

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра « Детали машин и ПТУ»

Лабораторная работа № 3

**Вычерчивание эвольвентного профиля
зубьев методом обкатки**

*Методические указания к выполнению лабораторной
работы по курсу «Теория механизмов и машин»*

РПК "Политехник"

Волгоград 2004

УДК 621.833.6

Вычерчивание эвольвентного профиля зубьев методом обкатки: Методические указания к выполнению *лабораторной работы по курсу «Теория механизмов и машин»*/ Сост. Кислов С.Ю., Костюков В.А., Казанкина Е.Н. ВолгГТУ. — Волгоград, 2004. — 21 с.

Приводятся основные сведения о геометрии эвольвентных цилиндрических передач, излагается методика геометрического расчета прямозубых передач внешнего зацепления.

Рекомендуется использовать студентами механических специальностей всех форм обучения при подготовке их к выполнению и отчету лабораторной работы по курсу ТММ.

Ил. 11. Табл. 2. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент *доцент В.И. Карлов*

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

© Волгоградский государственный
технический университет, 2004

Сергей Юрьевич Кислов
Владимир Александрович Костюков
Елена Николаевна Казанкина

**Вычерчивание эвольвентного профиля
зубьев методом обкатки**
**Методические указания к лабораторной работе
по теории механизмов и машин**

Темплан 2004 г., поз. №

Подписано в печать _____.
Формат 60 × 84 1/16. Бумага газетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,25.
Тираж 500 экз. Заказ _____. Бесплатно.

Волгоградский государственный технический университет.
400131, Волгоград, проспект им. В.И.Ленина, 28.
РПК «Политехник» Волгоградского государственного технического университета.
400131, Волгоград, ул. Советская, 35.

Цель работы: изготовить методом обкатки зубчатые колеса без смещения и со смещением рейки; рассчитать параметры зубчатых колес и зацепления; вычертить картину зацепления; провести анализ зацепления

1. Краткие сведения из теории

Основная теорема зацепления. В зубчатой передаче взаимодействующие поверхности зубьев высшей пары, обеспечивающие заданный закон относительного движения, называются сопряженными поверхностями. Синтез зацепления состоит в отыскании сопряженных поверхностей зубьев колес.

Для решения этой задачи используется основная теорема зацепления, устанавливающая связь между геометрией сопряженных поверхностей и заданным законом их относительного движения: *«Сопряженные поверхности зубьев должны быть выбраны так, чтобы в любой точке их контакта общая нормаль к ним была перпендикулярна вектору относительной скорости».*

В аналитическом виде условие основной теоремы зацепления записывается как условие перпендикулярности векторов

$$\overline{V_{отн}} \cdot \overline{n} = 0, \quad (1)$$

где $\overline{V_{отн}}$ – вектор относительной скорости; $\overline{n}$ – единичный вектор общей нормали в точке контакта.

Для плоского зацепления, в отличие от пространственного, вместо сопряженных поверхностей можно рассматривать сопряженные профили, т.е. кривые, получаемые в сечении сопряженных поверхностей плоскостью, параллельной плоскости движения (рис.1). Относительная скорость контакта профилей $\overline{V_{отн}}$ перпендикулярна радиусу-вектору RK , соединяющему точку K с мгновенным центром вращения P в относительном движении звеньев, который принято называть полюсом зацепления. По условию (1) эта скорость должна быть перпендикулярна общей нормали к сопряженным профилям. Отсюда следует, что для плоского зацепления основная теорема примет вид: *«Для того, чтобы профили были сопряженными, общая нормаль к ним в точке контакта должна проходить через заданный полюс зацепления и делить межосевое расстояние на отрезки, обратно пропорциональные угловым скоростям звеньев».*

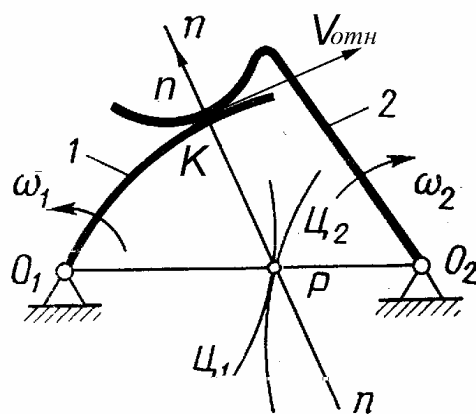


Рис. 1

Пусть точка контакта зубьев K в данный момент проходит через полюс. В этом случае окружные скорости точек на звеньях 1 и 2 должны быть равны по модулю и направлению, т.е. $V_{P1} = V_{P2}$ или $\omega_1 l_{O1P} = \omega_2 l_{O2P}$.

Отсюда следует, что

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{l_{O2P}}{l_{O1P}}, \quad (2)$$

где u – *передаточное отношение* считается положительным, если направления угловых скоростей одинаковы (внутреннее зацепление) и отрицательным, если эти направления противоположны (внешнее зацепление).

При постоянном передаточном отношении полюс зацепления P занимает неизменное положение по отношению к стойке, поэтому центры C_1 и C_2 представляют собой окружности с радиусами O_1P и O_2P . По свойству центров эти окружности, называемые начальными, перекатываются без скольжения.

Исходя из основной теоремы зацепления, можно установить, что только один из профилей зубьев можно выбирать произвольно. Отсюда следует, что зубчатые передачи теоретически могут иметь большое количество разнообразных профилей. Однако по технологическим и другим свойствам в настоящее время в технике применяется ограниченное число видов профилей зубьев. К ним относятся цилиндрические передачи с эвольвентным, циклоидальным и круговым профилями зубьев. Эвольвентное зацепление было предложено Л. Эйлером в 1727 г., а реализовано в конце 19 века в связи с изобретением зубофрезерного станка.

Эвольвентное зацепление обладает рядом преимуществ перед другими видами зацеплений:

- оно может быть сравнительно просто и точно изготовлено по методу обкатки;
- оно не чувствительно к отклонению межосевого расстояния, что упрощает его монтаж;
- эвольвентные профили зубьев колес разных диаметров, но одинакового шага сцепляются между собой правильно. С увеличением диаметра эвольвентная кривая обращается в прямую линию, т.е. колесо обращается в зубчатую рейку с прямобочным профилем, что послужило основой для проектирования зубообрабатывающего инструмента, работающего по способу обкатки.

Параметры эвольвентного зуба. Наибольшее распространение получили цилиндрические колеса, имеющие эвольвентный профиль зуба. Геометрию эвольвентного зуба и зубчатого колеса определяют следующие параметры:

1. Диаметр основной окружности d_b .
2. Профиль зуба, представляющий собой развертку основной окружности — эвольвенту (рис. 2). Положение произвольной точки Y на эвольвенте можно выразить любым из следующих параметров: углом развернутости ν_y ; углом профиля α_y ; эвольвентным углом

$$\text{inv } \alpha_y = \text{tg } \alpha_y - \alpha_y; \quad (3)$$

диаметром окружности, на которой расположена точка Y ,

$$d_y = d_b \cos \alpha_y,$$

радиусом кривизны профиля в точке Y

$$\rho_y = 0,5 d_b \text{tg } \alpha_y.$$

Точка N является центром кривизны профиля в точке Y .

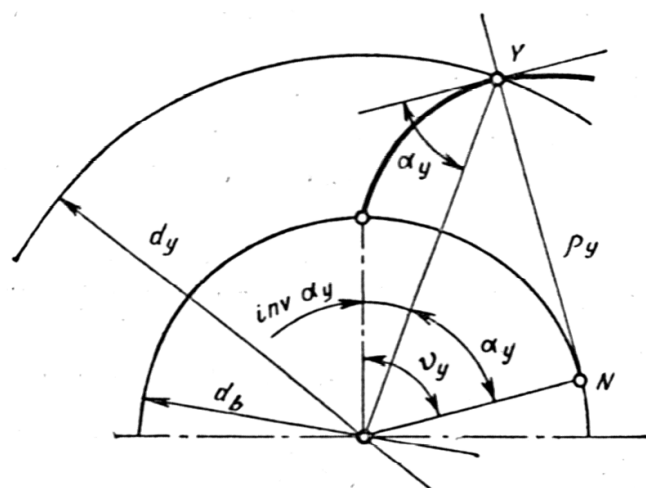


Рис. 2

3. Диаметр окружности вершин d_a .

4. Диаметр окружности впадин d_f .

5. Форма и расположение переходной кривой профиля зуба.

Способ обкатки. Так как зубчатая рейка с прямобочным профилем может образовывать зацепление с любым эвольвентным колесом одного и того же шага, то ее профиль положен в основу исходного контура для проектирования зубообрабатывающего инструмента, работающего по способу обкатки.

Исходным контуром называется очертание зубьев номинальной исходной зубчатой рейки в сечении плоскостью, перпендикулярной ее делительной плоскости. На рис. 3 приведен исходный контур для цилиндрической зубчатой передачи в соответствии с ГОСТ 13755-81.

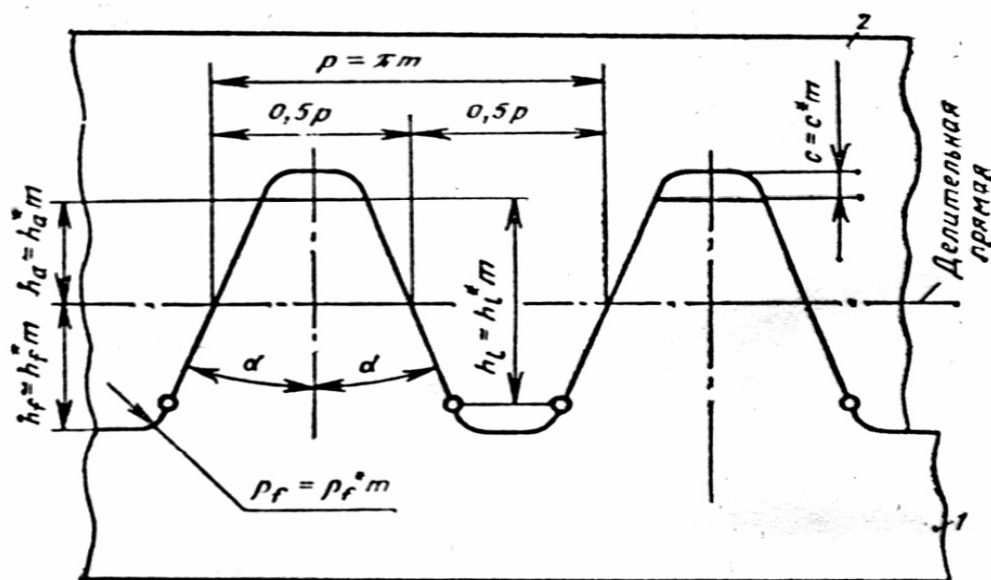


Рис. 3

Основные параметры исходного контура:

m – модуль в мм, линейная стандартная величина в π раз меньше шага зацепления p – расстояния между одноименными профилями зубчатой рейки, т.е.

$$m = \frac{p}{\pi} \quad (4)$$

Стандартом установлены следующие параметры исходного контура:

- угол исходного контура $\alpha = 20^\circ$;
- коэффициент высоты головки зуба $h_a^* = 1,0$;
- коэффициент высоты ножки зуба $h_f^* = 1,25$;
- коэффициент граничной высоты зуба $h_l^* = 2$;
- коэффициент радиального зазора $c^* = 0,25$;
- коэффициент радиуса кривизны переходной поверхности $\rho_f^* = 0,38$.

Остальные размеры зубчатой рейки также определяют умножением коэффициентов на модуль. Прямая, проходящая по середине прямолинейной части зуба, называется делительной прямой. По делительной прямой толщина зуба равна ширине впадины.

Профиль зуба режущего инструмента отличается от исходного тем, что высота головки увеличена на величину радиального зазора; головка режущего инструмента нарезает ножку зуба в заготовке. Этот контур называется производящим. Основные виды режущего инструмента: *зубчатая рейка (гребенка), долбяк, червячная фреза*.

При станочном зацеплении по делительной окружности нарезаемого колеса перекачивается без скольжения делительная прямая гребенки или станочно-начальная прямая – любая прямая, параллельная делительной в зависимости от взаимного расположения гребенки и нарезаемого колеса (рис.4).

Рассмотрим три различных варианта нарезания зубьев реечным инструментом, отличающихся расположением производящего контура и заготовки. В первом варианте делительная прямая производящего контура касается делительной окружности заготовки. Инструменту и заготовке сообщаются такие движения, при которых делительная прямая катится без скольжения по делительной окружности. Согласованные перемещения инструмента и заготовки являются движением обкатки.

Толщина зуба по делительной окружности в первом варианте (нарезание без смещения) равна ширине впадины рейки по делительной прямой.

$$S = 0,5\pi m \quad (5)$$

При этом на делительной окружности должно за один оборот заготовки уложиться целое число шагов, равное числу нарезаемых зубьев, поэтому $zp = \pi d$. Отсюда диаметр делительной окружности (делительный диаметр)

$$d = \frac{p}{\pi} z = mz. \quad (6)$$

Станочное зацепление

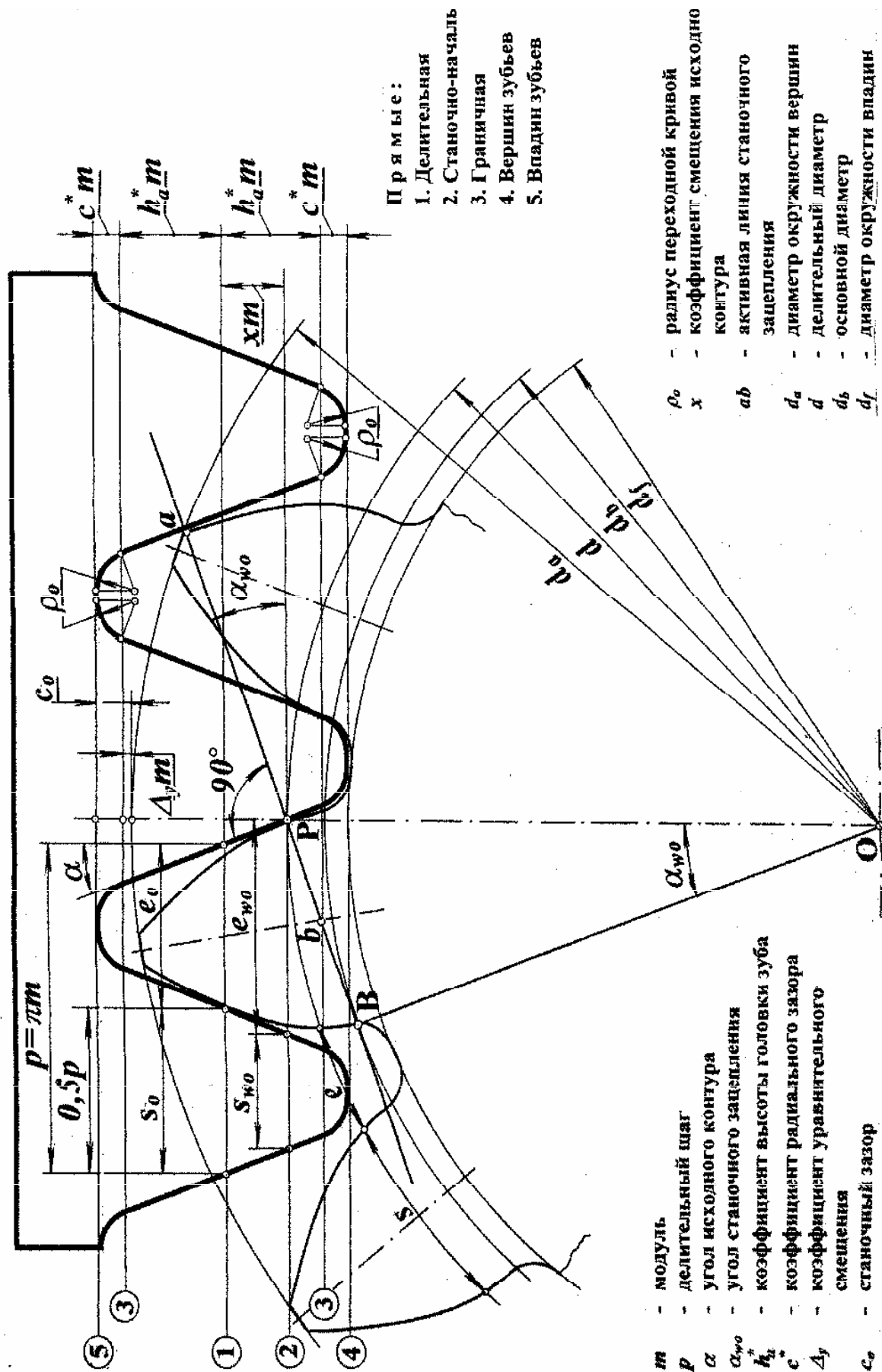


Рис. 4

Во втором варианте делительная прямая смещена от центра заготовки и по делительной окружности катится без скольжения начальная прямая, отстоящая от центра заготовки на величину xm , где x – коэффициент смещения. Толщина зуба по делительной окружности в этом варианте равна ширине впадины S рейки по станочно-начальной прямой:

$$S = 0,5\pi m + 2xmtg\alpha, \quad (7)$$

т.е. толщина зуба по делительной окружности при $x > 0$ оказывается больше, чем у колеса, нарезаемого без смещения.

В третьем варианте делительная прямая смещена к центру заготовки на величину xm , причем коэффициент смещения x считается отрицательным. Толщина зуба по делительной окружности определяется по формуле (7) с учетом знака x и оказывается меньше, чем у колеса без смещения.

Все зубчатые колеса, нарезаемые указанным способом при одном и том же производящем контуре и модуле m , как со смещением, так и без смещения, с любым числом зубьев имеют сопряженные поверхности. Заметим также, что независимо от смещения диаметр основной окружности связан с делительным соотношением

$$d_b = d \cos \alpha, \quad (8)$$

т.е. смещение влияет только на толщину зуба по делительной окружности и на расположение используемого участка эвольвенты. Выбор этого участка является основной задачей оптимизационного синтеза зацепления.

Большинство зуборезных инструментов (червячные фрезы, долбяки, гребенки) имеют несколько зубьев, и основной шаг нарезаемого колеса получается равным основному шагу или шагу по профильной нормали инструмента. Существуют также инструменты с одним “зубом”, например, дисковые шлифовальные круги и фрезы трапециевидного сечения. Такой инструмент имитирует зуб производящей рейки и обрабатывает одновременно две стороны одной впадины колеса; переход к обработке следующей впадины независим от процесса обкатки и осуществляется с помощью специального делительного устройства.

Способ копирования. Способ осуществляется при помощи режущего

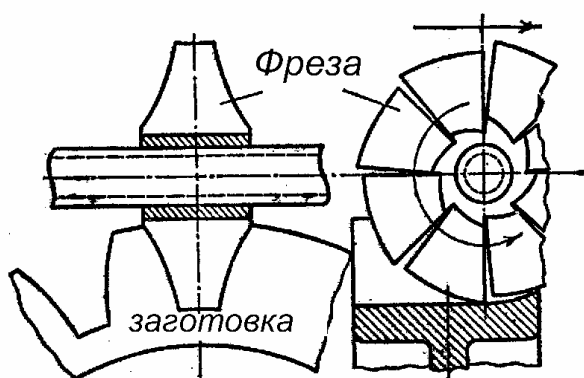


Рис. 5

инструмента (дисковая или пальцевая фреза), режущие грани которого имеют форму впадины (рис. 5). Нарезание зубьев производится на универсальных или специальных фрезерных станках с использованием головки, позволяющей точно поворачивать заготовку на угловой шаг

$$\tau = \frac{2\pi}{z}, \quad (9)$$

где z – число нарезаемых зубьев.

Режущий инструмент относительно заготовки устанавливается так, чтобы его ось была направлена по радиусу заготовки. При этом заготовка обычно неподвижна, а режущий инструмент вращается и одновременно ему или заготовке сообщается продольное перемещение вдоль зуба. По окончании цикла обработки впадин заготовка поворачивается на угловой шаг и нарезается следующая впадина. Операции повторяются, пока не будут прорезаны все впадины.

Теоретически для каждого числа зубьев, модуля и угла профиля необходим свой режущий инструмент, что является неэкономичным. Поэтому в практике применяют для каждого модуля комплект из восьми дисковых модульных фрез, каждая из которых нарезает зубья в определенном диапазоне чисел. Например: фрезой №1 нарезают колеса с числом зубьев от 12 до 13; №2 – от 14 до 16 и т. д., фреза №8 имеет прямобоочный профиль и ей можно нарезать рейку.

Способ копирования чаще всего применяется для черновой нарезки зубьев крупномодульных колес, он также применяется для изготовления зубчатых колес в малоответственных передачах, работающих с небольшими окружными скоростями.

Подрезание зубьев. При нарезании зубчатых колес с малым числом зубьев по методу обкатки возможно явление подрезания зубьев, которое выражается в утонении делительной ножки зуба (за счет срезания тела зуба режущим инструментом) и к сокращению рабочей части эвольвентного профиля зуба (рис. 6, а). В этом случае режущие кромки инструмента срежут часть обрабатываемого зуба, на которую накладывается зуб инструмента.

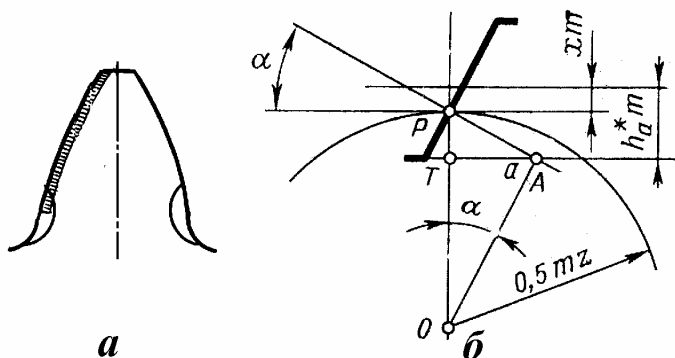


Рис.6

При реечном зацеплении линия зацепления ограничена только точкой А (рис. 6, б). Предельный случай, когда подрезания нет, характеризуется прохождением через эту точку прямой, ограничивающей прямолинейную часть производящего контура, т. е. совпадением точек А и а. Тогда из треугольника АТО имеем

$$0,5mz + xm - h_a^* = 0,5mz \cos^2 \alpha.$$

Отсюда

$$x = h_a^* - 0,5z \sin^2 \alpha.$$

При $\alpha = 20^\circ$ и $h_a^* = 1$

$$x \approx \frac{17 - z}{17}. \quad (10)$$

Следовательно, если число зубьев обрабатываемого колеса меньше 17, то при нарезании зубьев реечным инструментом с углом $\alpha = 20^\circ$ и $h_a^* = 1$ надо применять положительное смещение по формуле (10). С увеличением угла исходного профиля α минимальное число зубьев колес, нарезаемых без смещения, уменьшается.

Геометрический расчет передачи. Геометрические размеры колес, изображенные на рис. 7, вычисляются по следующим формулам:

суммарный коэффициент смещения

$$x_\Sigma = x_1 + x_2 \quad (11)$$

начальный диаметр

$$d_w = \frac{2a_w}{z_1 + z_2} z; \quad (12)$$

делительный диаметр

$$d = mz; \quad (13)$$

основной диаметр

$$d_b = mz \cos \alpha; \quad (14)$$

делительная толщина зуба

$$s = 0,5 \pi m + 2xm \operatorname{tg} \alpha; \quad (15)$$

основной шаг

$$p_b = \pi m \cos \alpha. \quad (16)$$

Диаметр впадин зависит от способа нарезания. Для колес, нарезанных стандартным инструментом реечного типа,

$$d_f = m(z - 2h_a^* - 2c^* + 2x) \quad (17)$$

Диаметр вершин зависят от принятой системы расчета.

При системе расчета, сохраняющей в зацеплении стандартный радиальный зазор при любом x_Σ ,

$$d_{a1} = 2a_w - d_{f2} - 2c^* m; \quad (18)$$

$$d_{a2} = 2a_w - d_{f1} - 2c^* m. \quad (19)$$

При расчете по этой системе высота зуба h и коэффициент перекрытия ε с увеличением x_Σ уменьшаются.

При системе расчета, сохраняющей стандартную высоту зуба h при любом x ,

$$d_a = m(z + 2h_a^* + 2x). \quad (20)$$

При расчете по этой системе радиальный зазор с увеличением x_Σ уменьшается, коэффициент перекрытия ε получается больше.

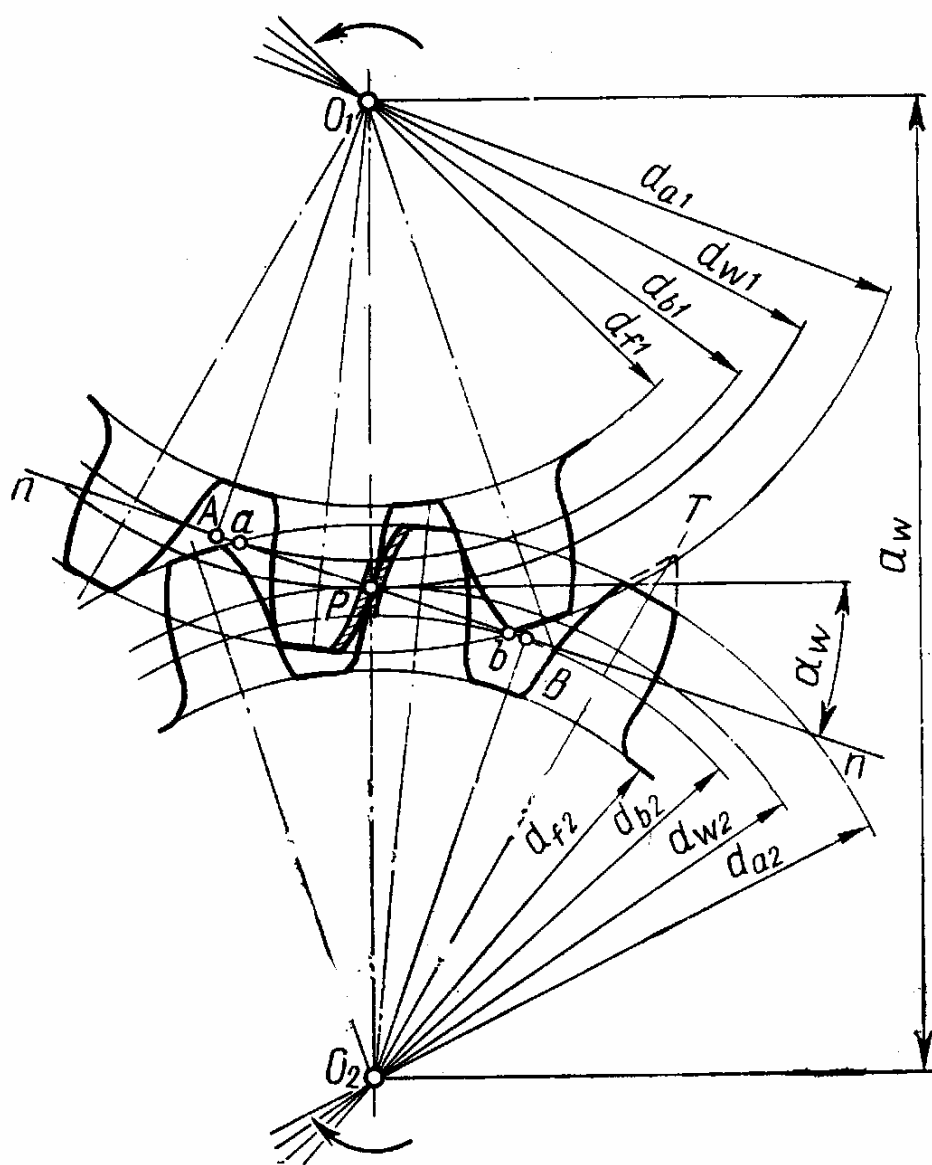


Рис. 7

Геометрические показатели качества. Качество зубчатой передачи характеризуют несколько геометрических показателей, которые должны быть проверены в ходе расчета.

Коэффициент перекрытия

Коэффициент перекрытия характеризует непрерывность взаимодействия зубьев, заключающаяся в том, что вторая пара зубьев должна войти в зацепление прежде, чем выйдет из зацепления первая пара. Если вращение колеса 1 (рис. 8) происходит против часовой стрелки, то зуб входит в зацепление, когда его профиль пересекает линию зацепления в точке a и выходит из зацепления в

точке b . Угол поворота зубчатого колеса от входа зуба в зацепление до выхода его из зацепления называется углом $\varphi_{\alpha 1}$ перекрытия. Коэффициентом перекрытия называется отношение угла перекрытия к угловому шагу $\tau_1 = 2\pi/z_1$.

Для колеса 1

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\varphi_{\alpha 1}}{\tau_1}. \quad (21)$$

По свойству образования эвольвенты дуга, которую проходит начальная точка эвольвенты от входа зуба в зацепление до выхода его из зацепления, равна длине активной линии зацепления ab . Следовательно, угол перекрытия для колеса 1 $\varphi_{\alpha 1} = 2ab/d_{b1}$. Подставляя значение угла перекрытия и углового шага в (21) получаем

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{(ab)z_1}{d_{b1}\pi} = \frac{(ab)}{p_b}. \quad (22)$$

Отрезок ab может быть вычислен из условия

$$ab = Ab - AP + Ba - BP$$

Подставляя значения указанных отрезков из треугольников O_1Ab , O_1AP , O_2BP и O_2Ba в формулу (22), окончательно получим

$$ab = d_{b1}(\operatorname{tg} \alpha_{a1} - \operatorname{tg} \alpha_w) + d_{b2}(\operatorname{tg} \alpha_{a2} - \operatorname{tg} \alpha_w).$$

В окончательном виде коэффициент перекрытия равен

$$\varepsilon = \frac{z_1(\operatorname{tg} \alpha_{a1} - \operatorname{tg} \alpha_w) + z_2(\operatorname{tg} \alpha_{a2} - \operatorname{tg} \alpha_w)}{2\pi}, \quad (23)$$

где углы α_{a1} и α_{a2} – углы профиля зуба у вершин, определяемые из соотношений:

$$\cos \alpha_{a1} = d_{b1}/d_{a1} \quad \text{и} \quad \cos \alpha_{a2} = d_{b2}/d_{a2}.$$

Теоретически передача может правильно работать при $\varepsilon = 1,0$. Однако, принимая во внимание возможные погрешности и отклонения, рекомендуется принимать $\varepsilon \geq 1,20$. С увеличением ε передача работает более плавно, уменьшается момент, изгибающий зуб при входе точки контакта в зону однопарного зацепления.

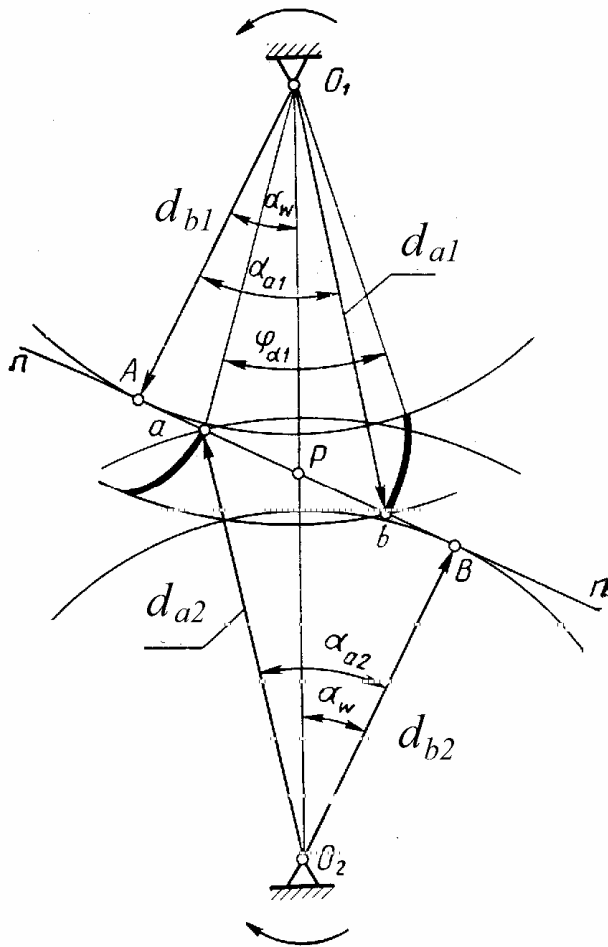


Рис. 8

Заострение зубьев.

Заострение зубьев получается, если точка T (см. рис. 7) пересечения двух симметричных профилей располагается вблизи окружности вершин, и толщина зуба по этой окружности получается менее некоторой величины, например $0,2m$. Для устранения заострения зуба можно уменьшить радиус окружности вершин или изменить коэффициенты смещения.

Толщина зубьев на окружности вершин

$$s_a = d_a \left(\frac{\pi}{2z} + \frac{2x \operatorname{tg} \alpha}{z} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_a \right). \quad (24)$$

Для колес с однородной структурой материала рекомендуется $s_a \geq 0,25m$; при поверхностном термохимическом упрочнении $s_a \geq 0,4m$. Проверять надо оба колеса пары.

Интерференция зубьев

Интерференцией называют явление, состоящее в том, что при рассмотрении теоретической картины зацепления часть пространства оказывается одновременно занятой двумя взаимодействующими зубьями или зубом колеса и зубом инструмента. Для внешнего зацепления условие отсутствия интерференции состоит в том, что взаимодействие зубьев должно происходить только на участке AB , где обеспечивается касание зубьев.

При незначительной интерференции благодаря боковым зазорам в зацеплении вращение колес возможно, однако в результате нарушения постоянства и резко меняется нагрузка в зоне интерференции, зубчатая пара шумит, вибрирует, наблюдается сильный износ. При значительной интерференции передачу заклинивает, а если приложить достаточно большой момент, колесо может сломаться.

Блокирующий контур

Все дополнительные ограничения, которым надо удовлетворить при синтезе зубчатых зацеплений в той или иной форме зависят от коэффициентов смещения. Для выбора этих коэффициентов составляются справочные карты в виде графиков зависимости между коэффициентами x_1 и x_2 при заданной величине какого-либо качественного показателя зацепления (требуемого коэффициента перекрытия, отсутствия интерференции, обеспечения изгибной или контактной прочности и т. п.). Каждый график рассчитывается для определенного сочетания чисел зубьев z_1 и z_2 . Совокупность графиков, построенных по граничным (предельным) значениям показателей качества зацепления, выделяет на плоскости коэффициентов x_1 и x_2 область их допустимых значений. Контур, ограничивающий эту область, называется *блокирующим контуром*.

2. Описание экспериментальной установки

Работа проводится на специальном приборе ТММ-42, схема которого представлена на рис.9.

На основании прибора 8 установлен диск и рейка. Диск состоит из 2-х

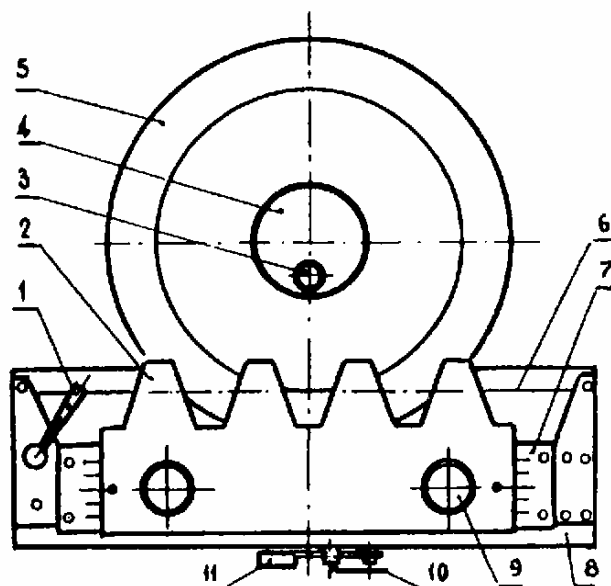


Рис. 9

частей (верхней и нижней), жестко связанных между собой и вращающихся, как единое целое, относительно оси, закрепленной в основании 8 прибора.

Диаметр верхней части диска 5 равен диаметру заготовки.

Рейка 2 со шкалой 7 может перемещаться поступательно в горизонтальных направляющих.

Вращение дисков 5 и поступательное перемещение рейки 2 связаны между собой. В относительном движении диск 5 (делительная окружность колеса) перекачивается без скольжения (делительная образующая рейки).

Перекачивание осуществляется с помощью следующего устройства: к захватам рейки прикреплена стальная проволока, огибающая диск 5. Натяжение проволоке сообщается за счет некоторого перемещения захвата, осуществляемого рукояткой 1.

Рейка приводится в движение с помощью шагового храпового механизма. Если нажать на рычаг 10, то рейка перемещается влево на 3-4 мм, и диск поворачивается на соответствующий угол. При повороте рычага 11 вниз рейку можно свободно переместить по направляющим.

Рейка может перемещаться перпендикулярно направляющим, приближаясь к центру заготовки или удаляясь от него. Перемещение рейки отсчитывается по шкалам 7 и фиксируется винтами 9. На верхней плоскости рейки указаны основные данные прибора: модуль m , угол профиля рейки α , диаметр делительной окружности колеса d .

3. Порядок выполнения работы

1. Наложить на диск 5 круг из плотной бумаги, закрепить его на диске крышкой 4 и винтом 3.
2. Риски рейки установить против нулевых делений шкалы 7.
3. Поворотом рычага 11 освободить рейку от храпового механизма и перевести ее в крайнее правое положение.
4. Последовательно нажимая на рычаг 10, передвигать рейку влево (каждый раз на один шаг), очерчивая при этом карандашом или ручкой контур профиля зубьев рейки, до тех пор, пока рейка не переместится влево до упора. На бумаге при этом получится 2-3 очерченных зуба колеса (рис. 10).
5. Вычислить по формуле (10) величину коэффициента смещения $x_2 = x_{\min}$ и смещения рейки mx_2 .
6. Ослабить винты 9, сдвинуть рейку от оси заготовки на величину mx_2 , вновь затянуть винты 9.
7. Повернуть рукоятку 1 влево до отказа, освободив струну. Развернуть диск примерно на 180° относительно рейки, после чего рукоятку повернуть до отказа вправо.

Пример оформления круга с
«нарезанными» зубьями колес

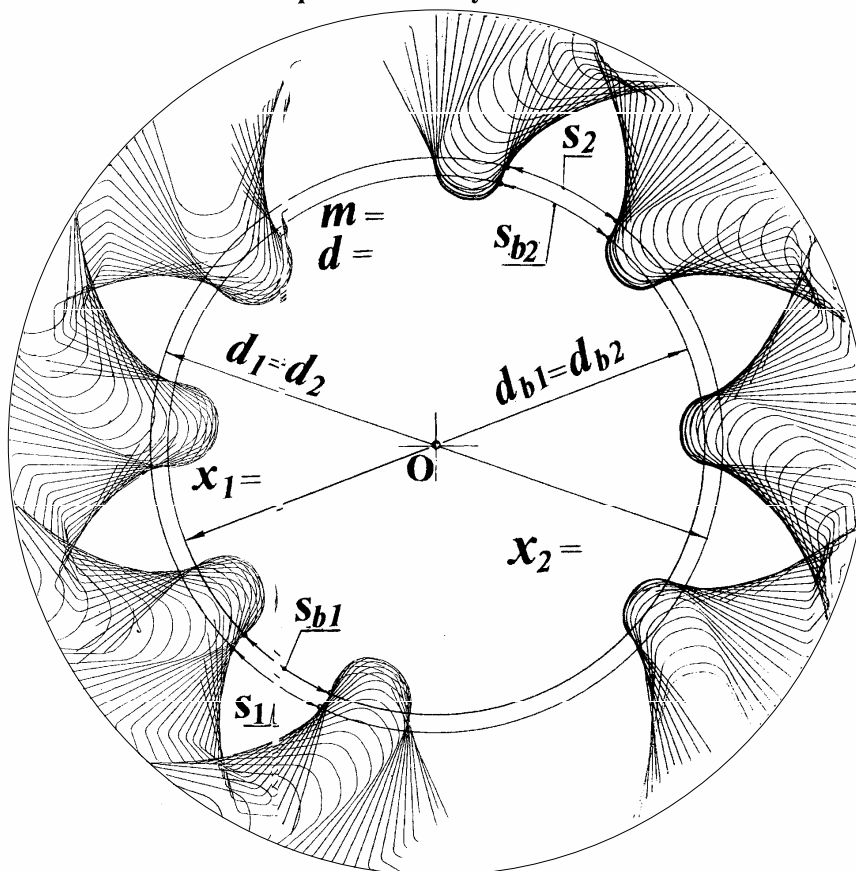


Рис. 10

8. Указанным выше способом вычертить 2-3 зуба колеса со смещением (рис. 10).

9. Снять бумажный круг, предварительно отвернув винт 3 и сняв крышку 4.

10. Вычислить в соответствии с табл. 2 параметры зацепления колес.

11. Провести на заготовке основную и делительную окружности, а также окружность вершин зубьев.

12. Замерить толщину зуба колеса без смещения и колеса со смещением по дуге делительной и основной окружностей. Результаты замеров занести в табл. 2.

13. На листе формата А4 вычертить зацепление колес (рис. 11).

- Отложить межосевое расстояние $a_w = OO_1$, провести основные окружности и общую (внутреннюю) касательную к ним – линию зацепления. Обозначить: $AB = g$ длину линии зацепления, P – полюс зацепления.
- Подвести под кальку заготовку, совместить центр ее с точкой O так, чтобы один из профилей зубьев колеса без смещения прошел через полюс зацепления.

Пример картины эвольвентного зубчатого зацепления

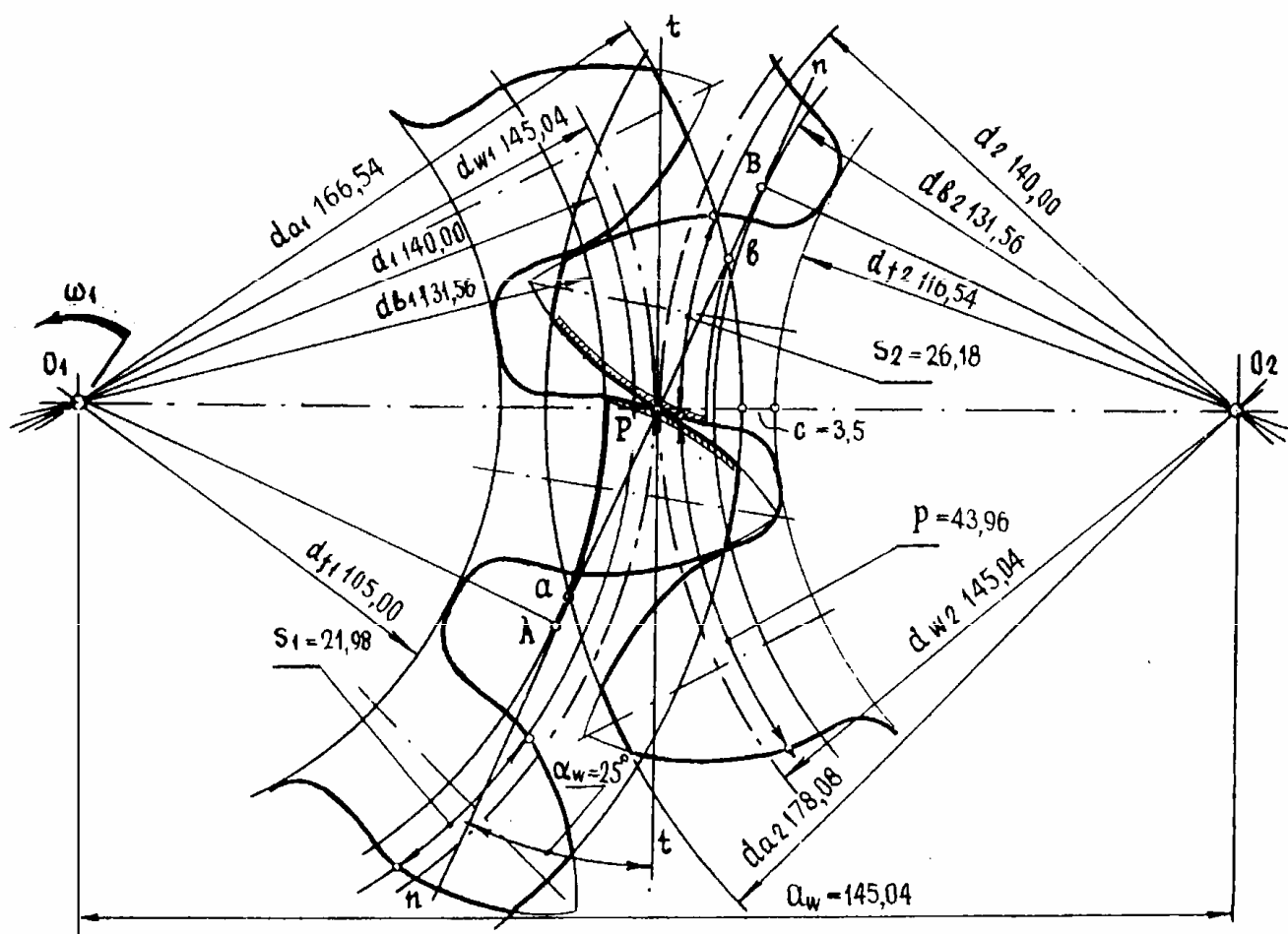


Рис. 11

- При этом необходимо учесть, что точка P должна лежать на начальной окружности колеса, а линия зацепления AB должна быть нормалью к профилю в данной точке.
- Зубья колеса в этом положении копируются на кальку.
- Совместить центр заготовки с точкой O_2 и, вращая относительно нее заготовку, подвести к полюсу P профиль зуба колеса со смещением так, чтобы он вошел в зацепление с зубом колеса без смещения. Затем зубья колеса со смещением скопировать на кальку.
- Отметить точки пересечения окружностей вершин зубьев с линией зацепления – точки a и b ; $g_\alpha = ab$ – длина активной линии зацепления.
- Провести из центров O_1 и O_2 дуги радиусами O_1a и O_2b , определив рабочие участки профилей зубьев.
- С началом (точка a) и концом (точка b) активной линии зацепления совместить один из профилей зубьев и отметить точки пересечения его с основной окружностью точки e и f . Дуга ef соответствует углу перекрытия.

14. Вычислить коэффициент перекрытия ε_α и занести его значение в таблицу Бумажная заготовка с профилями зубьев колес, нарезанных без смещения и со смещением, а также схема зацепления на кальке прикладывается к отчету по лабораторной работе.

Таблица 1

Значение $\text{inv}\alpha_w$												
Минуты Градусы	0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'
20	0,014904	0,015098	0,015293	0,015490	0,015689	0,015890	0,016092	0,016296	0,016502	0,016710	0,016920	0,017132
21	0,017345	0,017560	0,017777	0,017996	0,018217	0,018440	0,018665	0,018891	0,019120	0,019350	0,019583	0,019817
22	0,020054	0,020292	0,020533	0,020775	0,021019	0,021266	0,021514	0,021765	0,022018	0,022272	0,022529	0,022788
23	0,023044	0,023312	0,023577	0,023845	0,024414	0,024386	0,024660	0,024936	0,0252140	0,025495	0,025778	0,026062
24	0,026350	0,026639	0,026931	0,027225	0,027521	0,027820	0,028121	0,028424	0,028729	0,029037	0,029348	0,029660
25	0,029975	0,030293	0,030613	0,030935	0,031260	0,031587	0,031917	0,032249	0,032583	0,032920	0,033260	0,033602
26	0,033947	0,034294	0,034644	0,034997	0,035352	0,035709	0,036069	0,036432	0,036798	0,037166	0,037537	0,037910
27	0,038287	0,038666	0,039047	0,039032	0,039819	0,040209	0,040602	0,040397	0,041395	0,041797	0,0422010	0,042607
28	0,043017	0,043430	0,043845	0,044264	0,044685	0,045110	0,045537	0,045967	0,046400	0,046837	0,047276	0,047718
29	0,048164	0,048612	0,049064	0,049518	0,049976	0,050437	0,050601	0,051363	0,051838	0,052312	0,052788	0,053268
30	0,053751	0,054238	0,054728	0,055221	0,055711	0,056217	0,056720	0,057226	0,057736	0,058249	0,058765	0,059285

Таблица 2

Параметры	Формула	Значение	Разм.
Число зубьев	$z_1 = z_2 = z = d / m$		-
Коэффициент смещения	$x_2 = x_{\min} = (17 - z) / 17$		-
Смещение рейки	$x_2 m$		мм
Инволюта угла зацепления	$inv \alpha_w = \frac{2x_2 \operatorname{tg} \alpha}{z_1 + z_2} + inv \alpha$		
Угол зацепления	α_w		град
Коэффициент суммы смещений	$x_\Sigma = x_1 + x_2$		-
Межосевое расстояние	$a_w = \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} m$		мм
Делительное межосевое расстояние	$a = 0,5m(z_1 + z_2)$		мм
Делительные диаметры	$d_1 = mz_1$		мм
	$d_2 = mz_2$		мм
Передаточное число	$u = z_2 / z_1$		-
Начальные диаметры	$d_{w1} = 2a_w / (u + 1)$		мм
	$d_{w2} = 2a_w - d_{w1}$		мм
Коэффициент воспринимаемого смещения	$y = (a_w - a) / m$		-
Коэффициент уравнивающего смещения	$\Delta y = x_\Sigma - y$		-
Диаметры вершин зубьев	$d_{a1} = d_1 + 2(h_a^* + x_1 - \Delta y)m$		мм
	$d_{a2} = d_2 + 2(h_a^* + x_2 - \Delta y)m$		мм
Диаметры впадин зубьев	$d_{f1} = d_1 - 2(h_a^* + c^* - x_1)m$		мм
	$d_{f2} = d_2 - 2(h_a^* + c^* - x_2)m$		мм
Основные диаметры	$d_{b1} = d_1 \cos \alpha$		мм
	$d_{b2} = d_2 \cos \alpha$		мм
Делительный окружной шаг	$p = \pi m$		мм
Основной окружной шаг	$p_b = p \cos \alpha$		мм
Делительная окружная толщина зубьев	$S_1 = (0,5\pi + 2x_1 \operatorname{tg} \alpha)m$		мм
Измеренная $S_1 =$, $S_2 =$	$S_2 = (0,5\pi + 2x_2 \operatorname{tg} \alpha)m$		мм
Основная окружная толщина зубьев	$S_{b1} = d_{b1}[(S_1/d_1) + inv \alpha]$		мм
Измеренная $S_{b1} =$, $S_{b2} =$	$S_{b2} = d_{b2}[(S_2/d_2) + inv \alpha]$		мм
Коэффициент перекрытия (ab – длина рабочей части линии зацепления, измеренная из картины построенного зацепления, мм)	$\varepsilon_a = \frac{ab}{p \cos \alpha}$		-

Контрольные вопросы

1. Объясните суть метода обкатки, применяемого при нарезании зубьев колес.
2. Каким режущим инструментом пользуются при нарезании зубьев методом обкатки?
3. Почему считают, что зубья колеса, нарезанные гребенкой, имеют более точную эвольвенту, чем нарезанные другим инструментом?
4. Дайте определение передаточного отношения и передаточного числа в зубчатом зацеплении.
5. Дайте определение модулю и шагу зацепления.
6. В каких единицах измеряют модуль?
7. Дайте определение начальной, делительной, основной окружностям.
8. Дайте определение радиальному зазору в зацеплении.
9. Объясните понятие “беззазорное зацепление”.
10. Как называется расстояние, измеренное по линии центров колес между делительными окружностями?
11. Какой угол называется углом зацепления?
12. В каких пределах обычно изменяется угол зацепления?
13. Запишите выражение для коэффициента торцевого перекрытия
14. Объясните понятие “основной окружной шаг”.
15. Объясните смысл понятия “коэффициент перекрытия”.
16. Влияет ли на величину шага изменение толщины зуба?
17. Какая линия в зубчатом зацеплении называется линией зацепления, активной линией зацепления?
18. Объясните, когда зубчатая передача называется нулевой, равносмещенной, неравносмещенной.
19. С какой целью при нарезании зубьев колес применяют смещение режущего инструмента по отношению к заготовке колеса?
20. Объясните, что представляет из себя производящий исходный контур.
21. Каким образом выбирается оптимальное значение коэффициента смещения режущего инструмента при расчете зубчатых колес?
22. Как влияет увеличение коэффициента смещения режущего инструмента на размеры зуба по толщине?
23. Для какого типа зацепления зубчатых колес толщина зуба и ширина впадины по делительной окружности равны?
24. Объясните термин “станочное зацепление”.
25. В чем заключается метод сдвига режущего инструмента при нарезании зубьев колес? Когда возникает необходимость в этом?
26. Какое ограничение имеется при определении максимального и минимального смещения режущего инструмента при нарезании зубьев колес?
27. Какая линия производящего исходного контура является базовой?
28. С какой целью применяют зацепление колес, нарезанных со смещением режущего инструмента?

29. Запишите значение межосевого расстояния для зацепления пары зубчатых колес, нарезанных со смещением режущего инструмента.
30. Чему равен угол станочного зацепления при нарезании зубчатого колеса?
31. Объясните термин “границная прямая” при станочном зацеплении.
32. Назовите отрицательные стороны явления подреза зубьев.
33. В чем проявляется явление подреза зубьев колес?
34. Объясните, что означает: коэффициент перекрытия равен 1,3?
35. Объясните термин “переходящая кривая”.
36. Каким образом при нарезании зубьев колеса гребенкой можно получить число зубьев, меньше чем минимальное без подреза?
37. Почему при проектировании зубчатой передачи стремятся получить минимально возможное число зубьев колес на меньшем колесе?
38. Что означает запись $\Delta_y m = a_w - a$?
39. Как можно, зная угол зацепления, подсчитать $\text{inv}\alpha_w$?
40. Какое наименьшее число зубьев нулевого колеса может быть нарезано гребенкой без подреза?
41. Как называется прямая гребенки, которая при станочном зацеплении касается делительной окружности колеса?
42. Запишите выражение для делительной головки зуба и делительной ножки зуба.
43. На каких станках производится нарезание зубчатых колес, и каким инструментом?
44. Какое наименьшее число зубьев нулевого колеса может быть нарезано без подреза, и от каких основных параметров оно зависит?
45. Как изменятся параметры передачи, если в результате ее монтажа действительное межосевое расстояние оказалось несколько больше расчетного?

Список рекомендуемой литературы

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин, М: Наука, 1988.—640 с.
2. Юдин В.А., Петрокас Л.В. Теория механизмов и машин. Киев: «Вища школа», 1976. – 444 с.
3. Фролов К.В. и др. Теория механизмов и машин. М: Высшая школа, 1987. – 496 с.
4. Теория механизмов и машин. Методические указания к лабораторным работам по ТММ. Часть 1/ сост. Г.В.Гурьев; Под ред. Ю.П.Кислова, Волгоград, Полит. инст., Волгоград, 1977. – 52 с.