится положительный сдвиг рейки (от центра «заготовки») на величину $x \cdot m$. Сдвиг рейки отсчитывают по шкалам, которые нанесены на станине. Затем вычерчиваются три зуба корригированного колеса и измеряют толщины зуба S, S_a, S_b . Значения толщин зуба, полученные экспериментально, сравниваются с теоретическими значениями.

4. Последовательность выполнения работы и оформления отчета

1. Определить число зубьев и геометрические размеры нулевого зубчатого колеса.

2. Провести на одном из секторов «заготовки» окружности вершин, впадин, делительную и основную,

3. Вычертить на «заготовке» три зуба нулевого зубчатого колеса.

4. Замерить толщины зубьев S, S_a, S_b с чертежа нулевого зубчатого колеса и сравнить их с такими же величинами, полученными теоретически.

5. Определить величину смещения инструментальной рейки, обеспечивающего отсутствие подрезания зубьев.

6. Определить геометрические размеры корригированного зубчатого колеса.

7. Провести соответствующие окружности на втором секторе «заготовки».

8. Вычертить три зуба корригированного зубчатого колеса. Чертеж прилагается к отчету.

9. Замерить толщины зубьев S, S_a, S_b с чертежа корригированного зубчатого колеса и сравнить их с вычисленными значениями. При этом все полученные результаты замера величия S, S_a, S_b для нулевого

и корригированного колес и их расчетные значения записываются в таблицу 1.

Таблица 1 - Сравнение результатов построений и расчетов

Толщина зуба	Нулевое колесо		Корригированное колесо	
	Расчетное значение	Эксперимент. значение	Расчетное значение	Эксперимент. значение
По делительной окружности S				
По основной Окружности S_b				
По окружности вершин S_a				

Работу выполнил: _____

Работу принял: _____

« ____ » _____ 20__ г.

Контрольные вопросы.

1. Какие существуют методы нарезания зубчатых колес? Их достоинства и недостатки. Какие инструменты применяют при этих методах?
2. Какому условию должны удовлетворять профили зубьев передачи с постоянным передаточным отношением?
3. Что такое шаг и модуль?
4. Что такое делительная и основная окружности? Как определяются их радиусы?
5. Каково относительное движение колеса и рейки в процессе нарезания?
6. Виды нарезаемых колес.
7. Когда наблюдается явление подреза зуба рейкой?
8. Какими способами можно избежать подреза зуба?
9. Как подсчитать наименьшее смещение рейки из условия отсутствия подрезания зуба?
10. Какие параметры колеса изменяются при нарезании его со смещением исходного контура?
11. Какие вы знаете виды зацеплений, составленные из ненулевых колес?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ОБМЕР И РАСШИФРОВКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Цель работы – изучение методов определения основных параметров эвольвентных зубчатых колес с помощью инструментов

1. Теоретическое обоснование

Зубчатые передачи в современном машиностроении получили широкое применение. Они служат для передачи вращения и мощности между двумя валами, различным образом расположенными в пространстве. Передачи с параллельными осями валов имеют цилиндрические зубчатые колеса с внешним или внутренним зацеплением зубьев.

Нередко при выходе из строя зубчатой пары (вследствие износа или поломки зубьев) из-за отсутствия чертежа приходится расшифровывать зубчатые колеса. В этом случае путем обмера определяют основные параметры зубчатого зацепления, а также геометрические размеры колес. В работе используются: штангенциркуль, штангензубомер и набор зубчатых колес.

Основными параметрами, характеризующими зубчатое колесо эвольвентного профиля, являются:

z – число зубьев колеса;

m – модуль зубьев, показывающий, какая часть диаметра делительной окружности, выраженного в миллиметрах, приходится на один зуб;

d – диаметр делительной окружности. Делительной называется окружность, которая является базовой для определения размеров зубьев (определение ГОСТ 16530–70). При этом модуль для делительной окружности имеет стандартную величину;

p – шаг по делительной окружности, это расстояние между одноименными профилями двух смежных зубьев, измеренное по делительной окружности;

α – угол профиля исходного контура зуборезной рейки;

d_b – диаметр основной окружности. Основной окружностью зубчатого колеса называется окружность, которая служит для образования эвольвентных профилей зубьев колес, т.е. окружность, развертка которой является профилем зуба эвольвентного цилиндрического зубчатого колеса;

x – коэффициент смещения (коррекции);

d_a – диаметр окружности вершин. Эта окружность ограничивает зуб сверху;

d_f – диаметр окружности впадин. Эта окружность ограничивает зуб снизу;

s – толщина зуба по делительной окружности;

s_b – толщина зуба по основной окружности. Число зубьев z измеряемого зубчатого колеса определяется непосредственным подсчетом.

Модуль зубьев колеса с эвольвентным профилем может быть рассчитан на основании свойств эвольвенты: нормаль к эвольвенте является касательной к основной окружности.

1 способ определения модуля. Охватывая губками E и D штангенциркуля определенное число n зубьев зубчатого колеса (рисунок 1), определим длину общей нормали W_n , а затем, охватив на один зуб больше, определим длину общей нормали W_{n+1} . Чтобы обеспечить в обоих случаях касание губок E и D штангенциркуля эвольвентных участков профилей зубьев зубчатого колеса, при измерении необходимо брать значение n в зависимости от числа зубьев z измеряемого зубчатого колеса. В таблице 1 указано число охватываемых зубьев n , при котором условие это выполняется.

Таблица 1 - Число охватываемых зубьев n при измерении длины общей нормали W

z	12...18	19...27	28...36	37...45	46...54	55...63	64...72	73...80
n	2	3	4	5	6	7	8	9

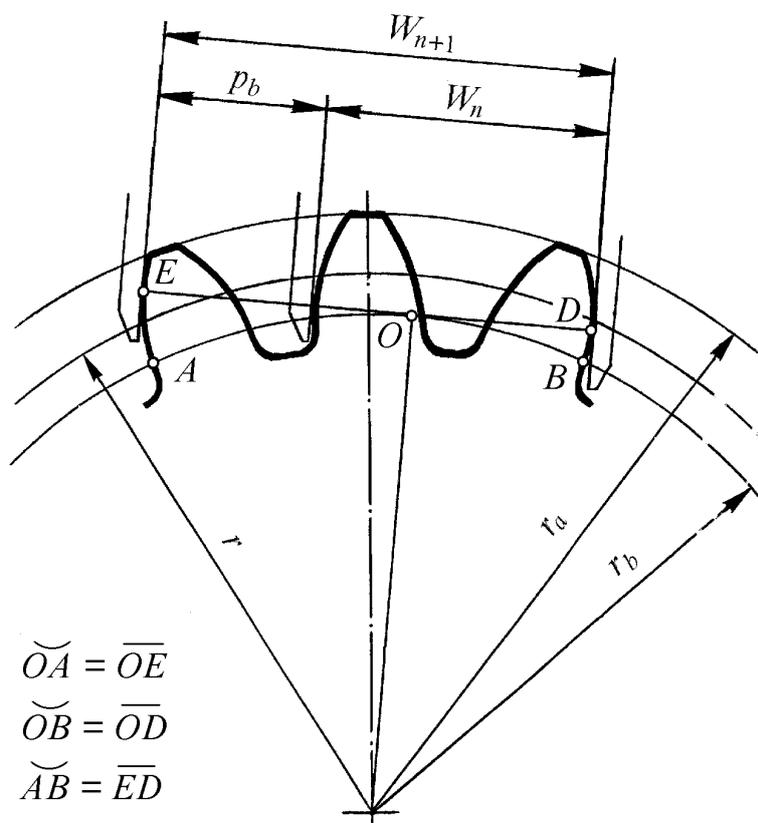


Рисунок 1 - Определение длины общей нормали и шага по основной окружности зубчатого колеса

Разность измеренных отрезков $W_{n+1} - W_n$ будет соответствовать расстоянию между профилями соседних зубьев по нормали. По свойству эвольвенты этот отрезок нормали представляет развертку основной окружности и равен шагу по основной окружности:

$$p_b = W_{n+1} - W_n = \pi m \cos \alpha. \quad (1)$$

Из этого равенства определяется значение модуля. Замер величины W_n и W_{n+1} выполняется трижды. Затем находят средние значения W_n и W_{n+1} , по которым определяют модуль:

$$m = \frac{(W_{n+1} - W_n)}{\pi \cos \alpha}, \quad (2)$$

где α – угол профиля зуба инструментальной рейки, равный 20° .

Значения модуля, полученные в результате замеров и расчета по формуле (2), могут не совпадать со стандартными вследствие износа зубчатых колес, неточностей при их изготовлении и при замерах. Поэтому значение модуля, полученное по формуле (2), необходимо округлить до ближайшего стандартного. Стандартные значения модулей приведены в таблице 2.

2 способ. Измеряют диаметр окружности впадин d_f и диаметр окружности вершин d_a , затем из формулы высоты зуба находят модуль

$$h_z = h_r + h_n = h_a^* m + (h_a^* + c^*) m = (2h_a^* + c^*) m = \frac{d_a - d_f}{2}. \quad (3)$$

$$\text{Тогда } m(h_a^* = 1,0) = \frac{d_a - d_f}{2(2h_a^* + c^*)} =$$

$$m(h_a^* = 0,8) = \frac{d_a - d_f}{2(2h_a^* + c^*)} =$$

Коэффициент высоты головки зуба $h_a^* = 1,0$ или $0,8$; коэффициент радиального зазора $c^* = 0,25$.

Таблица 2 - Стандартные значения модулей, мм

1-й ряд (предпочтительный)

0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,15	0,2	0,25	0,30	0,40	0,50	0,6	0,8
1	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10	12	16
20	25	32	40	50	60	80	100					

2-й ряд

0,055	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,35	0,45	0,55
0,70	0,90	1,125	1,375	1,75	2,25	2,75	3,50	4,50	5,50	7
9	11	14	18	22	28	36	45	55	70	90

Как видно из таблицы, определение основного шага p_b должно быть выполнено с достаточной точностью. Измерение зубчатого коле-

са с помощью штангенциркуля, имеющего точность до 0,02 мм, может дать вполне удовлетворительные результаты.

Выбираем значение модуля m и коэффициента высоты головки зуба h_a^* по наилучшему соотношению диаметра делительной окружности.

Диаметр делительной окружности и шаг по делительной окружности определяются по формулам:

$$\begin{aligned} d &= mz, \quad p = \pi m. \\ d_f &< d < d_a. \end{aligned} \quad (4)$$

Диаметр основной окружности и шаг по основной окружности определяются по формулам:

$$d_b = mz \cos \alpha; \quad p_b = \pi m \cos \alpha. \quad (5)$$

Угол исходного контура для прямозубых зубчатых колес α уточняется по формуле:

$$\cos \alpha = \frac{p_b}{p} = \frac{W_{n+1} - W_n}{\pi m}. \quad (6)$$

Полученное значение угла α следует сравнить со стандартным $\alpha = 20^\circ$.

Толщина зуба по основной окружности s_b может быть определена по замерам W_n и W_{n+1} , сделанным при определении шага по основной окружности p_b . Из схемы установки штангенциркуля на колесе (рисунок 1) следует, что

$$s_b = W_{n+1} - n p_b. \quad (7)$$

Подставляя в выражение (7) значение p_b из соотношения (1), получим искомую величину:

$$s_b = n W_n - (n - 1) W_{n+1}. \quad (8)$$

Если обмеряемое колесо нарезано со сдвигом режущего инструмента, то необходимо определить коэффициент смещения x . Зная толщину зуба S_b и шаг p_b , из формулы

$$s_b = 2r_b \left(\frac{s}{2r} + \operatorname{inv} \alpha \right) = \frac{p_b \cdot z}{\pi} \left(\frac{0,5\pi \cdot m + 2x \cdot m \cdot \operatorname{tg} \alpha}{mz} + \operatorname{inv} \alpha \right), \quad (9)$$

после преобразований найдем:

$$x = \frac{s_b \cdot \pi / p_b - \pi / 2 - z \cdot \operatorname{inv} \alpha}{2 \operatorname{tg} \alpha}. \quad (10)$$

Также коэффициент смещения находят из формул диаметров вершин и впадин.

$$\text{Диаметр окружности вершин } d_a = d + 2 \cdot h_a^* \cdot m + 2 \cdot x \cdot m. \quad (11)$$

$$\text{Диаметр окружности впадин } d_f = d - 2 \cdot (h_a^* + c^*) \cdot m + 2 \cdot x \cdot m. \quad (12)$$

$$x_a = (d_a - d + 2 \cdot h_a^* \cdot m) / (2 \cdot x) =$$

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

$$x = 0,5 \cdot (x_a + x_f) =$$

Измерение диаметров окружностей вершин d_a и впадин d_f при четном числе зубьев на колесе производится непосредственно с помощью штангенциркуля как расстояние между крайними точками головок и впадин зубьев, расположенных диаметрально. При нечетном числе зубьев предварительно измеряется диаметр отверстия ступицы колеса для посадки на вал, а затем расстояния от отверстия до вершины и до окружности впадин.

При контроле точности нарезания иногда измеряют толщину зуба по хорде делительной окружности. В пределах высоты зуба его толщину по любой хорде можно измерить с помощью штангензубомера, который имеет две шкалы с нониусами. Одна шкала служит для замера толщины по хорде, а вторая – для замера расстояния этой хорды до окружности вершин колеса. Вдоль второй шкалы перемещается установочная пластина.

Чтобы измерить толщину зуба по хорде, необходимо предварительно рассчитать радиальное расстояние h от этой хорды до вершины зуба и отодвинуть на это расстояние установочную пластину. Затем нужно установить штангензубомер на зубе таким образом, чтобы установочная пластина упиралась в вершину зуба (рисунок 2), и сдвинуть губки зубомера до касания с зубом. Результат измерения читается на первой шкале.

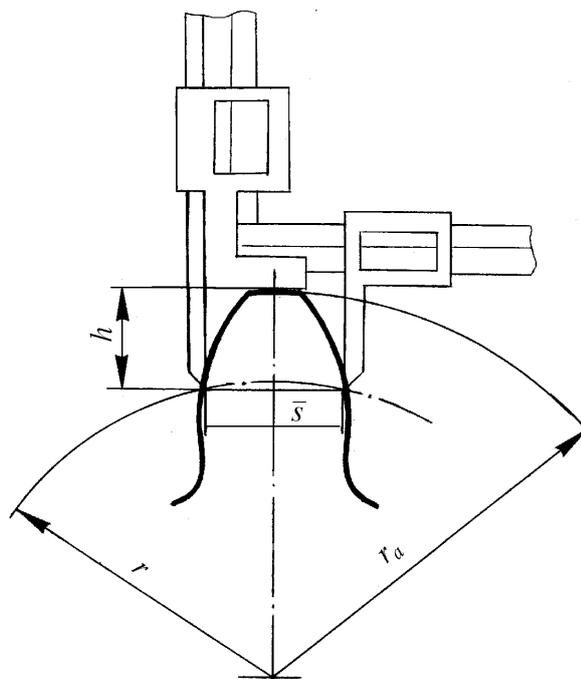


Рисунок 2 - Измерение толщины зуба по хорде делительной окружности

Радиальное расстояние h от вершины зуба до хорды определяется, как это видно на рис. 3.2, по формуле

$$h = \frac{d_a - d \cos \gamma}{2}, \quad (10)$$

где γ – половина центрального угла толщины зуба, измеренной по дуге делительной окружности:

$$\gamma = s / d. \quad (11)$$

Толщину зуба по хорде делительной окружности можно подсчитать по формуле

$$\bar{s}_{\text{расч}} = d \sin \gamma. \quad (12)$$

3.2. Последовательность выполнения работы

1. Определение модуля зубчатого колеса.
2. Определение шага по делительной и основной окружностям.
3. Определение угла исходного контура.
4. Определение толщины зуба по основной окружности.
5. Определение коэффициента смещения исходного контура.
6. Определение толщины зуба по хорде делительной окружности.

3.3. Оформление отчета

Лабораторная работа № 2 Обмер и расшифровка зубчатых колес

Колесо №

Число зубьев $z =$

1. Определение модуля прямозубого зубчатого колеса. Начертить схему установки штангенциркуля на колесе (см. рисунок 1). Определить длину общей нормали W_n и W_{n+1} , шаг по основной окружности $p_b = W_{n+1} - W_n$. Значения величин W_n и W_{n+1} свести в таблицу.

Таблица 3 - Определение длины общей нормали

№№ замеров	W_n	W_{n+1}	$p_b = W_{n+1} - W_n$
1			
2			
3			
Среднее значение			

Вычислить модуль по формуле (2) и сравнить со стандартным значением.

2. Определение шага по делительной окружности прямозубого колеса p .

3. Определение диаметра делительной окружности d .

4. Определение диаметра основной окружности d_b .
5. Определение толщины зуба по основной окружности s_b .
6. Определение коэффициента смещения исходного контура x .
7. Определение толщины зуба по делительной окружности s .
8. Измерение диаметров окружностей вершин и впадин зубьев. Построить схему измерения. Значения диаметров определить как среднее значения из трех измерений, выполненных для разных зубьев и впадин.
9. Построение схемы установки штангензубомера на зубе (см. рисунок 3).
10. Определение радиального расстояния h от вершины зуба до хорды делительной окружности по формуле (10).
11. Определение толщины зуба по хорде делительной окружности \bar{s} по формулам (11), (12).
12. Измерение толщины зуба по хорде. Результаты свести в таблицу.

Таблица 4 - Результаты замеров толщины зуба

№№ замеров	1	2	3
Показание штангензубомера \bar{s} , мм			
Среднее значение $\bar{s}_{\text{ср}}$, мм			

13. Сравнение результатов измерения и расчетов ($\Delta\bar{s} = \bar{s}_{\text{ср}} - \bar{s}_{\text{расч}}$).

Работу выполнил _____

Работу принял _____

3.4. Контрольные вопросы

1. С какой целью производится расшифровка зубчатых колес?
2. Какие параметры, определяемые расшифровкой, характеризуют зубчатое колесо?
3. Какие параметры характеризуют зацепление пары колес?
4. Какова связь между основными параметрами в зубчатом колесе?
5. Из каких этапов состоит расшифровка зубчатых колес?
6. Как измеряется основной шаг?
7. Как измеряется толщина зуба по хорде с помощью штангензубомера?
8. Какова особенность определения диаметров вершин и впадин в случае нечетного числа зубьев на колесе?