

**Министерство высшего образования и науки Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования**

***АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ***

**Т. А. Луганцева, И. Н. Кузьмин**

**ЭВОЛВЕНТНОЕ ЗАЦЕПЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ  
КОЛЕС**

***Учебно-методическое пособие***

**Благовещенск 2019**

УДК 621

ББК 34.445

*Рекомендовано*

*учебно-методическим советом факультета дизайна и технологий*

*Рецензент:*

*канд. техн. наук, доцент кафедры естественнонаучных и общетехнических дисциплин Дальневосточного высшего общеобразовательного командного училища имени Маршала Советского союза К.К.Рокоссовского*

Н. М. Ларченко

### **Эвольвентное зацепление цилиндрических зубчатых колес**

учебно-методическое пособие / Т. А. Луганцева, И. Н. Кузьмин –

Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2019. – 26 с.

Пособие включает в себя: требования к знаниям, умениям и навыкам, которые должен приобрести студент в результате изучения темы, теоретические сведения, которые могут помочь студенту более свободно ориентироваться в рассматриваемом материале.

Работа знакомит с наиболее распространенным методом образования зубьев цилиндрических прямозубых зубчатых колес, а также с явлением подрезания зубьев в процессе их изготовления.

Краткий теоретический курс может быть использован студентами для подготовки к занятиям, выполнению лабораторных работ, тестированию и зачету, наряду с другой литературой рекомендуемой к изучению дисциплины.

Пособие предназначено для студентов всех специальностей и форм обучения университета, изучающих курс теории механизмов и машин, механики и прикладной механики.

© Луганцева Т. А. , И. Н. Кузьмин

© Амурский государственный университет, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Теоретические сведения	5
1. Эвольвентное зацепление цилиндрических зубчатых колес	5
2. Способы изготовления зубчатых колес	7
3. Основные параметры зубчатых колес	9
4. Особенности станочного зацепления зубчатого колеса (заготовки) и производящей рейки	13
5. Лабораторная работа	16
6. Описание конструкции прибора, моделирующего нарезание зубьев колеса инструментальной рейкой	16
7. Геометрические расчеты при нарезании зубчатого колеса инструментальной рейкой	18
8. Порядок проведения работы при нарезании зубчатого колеса инструментальной рейкой	19
9. Требования к оформлению отчета	20
10. Вопросы к защите лабораторной работы	24
Библиографический список	25

## ВВЕДЕНИЕ

В современной технике большую роль играют механизмы для передачи вращения, которые обеспечивают связь между ротором двигателя и входным звеном исполнительного механизма. Подавляющее большинство таких механизмов представляют собой зубчатые передачи. Их применяют для передачи вращения и крутящего момента между параллельными, пересекающимися и скрещивающимися осями валов, а также для преобразования вращательного движения в поступательное. Наибольшее распространение получили зубчатые передачи с эвольвентным зацеплением.

В настоящем методическом пособии рассматривается методика расчета для нормальных и корригированных цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем зуба с внешним зацеплением.

После выполнения работы студент должен наглядно представить себе процесс зацепления, усвоить основные термины, встречающиеся в теории зубчатого зацепления, и уметь определять основные параметры и размеры зубчатой передачи.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1. ЭВОЛЬВЕНТНОЕ ЗАЦЕПЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Простой зубчатый механизм состоит из пары зацепляющихся зубчатых колес, т.е. из пары колес с последовательно чередующимися впадинами и выступами определенной формы.

Свойства зубчатого механизма во многом определяются выбором типа кривых, по которым очерчиваются боковые поверхности зубьев и которые определяют профиль зубчатых колес. Выбор же кривых должен, прежде всего, для любых зубчатых колес удовлетворять основной теореме зацепления – общая нормаль, проведенная в точке касания двух звеньев, делит межцентровое расстояние на части обратно пропорциональные мгновенным угловым скоростям (теорема Виллиса).

Для постоянства передаточного отношения необходимо, чтобы общая нормаль к профилям зубчатых колес в любой момент зацепления проходила через одну и ту же точку на линии центров, называемую полюсом зацепления.

Линии, по которым выполнены боковые профили зубьев колес, удовлетворяющих постоянному передаточному значению передаточного отношения, называются сопряженными.

Основной теореме зацепления удовлетворяет большое число кривых.

В настоящее время в машиностроении основной кривой для сопряженных профилей является эвольвента круга, предложенная Леонардом Эйлером в 1754 году.

Эвольвентные зубчатые колеса технологичны в изготовлении, режущий инструмент сравнительно прост и передаточное отношение не меняется при износе зубьев и изменении межцентрового расстояния.

Геометрическое место центров кривизны какой-либо кривой называется эволютой, а сама кривая по отношению к эволюте называется разверткой или эвольвентой. Следовательно, эвольвента окружности есть

кривая, центры кривизны которой лежат на окружности. В теории зацепления окружность, эвольвентой которой является профиль зуба, называется основной окружностью.

Траектория общей точки контакта профилей зубьев в неподвижной системе координат называется линией зацепления. В эвольвентном зацеплении линией зацепления является прямая  $AB$  (рисунок 1) - общая касательная к основным окружностям, проходящая через полюс зацепления (теоретическая линия зацепления).

Так как окружности вершин зубчатых колес ограничивают размеры эвольвенты, то контакты зубьев происходят не по всей длине линии зацепления  $AB$ , а используется лишь часть этой линии, а именно отрезок  $ab$ . Участок линии зацепления  $ab$ , заключенный между окружностями вершин зубьев, называется практической или рабочей линией зацепления.

Угол  $\alpha_w$  между линией зацепления и перпендикуляром к межосевой линии называется углом зацепления.

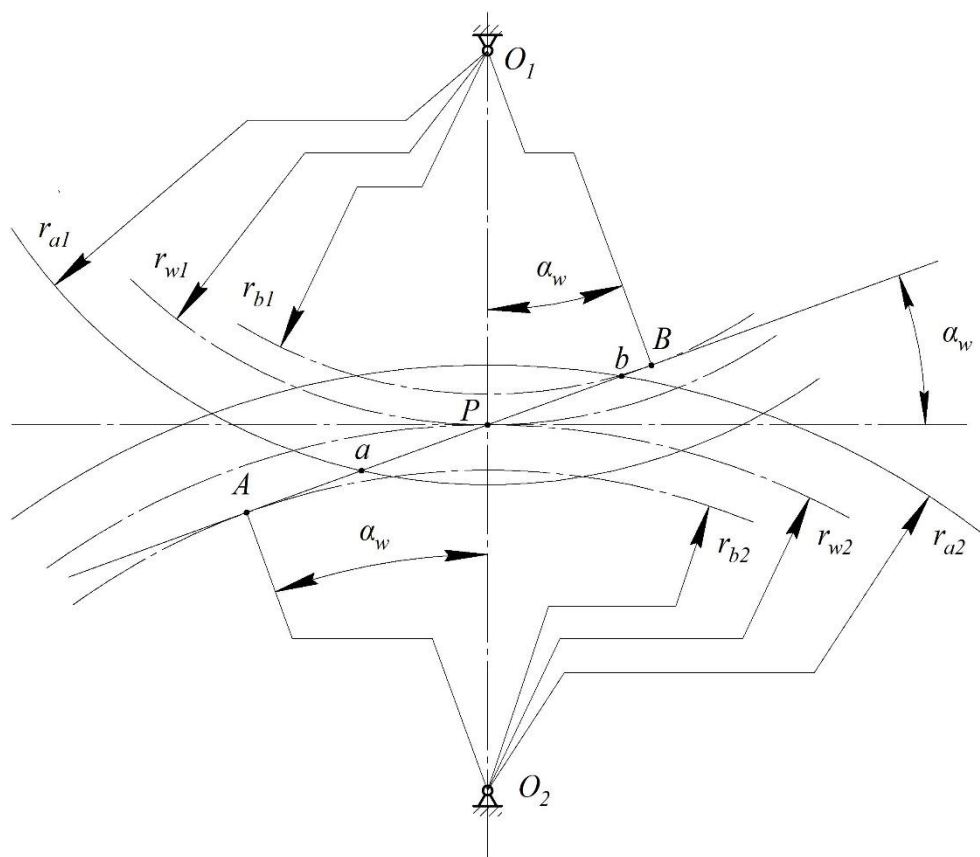


Рисунок 1 – Линия зацепления

## 2. СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Технологические процессы изготовления зубчатых колес делятся на две группы.

К первой группе относятся такие технологические процессы, которые основаны на обработке материала без снятия стружки (например, литье под давлением).

Ко второй группе относятся процессы, при которых получение зубчатого венца выделяется в самостоятельную операцию (например, зубонарезание).

Нарезание зубьев производится методом копирования или методом обкатки. Метод копирования является менее распространенным, чем метод обкатки. Он применяется в основном при обработке зубчатых колес неэвольвентного профиля и при ремонте, если нет зуборезного оборудования, работающего по методу обкатки.

Сущность метода копирования заключается в том, что изготовление зубчатого венца производится инструментом, имеющим профиль, совпадающий с профилем его впадины. После нарезания одной впадины с помощью дисковой (или пальцевой) фрезы заготовка поворачивается на угловой шаг, и процесс повторяется до тех пор, пока не будут нарезаны все впадины.

При нарезании зубчатых колес по методу копирования для каждого сочетания модуля зубчатых колес  $m$  и числа зубьев колеса  $z$  нужно иметь отдельную фрезу.

Основные недостатки метода копирования:

а) низкая точность. Для точного профилирования колес с различными числами зубьев (одного модуля и основного шага) необходима отдельная фреза с точной установкой по отношению к заготовке. Даже в самом большом наборе из 26 фрез одной фрезой нарезаются колеса с разными числами зубьев. Основные окружности, однозначно определяемые эвольвентами, имеют при этом свои центры в разных местах, не

совпадающих с осью вращения заготовки. Это приводит к тому, что передаточное отношение в зацеплении, собранном из таких колес, меняется во время работы каждой пары профилей, что недопустимо при больших и средних скоростях;

б) большое инструментальное хозяйство - в наборе одного модуля (и основного шага) до 26 инструментов;

в) низкая производительность, так как впадины нарезаются последовательно, а не одновременно (этот недостаток не характерен для протяжек и тому подобных инструментов).

Основным методом изготовления зубьев является метод обкатки (фрезерование червячной фрезой, обработка долбяком, инструментальной рейкой, накатка зубьев).

При нарезании зубчатых колес по методу обкатки инструментальной рейкой режущий контур инструмента имеет очертание рейки (рисунок 2). Автоматическое образование эвольвентного профиля, при нарезании зубчатых колес по этому методу, получается в результате согласованных перемещений зуборезного инструмента и заготовки колеса. При этом зубья формируются постепенно и одновременно для всего колеса.

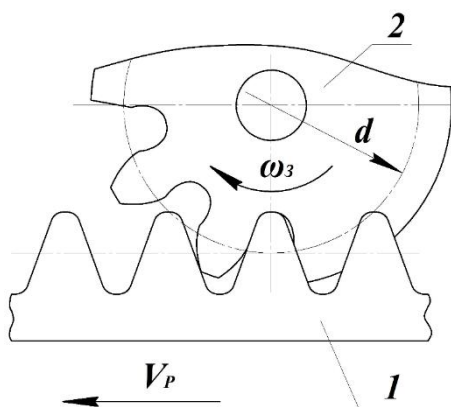


Рисунок 2 - Нарезание колеса инструментальной рейкой:

1 - рейка; 2 - заготовка

Преимущество метода обкатки по сравнению с методом копирования заключается, в первую очередь, в универсальности зуборезного инструмента. Одним и тем же инструментом можно нарезать зубчатые колеса с любым



числом зубьев. При этом, выбирая соответствующую установку инструмента по отношению к заготовке, можно получить наиболее выгодную форму профиля зуба, в частности, таким образом можно устранить явление подрезания.

В настоящее время нарезание зубьев по методу обкатки является самым производительным, т.к. процесс резания происходит непрерывно и одновременно с обкаткой.

### 3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС.

Понятия и термины, относящиеся к геометрии и кинематике зубчатых передач, стандартизованы. Стандарты устанавливают термины, определения и обозначения, а также методы расчета геометрических параметров. Меньшее из пары зубчатых колес в зацеплении называется шестерней и обозначается индексом 1, большее называется колесом и обозначается индексом 2.

В зубчатых колесах различают следующие поверхности или окружности: начальная, основная, делительная, вершин зубьев, впадин зубьев.

Рассмотрим параметры зубчатого колеса (рисунок 3):

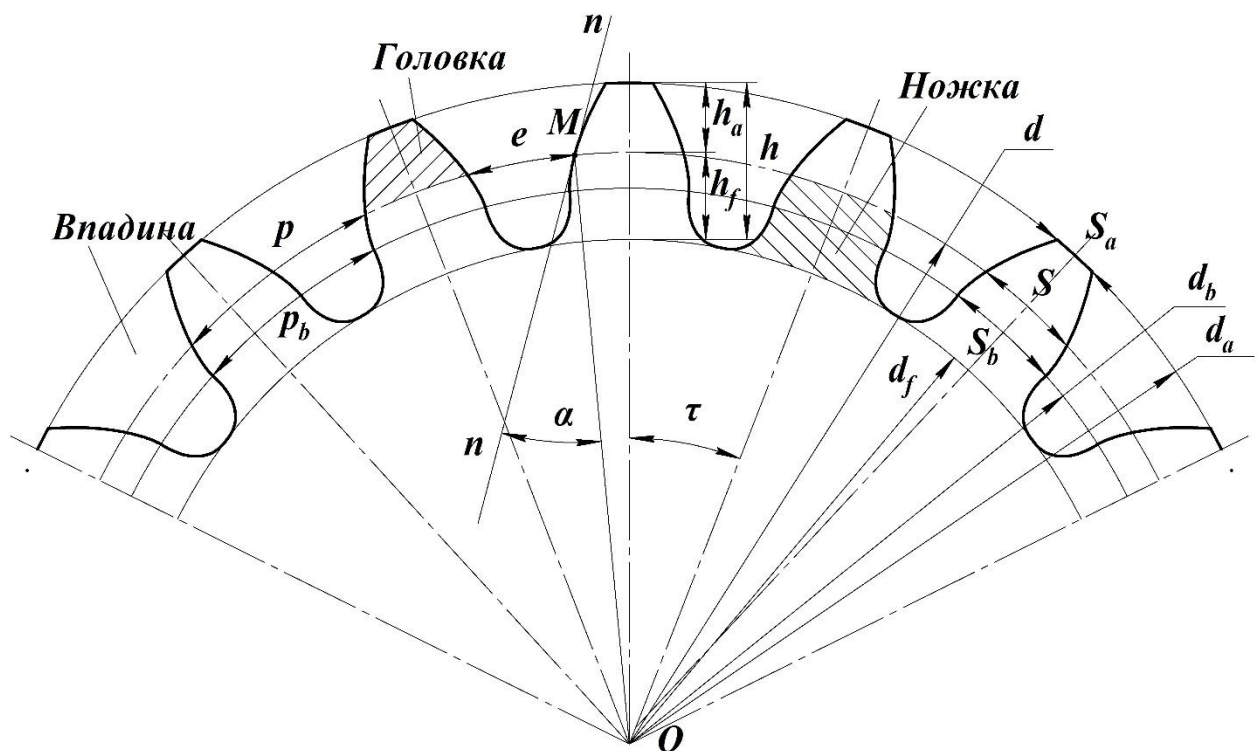


Рисунок 3 – Параметры зубчатого колеса

- начальными называются такие окружности ( $d_w$ ), которые катятся друг по другу без скольжения и являются центроидами в относительном движении;

- окружность ( $d_b$ ), эвольвентой которой является профиль зубьев, называется основной окружностью.

- делительная окружность ( $d$ ) – это теоретическая окружность зубчатого колеса, на которой модуль и шаг принимают стандартные значения, она является базовой для определения размеров зубьев;

- окружность ( $d_a$ ), соединяющая вершины зубьев колеса и ограничивающая высоту зубьев называется окружностью вершин зубьев;

- окружность ( $d_f$ ), ограничивающая глубину впадин, отделяющая зубья от тела зубчатого колеса, называется окружностью впадин зубьев.

Для колес, зубья которых нарезаны без смещения зуборезного инструмента, делительная и начальная окружности совпадают, но при этом надо иметь в виду их принципиальное отличие. Делительная окружность есть характеристика одного зубчатого колеса, с которым она неизменно связана, и диаметр этой окружности имеет постоянную величину. Начальные

окружности дают характеристику зацепления двух зубчатых колес, и диаметры этих окружностей зависят от межцентрового расстояния.

К основным геометрическим параметрам эвольвентного зубчатого колеса относятся: модуль  $m$ , окружной шаг  $p$ , угол профиля  $\alpha$ , число зубьев  $z$  и коэффициент относительного смещения  $x$ .

Окружной шаг зубчатого зацепления  $p$  – это расстояние между одноименными сторонами двух соседних зубьев колеса, измеренное по дуге какой-либо окружности.

Каждый зуб очерчен двумя симметрично расположенными профилями.

Расстояние между этими профилями ( $S$ ), измеренное по какой-либо окружности, называется толщиной зуба.

Теоретическая толщина зуба, взятая по дуге делительной окружности, при отсутствии коррекции равна половине шага, практически, толщину зуба берут несколько меньшую, обеспечивая зазор между сопряженными зубьями. Это необходимо во избежание заклинивания зубьев и для создания хороших условий смазки. Величина бокового зазора устанавливается в зависимости от класса точности передачи, модуля и диаметра колес.

Ширина впадины  $e$  по какой-либо окружности – это расстояние по дуге окружности между разноименными точками профилей соседних зубьев.

Одним из основных параметров зубчатой передачи является модуль зубчатого зацепления.

Модуль зубчатого зацепления определяет размеры зуба, форму и размеры зуборезного инструмента и при заданном числе зубьев размеры зубчатого колеса.

Модуль ( $m$ ) – это число миллиметров диаметра делительной окружности зубчатого колеса, приходящееся на один зуб, или отношение окружного шага зацепления к числу  $\pi$ :

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

Виды модулей: делительный, основной, начальный. Для ограничения ассортимента зуборезного инструмента ГОСТом установлен стандартный ряд значений модулей, которые определяются по делительной окружности.

Таблица 1 – стандартные значения модулей - (СТ СЭВ 310-76) (мм.).

1-й ряд	1,0	1,25	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
	12,0	16,0	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	-	-
2-й ряд	1,125	1,375	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7,0
	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0	36,0	45,0	

и т.д.

Окружной шаг  $p$  и модуль  $m$  для одного и того же зуба зависят от диаметра окружности, к которой они относятся.

Делительная окружность в торцевом сечении (в сечении перпендикулярном оси вращения) делит зуб на две части - головку и ножку.

Головка зуба – это часть зуба, расположенная между делительной окружностью зубчатого колеса и его окружностью вершин.

Ножка зуба – это часть зуба, расположенная между делительной окружностью зубчатого колеса и его окружностью впадин.

Высота головки зуба обозначается через  $h_a$ , высота ножки зуба через  $h_f$ , общая высота зуба через  $h$ .

Высота ножки больше высоты головки, так как между окружностью вершин одного зуба и окружностью впадин другого зуба должен быть зазор, называемый радиальным зазором, определяемый по формуле:

$$c = c^* \cdot m,$$

где  $c^*$  - коэффициент радиального зазора, для нормальных колес равный 0,25.

Сумма высот головки  $h_a$  и ножки  $h_f$  соответствует высоте зубьев  $h$ :

$$h = h_a + h_f,$$

где  $h_a = m$ ,  $h_f = 1,25 \cdot m$ ,  $h = 2,25 \cdot m$ .

Согласно ГОСТ основные элементы зубчатого колеса обозначаются по следующим правилам: линейные величины - строчными буквами латинского алфавита, угловые - греческими буквами; установлены индексы для величин:

- по окружностям: делительной - без индекса, вершин -  $a$ , впадин -  $f$ , основная -  $b$ , начальная -  $w$ .

Все параметры зубчатого зацепления рассчитываются через модуль.

#### 4. ОСОБЕННОСТИ СТАНОЧНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА (ЗАГОТОВКИ) И ПРОИЗВОДЯЩЕЙ РЕЙКИ

Под *стандартным исходным контуром зуба рейки* по ГОСТ 13755-2015 понимается очертание зуба в нормальном сечении зубьев исходной рейки, которое соответствует зубчатому колесу внешнего зацепления с числом зубьев  $z = \infty$  и диаметру  $d = \infty$ . Исходный контур характеризуется следующими параметрами: углом профиля  $\alpha$ , высотой головки зуба  $h_a$ , высотой ножки зуба  $h_f$ , радиальным зазором в паре исходных контуров  $c$ , радиусом кривизны переходной кривой зуба  $\rho$  и другими параметрами.

Исходный контур рейки, зубья которой профилируются по впадинам исходного контура, называется исходным производящим контуром, а сама рейка - производящей рейкой.

Зацепление зубчатого колеса (заготовки) и производящей рейки является частным случаем станочного зацепления.

При нарезании зубчатых колес инструментальной рейкой с числом зубьев  $z < 17$ , режущий инструмент срезает часть главного профиля зуба, уменьшая толщину зуба у основания, к сокращению активного участка профиля и снижая его прочность на изгиб. Это явление называется подрезанием ножки зуба.

Для устранения подреза используют корригирование зубчатых колес.

Цель корригирования:

- повышение контактной прочности и долговечности зубчатого механизма за счет снижения величины коэффициента удельного давления;
- повышение износостойкости передачи за счет выравнивания и уменьшения величины коэффициентов удельного скольжения;
- повышение изгибной прочности зуба за счет увеличения толщины зуба у основания;

- понижение контактных напряжений;
- устранение подрезания профиля зуба, имеющего место при нарезании зубчатых колес с малым числом зубьев.

Сущность коррекции зубчатых колес заключается в том, что при неизменном модуле и числе зубьев колеса рабочая часть профиля зуба может быть образована новым участком эвольвенты при котором обеспечиваются требуемые качества передачи.

Способом корригирования является смещение инструментальной рейки (сдвиг средней линии исходного инструмента) относительно делительной окружности колеса.

При нарезании зубчатого колеса возможны три случая установки инструментальной рейки (рисунок 4).

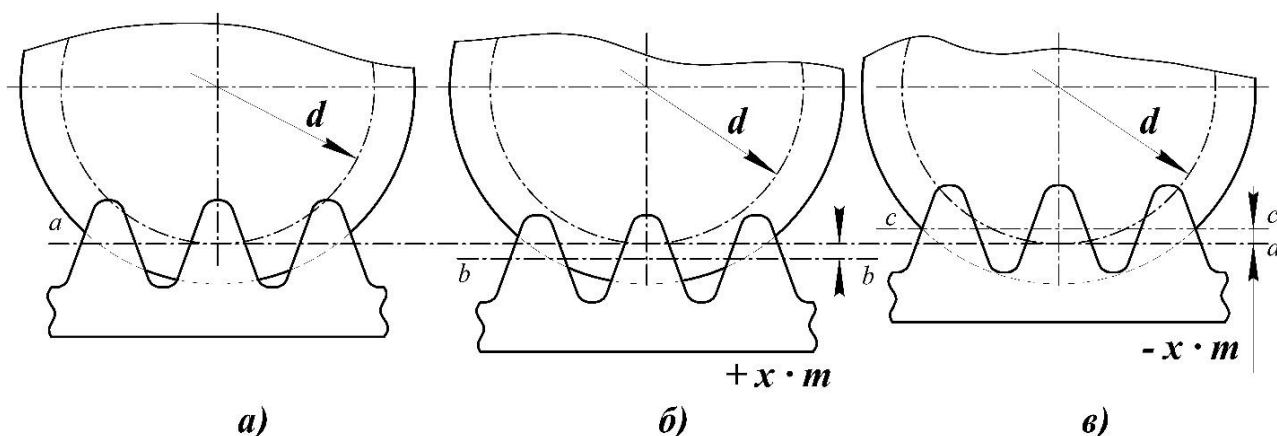


Рисунок 4 - Установка инструментальной рейки

1. Средняя линия рейки касается и обкатывается без скольжения по делительной окружности нарезаемого колеса (заготовки). Получаемое колесо называется колесом без смещения исходного контура или нулевым (нормальным) колесом (рисунок 4, а).

2. Если делительная прямая производящей рейки не касается или пересекает делительную окружность нарезаемого колеса, то такое колесо называется колесом со смещением исходного контура.

Величина смещения характеризуется расстоянием делительной прямой исходного контура и делительной окружностью заготовки. Отношение величины смещения исходного контура к расчетному модулю называется коэффициентом смещения  $x$ .

3. При удалении делительной прямой исходного контура от оси нарезаемого колеса, коэффициенту смещения приписывается знак плюс, при этом получается положительное колесо (рисунок 4, б).

4. При приближении делительной прямой исходного контура к оси нарезаемого колеса, коэффициенту смещения приписывается знак минус, при этом получается отрицательное колесо (рисунок 4, в).

Сравнивая геометрические параметры нулевого колеса с положительным и отрицательным колесом (рисунок 4), отметим, что толщина зуба по делительной окружности  $S$ , диаметр окружности вершин  $d_a$ , диаметр окружности впадин  $d_f$  у положительного колеса больше, а у отрицательного меньше, чем у нулевого колеса.

При надлежащем выборе установки исходного контура по отношению к заготовке колеса (т.е. при правильном выборе коэффициента смещения) можно избежать подреза зубьев в неблагоприятных условиях ( $z < z_{min}$ ), повысить как изгибную, так и контактную прочность колес, вписаться в заданное межосевое расстояние, уменьшить износ и улучшить смазку колес передачи.

Надо иметь в виду, что при увеличении коэффициентов смещения уменьшается коэффициент перекрытия  $\varepsilon_\gamma$ , учитывающий непрерывность и плавность зацепления в передаче. Поэтому, при проектировании передачи коэффициенты смещения надо назначать таким образом, чтобы  $\varepsilon_\gamma$  не получился бы меньше 1,05, это требование означает, что до выхода из зацепления одного зуба в зацепление должен вступить следующий зуб.

В данной лабораторной работе определяется только наименьший коэффициент смещения, устраняющий возможность возникновения подреза.

Наименьший коэффициент смещения исходного контура по подрезу:

$$x = \frac{17 - z}{17}.$$

## 5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### **«Изготовление зубчатых колес методом обкатки инструментальной рейкой»**

#### ***Цель работы:***

- ознакомление с эвольвентным зацеплением цилиндрических зубчатых колес;
- ознакомление с методами изготовления зубчатых колес способом обкатки (огибания);
- усвоение основных параметров зубчатых колес и методики геометрического расчета;
- ознакомление с явлением подрезания зубьев в процессе их изготовления.

***Оборудование и инструменты:*** приборы ТММ–42, линейка, циркуль, карандаш.

## 6. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРА, МОДЕЛИРУЮЩЕГО НАРЕЗАНИЕ ЗУБЬЕВ КОЛЕСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ РЕЙКОЙ

Влияние смещения инструмента на форму профиля зуба изучается на приборе ТММ–42, имитирующем нарезание зубьев с помощью инструментальной рейки (рисунок 5).

Прибор состоит из диска 1 и каретки 3. На каретке закреплена винтами 9 зубчатая рейка 2, имитирующая режущий инструмент. На диск нанесена делительная окружность нарезаемого колеса 10, а на рейку - ее средняя прямая 6.

Обкатывание делительной окружности диска 1 по делительной прямой рейки достигается за счет храпового механизма. Согласованное прерывистое перемещение рейки и диска осуществляется нажатием клавиши 5. При этом Г-образная рукоятка 4 должна находиться в правом положении, а рукоятка 7 натягивать струну.



При повороте рукоятки 4 в левое положение отключается храповый механизм и каретка перемещается свободно.

Рейку можно установить так, чтобы делительная окружность диска 1 катилась по выбранной делительной прямой рейки. Если рейка установлена так, что ее средняя прямая совпадает с прямой  $c - c$  и касается делительной окружности диска, то будет имитироваться процесс нарезания нулевого колеса. При смещении рейки относительно прямой  $c - c$  будет нарезано скорректированное колесо. Смещение рейки ( $X = x \cdot m$ ) отсчитывается по шкале 8, расположенной на каретке 3, закрепление рейки осуществляется двумя винтами 9.

Профили зубьев колеса получают следующим образом. На диск 1 устанавливают заготовку колеса (бумажный круг), вырезанную по диаметру диска 1, и закрепляют винтом 11. Нажимая на клавишу 5, рейке и заготовке сообщают небольшие согласованные перемещения. После каждого такого перемещения на бумажном круге необходимо очертить карандашом профиль всех зубьев рейки. В итоге на бумаге вычерчивается густая сеть линий, представляющая собой положения зубьев рейки на заготовке.

Очевидно, в реальных условиях нарезания зубчатого колеса весь материал заготовки, оказавшийся в зоне сплошных линий, будет удален, а незаштрихованный контур заготовки, ограниченный огибающей крайних линий профиля зубьев рейки, представляет собой эвольвентный профиль зубьев колеса.

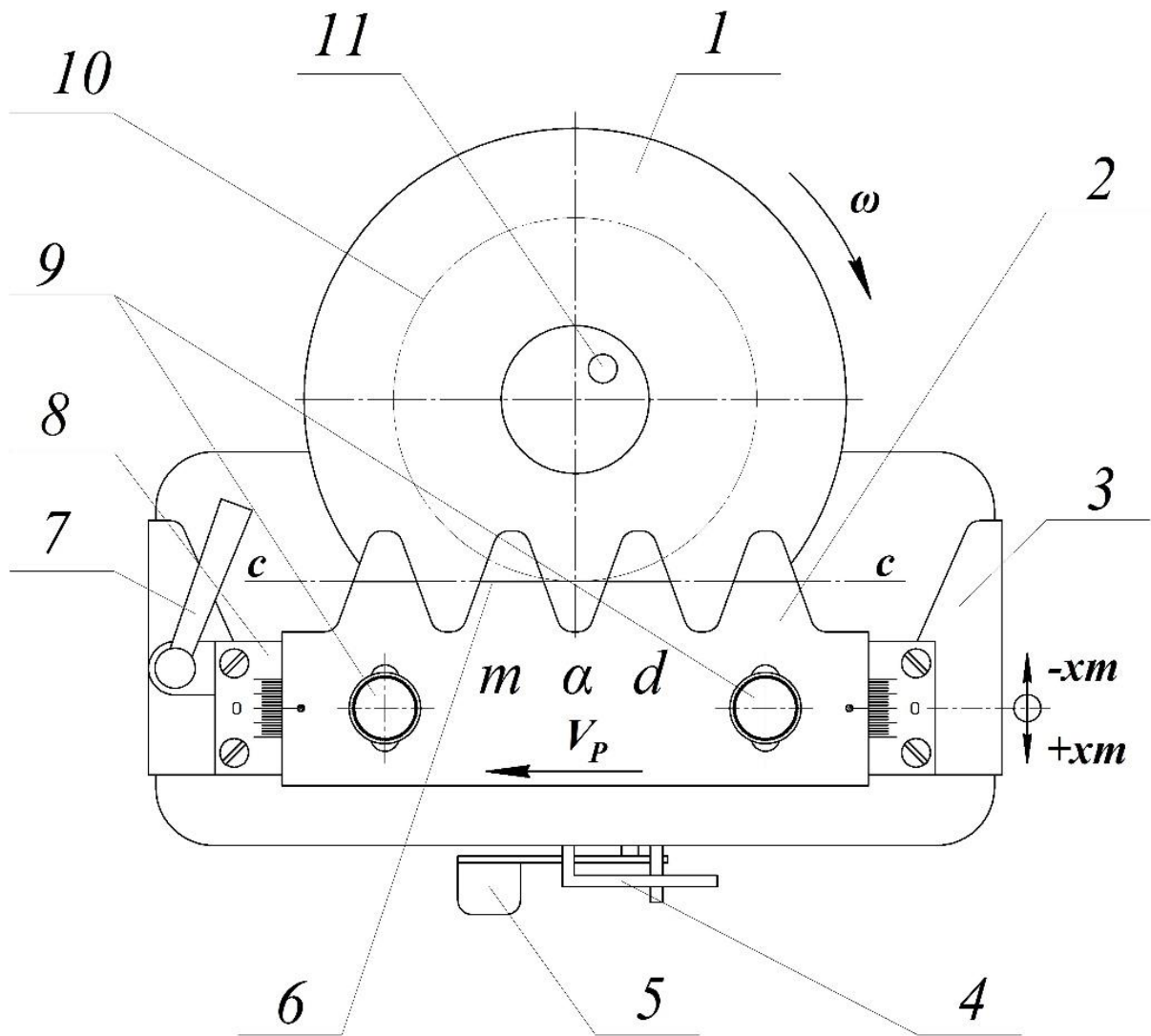


Рисунок 5 - Прибор ТММ – 42

## 7. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ НАРЕЗАНИИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ РЕЙКОЙ

Исходные данные:

- модуль  $m$  (выгравирован на рейке);
- угол профиля исходного контура  $\alpha = 20^\circ$ ;
- диаметр делительной окружности заготовки  $d$  (выгравирован на рейке);
- коэффициент высоты зуба  $h^* = 1$ ;
- коэффициент радиального зазора  $c^* = 0,25$ .
- число зубьев  $Z = \frac{d}{m}$ ;

- минимальный коэффициент смещения  $x = \frac{17-z}{17}$ ;
- величина минимального смещения  $X = x \cdot m$ ;
- диаметр основной окружности  $d_b = d \cdot \cos \alpha$ ;
- шаг по делительной окружности  $p = \pi \cdot m$ ;
- шаг по основной окружности  $p_b = p \cdot \cos \alpha$ ;
- диаметр вершин зубьев  $d_a = d + 2 \cdot m \cdot (h^* \pm x)$ ;
- диаметр впадин зубьев  $d_f = d - 2 \cdot m \cdot (h^* + c^* \pm x)$ ;
- толщина зуба по делительной окружности  $S = m(0,5 \cdot \pi \pm 2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha_0)$ .

В формулы значение коэффициента смещения  $x$  необходимо подставлять с учетом знака.

## 8. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ ПРИ НАРЕЗАНИИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ РЕЙКОЙ

1. Поставьте прибор в рабочее (наклонное) положение. Для этого необходимо откинуть подставку с тыльной стороны прибора.

2. Поставьте каретку в крайнее правое положение. Для свободного перемещения каретки нужно повернуть Г-образную рукоятку против часовой стрелки. По окончании операции Г-образную рукоятку вернуть в исходное положение, повернув ее по часовой стрелке до упора.

3. Установите заготовку (бумажный круг) на диск прибора. Для этого нужно снять накладку и ослабить винты, крепящие рейку к каретке, т.к. заготовка должна быть под рейкой. Наколите заготовку на три иглы, закрепите ее с помощью накладки и винта.

4. Установите рейку при помощи шкал и фиксирующих винтов в нулевое положение ( $X=0$ ).

5. Нарезайте три зуба колеса, перемещая с помощью клавиши шаг за шагом рейку из крайнего правого положения в крайнее левое и очерчивая каждый раз контур рейки острозаточенным твердым карандашом. При этом постепенно получается изображение зубьев "нарезаемого колеса".

6. Верните каретку в исходное положение (п. 2).

7. Поверните диск прибора так, чтобы чистая часть бумажной заготовки оказалась под рейкой. Для этого необходимо ослабить натяг струны, повернув рукоятку эксцентрикового механизма против часовой стрелки. Повернув диск прибора в нужное положение, вновь создать натяг струны с помощью эксцентрикового механизма.

8. Установите рейку со смещением (положительным, затем отрицательным).

9. Нарежьте по три зуба колеса.

10. Снимите бумажный диск, установить каретку в среднее положение, а рейку - в нулевое и сдать прибор преподавателю.

11. На бумажном диске циркулем проведите все расчетные окружности колес (основную, делительную, вершин зубьев и впадин).

Произведите обмер вычерченных зубчатых колес, нарезанных без смещения и со смещением исходного контура:

а) толщины зубьев по делительной окружности  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$ ;

б) диаметр впадин зубьев для каждого колеса  $d_{f1}$ ,  $d_{f2}$  и  $d_{f3}$ ;

в) диаметр вершин зубьев для каждого колеса  $d_{a1}$ ,  $d_{a2}$  и  $d_{a3}$  ;

Допускается замерять толщины по хордам.

## 9. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

1. Отчет должен содержать исходные данные и геометрический расчет.

2. К расчету прилагается бумажный круг с вычерченными зубьями (на одной и той же заготовке нарезаются по три зуба со смещением и без смещения).

3. На круге должны быть вычерчены все рассчитанные окружности и сделаны следующие надписи:

- угол профиля исходного контура  $\alpha$ ;

- модуль  $m$ ;

- расчетное число зубьев  $Z$ ;

- коэффициенты смещения инструмента  $x_i$ ;

- диаметры основной  $d_b$  и делительной  $d$  окружностей;

- диаметры окружностей вершин  $d_{ai}$  и впадин  $d_{fi}$  для каждого вида нарезки зубьев;
- шаги по основной  $p_b$  и делительной  $p$  окружностям;
- толщиной зубьев по делительной окружности  $S_i$ ;
- фамилия студента; номер группы и дата выполнения работы. Пример оформления чертежа представлен на рисунке 5.

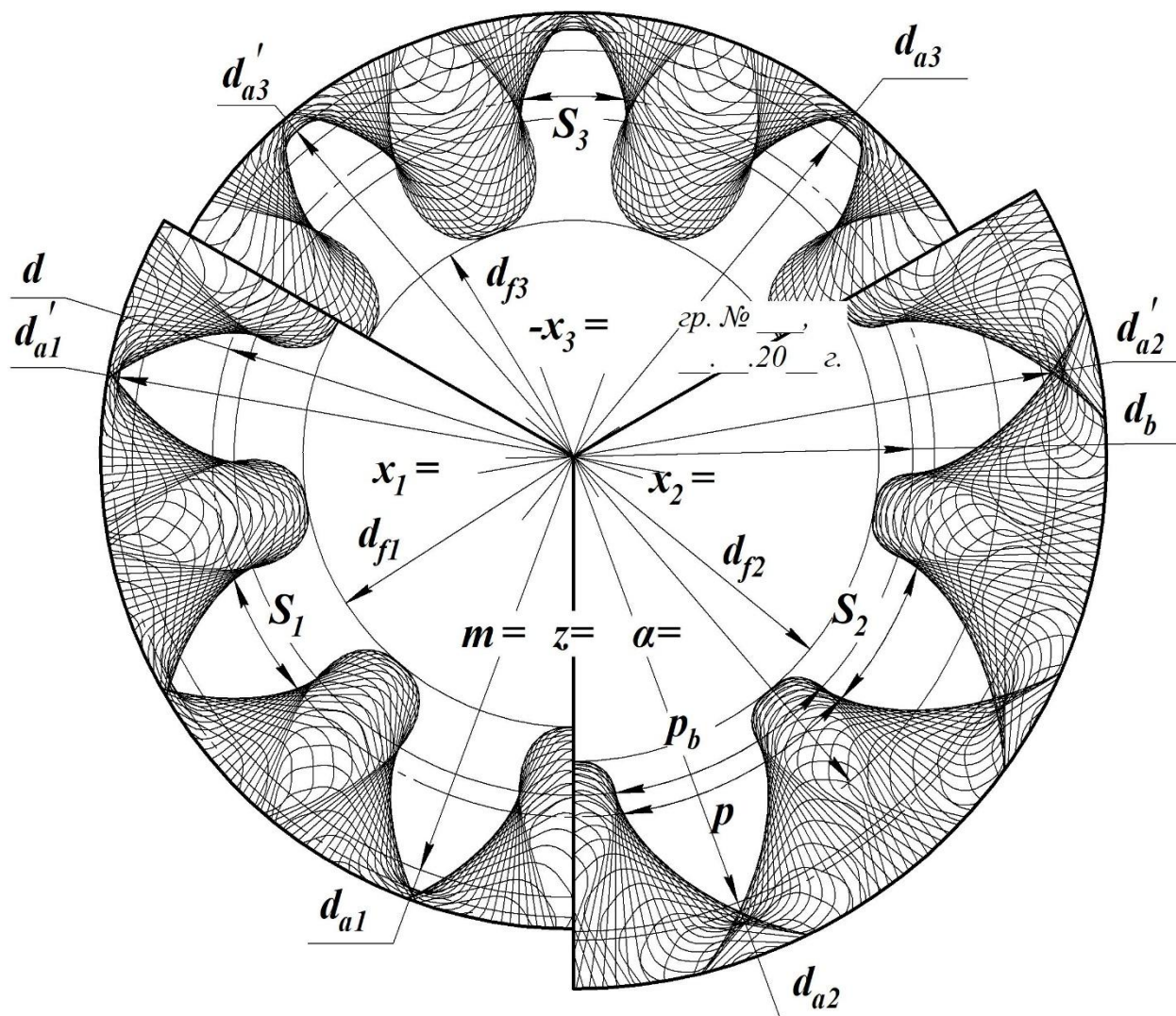


Рисунок 6 – Пример оформления чертежа

#### 4. Содержание отчета

Лабораторная работа № \_\_\_\_\_

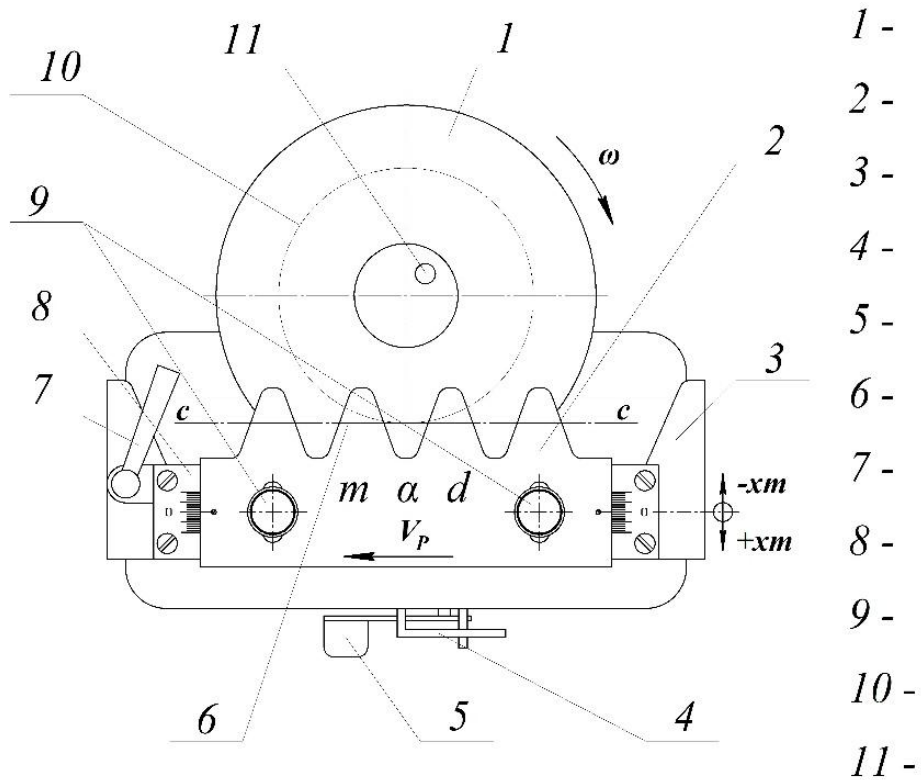
**Тема: «Изготовление зубчатых колес методом обкатки инструментальной рейкой»**

**Цель работы:**

Оборудование, инструменты.

1. Прибор ТММ - 42 № \_\_\_\_\_

2. Схема прибора



3. Основные параметры зубчатых колес

Таблица 1

№ п/п	Параметр	Обозначение
	Диаметр делительной окружности	$d$
	Модуль рейки нормальный	$m$
	Число зубьев нарезаемого колеса	$Z$
	Коэффициент высоты головки зуба	$h_a^*$
	Коэффициент радиального зазора	$c^*$
	Угол профиля исходного контура	$\alpha$

4. Смещение инструментальной рейки

Минимальный коэффициент смещения при  $Z =$  \_\_\_\_\_ :

$$x = \frac{17 - Z}{17} =$$

Таблица 3 – расчет параметров нарезанных зубчатых колес

Параметр, мм	Заданное смещение, мм		
	$x = 0$	$x = +$	$x = -$
Диаметр делительной окружности $d = m \cdot z$			
Диаметр основной окружности $d_b = d \cdot \cos \alpha_0$			
Шаг по делительной окружности $p = \pi \cdot m$			
Шаг по основной окружности $p_b = p \cdot \cos \alpha_0$			
Диаметр вершин зубьев $d_a = d + 2 \cdot m \cdot (h^* \pm x)$			
Диаметр впадин зубьев $d_f = d - 2 \cdot m \cdot (h^* + c^* \pm x)$			
Толщина зуба по делительной окружности $S = m(0,5 \cdot \pi \pm 2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha_0)$			

Таблица 4 – сопоставление расчетов с замерами

Параметр	Нулевое колесо		Положительное колесо		Отрицательное колесо	
	Расчетное	Измеренное	Расчетное	Измеренное	Расчетное	Измеренное
Шаг по делительной окружности						
Шаг по основной окружности						
Диаметр окружности вершин зубьев						
Диаметр окружности впадин зубьев						
Толщина зуба по делительной окружности						

## 7. Выводы:

Подпись студента \_\_\_\_\_ « » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_ « » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## 10. ВОПРОСЫ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Какому условию должны удовлетворять профили зубьев передачи с постоянным передаточным отношением?

2. В чем заключается основная теорема плоского зацепления (теорема Виллиса)?

3. Что называется эвольвентой окружности?

4. Что называется окружным модулем зубьев и шагом зацепления?

5. Охарактеризуйте методы изготовления эвольвентных зубчатых колес. Что такое исходный производящий контур цилиндрических зубчатых колес и каковы его основные параметры?

6. В чем заключается явление подрезания зубьев и при каких условиях оно возникает?

7. Как определяется наименьшее число зубьев при котором отсутствует подрез ножки зуба?

8. Почему в большинстве случаев ножка зуба колеса изнашивается сильнее, чем головка зуба?

9. Как расположена делительная прямая рейки относительно делительной окружности колеса при  $X=0$ ;  $X>0$ ;  $X<0$ ?

10. Как определить коэффициент смещения при котором не возникает подрезание зуба?

11. Какие параметры зубчатого колеса зависят от смещения? Какие не зависят?

12. Как влияет коэффициент смещения на коэффициент перекрытия зубчатой передачи?



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин [Текст] : учеб.: рек. Мин. обр. / И. И. Артоболевский. - 4-е изд., перераб. и доп. - М Наука, 1988. - 640 с.
2. Теория механизмов и машин: учеб. пособие/ М.З.Коловский (и др.). – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2008. – 765с.
3. Кузнецов Н.К. Теория механизмов и машин [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов Н.К.— Электрон. текстовые данные.— Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2014.— 104 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23076>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
4. Тарабарин В.Б. Лабораторный практикум по теории механизмов и машин [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Теория механизмов и механика машин»/ Тарабарин В.Б., Кузенков В.В., Фурсяк Ф.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2009.— 96 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31433>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
5. Бахратов, А.Р. Лабораторный практикум по теории механизмов и машин: Метод. Указания к лабораторным работам по дисциплине «Теория механизмов и механика машин» [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Р. Бахратов. — Электрон. дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 96 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/52150>. — Загл. с экрана.
6. Чмиль, В.П. Теория механизмов и машин [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / В.П. Чмиль. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 280 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91896>. — Загл. с экрана.

**Луганцева Татьяна Анатольевна,**

доцент кафедры СТиОТД АмГУ, канд. техн. наук, доцент

**Кузьмин Игорь Николаевич**

доцент кафедры СТиОТД АмГУ, канд. техн. наук

**Эвольвентное зацепление цилиндрических зубчатых колес**

Учебно-методическое пособие

---

Изд-во АмГУ.

Усл. печ. л.3,0