

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»
(РУТ (МИИТ))**

Одобрено кафедрой
«ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

Протокол № _____ от _____ 201__ г.

Автор: _____

**ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ
УКАЗАНИЯМИ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Теория механизмов и машин

Уровень ВО: *Специалитет*

Форма обучения: *Заочная*

Курс: *3*

Специальность/Направление: *23.05.03 Подвижной состав железных
дорог (ПСс)*

Специализация/Профиль/Магистерская программа: *Все специализации*

Москва

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Определение параметров эвольвентного зубчатого колеса

Работа состоит в определении параметров эвольвентного зубчатого колеса с использованием универсального измерительного инструмента.

Содержание и порядок проведения работы

1. Начертить схему зубчатого колеса и схему измерений. При этом следует ориентироваться на рис. 2.
2. Сосчитать число зубьев колеса Z .
3. По табл. 1 определить количество зубьев n и $n + 1$, охватываемых штангенциркулем при измерении.
4. Измерить штангенциркулем трижды в разных местах длины общих нормалей W_n и W_{n+1} .
5. По средним значениям W_n и W_{n+1} определить величину шага по основной окружности.
6. Рассчитать модуль колеса и принять за действительный ближайший из стандартных табл. 2. Несходимость расчетного модуля со стандартным не более $\pm 2\%$.
7. Определить значения диаметров d , d_a , d_f , d_b . Значения d_a и d_f сопоставить с измеренными на колесе. Разница расчетных значений диаметров и значений полученных при измерении не должна превышать $\pm 0,25$ мм.
При измерении d_a и d_f рекомендуется пользоваться схемой, рис. 6.
8. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

Оборудование, инструменты

1. Зубчатое колесо.
2. Штангенциркуль с величиной отсчета по нониусу 0,05 мм.

Краткие сведения об эвольвентном зацеплении зубчатых колес

Конструкция зубчатого колеса представляет собой круговой цилиндр, на котором расположены зубья. В дальнейшем для простоты изображения конструктивных элементов будем рассматривать зубчатое колесо в торцевом сечении, считая его плоским.

На рис. 1 изображено зубчатое колесо 1 в зацеплении с колесом 2, боковые поверхности зубьев которых выполнены по эвольвенте. Построение эвольвенты для одного из зубьев колеса 1 видно из рисунка. Она образуется путем перекатывания прямой AB без скольжения по окружности с диаметром d_{b1} , которая называется основной. Перекатывание прямой начинается с точки M_b . Здесь эта точка принадлежит как прямой, так и окружности. В процессе перекатывания прямая все время будет касаться основной окружности

(текущие точки K_1, K_2, K_3), а точка прямой M_b опишет эвольвенту M_b, M_1, M_2, M_3 . Часть этой эвольвенты образует боковые профили зубьев. Изготавливаются зубчатые колеса с такими эвольвентными профилями зубьев могут с помощью такого же колеса с зубьями эвольвентного профиля, имеющих режущие грани. Таким производящим колесом (долбяком) может быть колесо 2.

В процессе изготовления колеса 1 производящее колесо совершает поступательное движение параллельно своей оси. Одновременно с этим оно вместе с изготавливаемым колесом 1 имеет такое же вращательное движение, какое они имели бы в зацеплении друг с другом.

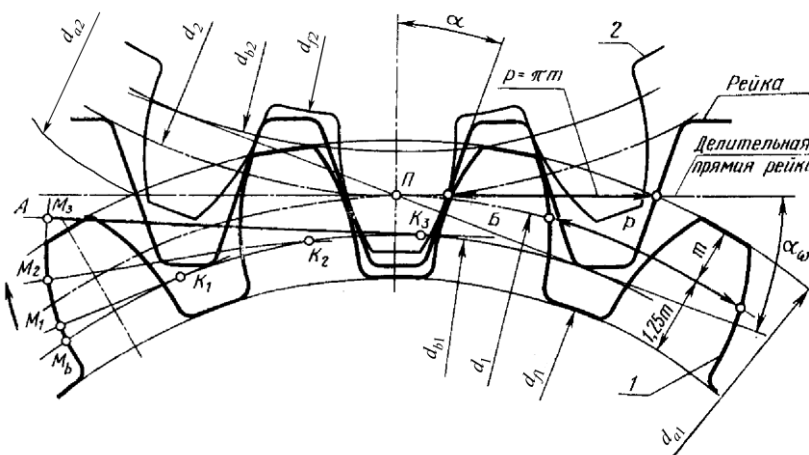


Рис. 1

Если безгранично увеличивать число зубьев колеса 2, то это колесо станет рейкой с зубьями, имеющими прямолинейный контур (профиль).

Изготовление зубчатых колес инструментом, выполненного по параметрам реечного контура, является наиболее распространенным. Эти параметры стандартизированы. Прямая, перпендикулярная осям симметрии зубьев, по которой толщина зуба равна ширине впадины, называется делительной прямой рейки, рис. 1. Расстояние между одноименными профилями соседних зубьев по делительной или любой другой параллельной ей прямой называется шагом p .

Одним из основных параметров реечного контура является модуль

$$m = \frac{p}{\pi}$$

Измеряется модуль в миллиметрах. Значения его строго регламентированы стандартом. Частичное извлечение значений модуля из ГОСТа приведено в табл. 1.

Таблица 1

m	1-й ряд	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16
	2-й ряд	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7	9	11	14	18

Угол α между боковой стороной и осью зуба называется углом профиля реечного контура. Величина его по стандарту равна 20° .

Изготовленное реечным инструментом зубчатое колесо I имеет зависимые от него параметры. Модуль и шаг колеса получаются равными модулю и шагу инструмента. Тогда модуль колеса также определяется по выше приведенной формуле

$$m = \frac{p}{\pi},$$

где p — шаг по делительной окружности зубчатого колеса.

Шагом p по делительной окружности называется расстояние по дуге этой окружности между одноименными профилями соседних зубьев.

Делительной окружностью называется такая окружность, шаг по которой равен шагу реечного инструмента.

Очевидно, что шаг p контура рейки должен разместиться на длине делительной окружности z раз:

$$\pi d = zp = z\pi m,$$

откуда диаметр делительной окружности

$$d = mz,$$

где z — число зубьев колеса.

При нарезании зубчатого колеса делительная прямая рейки может касаться окружности — такое ее положение называется номинальным, а, таким образом изготовленное колесо, называется колесом без смещения.

Во избежание подрезания профилей зубьев (малого колеса) делительная прямая рейки может быть смещена от номинального положения. В этом случае колесо называется корригированным. Если она пересекает делительную окружность, получится колесо со смещением отрицательным, если не пересекает и не касается, — колесо со смещением положительным.

В нашем случае рассматриваются колеса без смещения. В таких колесах диаметр делительной окружности равен диаметру начальной.

Начальной окружностью называется такая окружность зубчатого колеса I , которая касается в полюсе зацепления Π такой же окружности зубчатого колеса 2 и перекачивается по ней без скольжения, когда колеса находятся в зацеплении. Отдельно взятое зубчатое колесо не имеет начальной окружности, для него это понятие лишено смысла.

В зубчатых колесах без смещения, каковым является колесо 1, диаметр окружности вершин

$$d_{a1} = d_1 + 2m \text{ или } d_{a2} = m(z_1 + 2).$$

Диаметр окружности впадин

$$d_{f1} = d_1 - 2,5m \text{ или } d_{f1} = m(z_1 - 2,5).$$

Окружность вершин ограничивает высоту зуба. Окружность впадин ограничивает зубья со стороны тела колеса.

Диаметр основной окружности

$$d_{b1} = d_1 \cos\alpha_{\omega},$$

где α_{ω} — угол зацепления колес 1 и 2.

У колес без смещения $\alpha_{\omega} = \alpha = 20$.

Анализ формул, определяющих геометрические параметры зубчатого колеса (диаметры, шаг), показывает, что они могут быть рассчитаны, если известно значение модуля.

Экспериментально определить модуль зубчатого колеса возможно на основании свойств общей нормали.

Рассмотрим прямую AB на рис. 2. Эта прямая касательна к основной окружности в точке K и пересекает несколько зубьев n . Она является суммой радиусов кривизны KA и KB , которые являются одновременно нормальными к касательным, проведенным эвольвентам через точки A и B , поэтому такую прямую называют общей нормалью. Длина общей нормали W_n , которая пересекает n зубьев, в нашем случае $n = 3$, фактически представляет собой развертку дуги Cl основной окружности

$$W_n = 2p_b + s_b,$$

где p_b и s_b — соответственно шаг и толщина зуба по основной окружности.

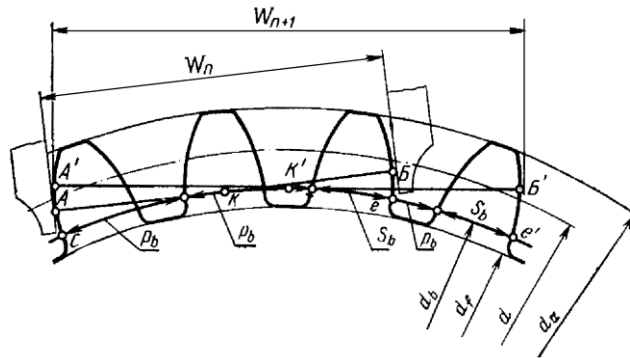


Рис. 2

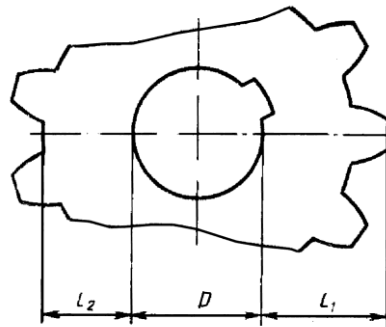


Рис. 3

Аналогично определяется длина общей нормали W_{n+1} , которая пересекает число зубьев на один больше $n + 1$

$$W_{n+1} = 3\rho_b + s_b.$$

Длину общей нормали можно измерять штангенциркулем. При этом число зубьев n и $n + 1$ будет соответствовать числу зубьев, охватываемых штангенциркулем при измерении, когда его губки будут касательными эвольвентным профилям зубьев. Практически уверенность в этом будет тогда, когда одновременно обе губки штангенциркуля будут иметь просвет с обеих сторон от точек касания к эвольвентной части профилей.

В зависимости от общего числа зубьев Z количество зубьев n , охватываемых штангенциркулем для каждого колеса, будет разным и определяется из табл. 2.

Таблица 2

Z	19 – 27	28 – 36	37 – 45	46 – 54	55 – 63	64 – 72	73 – 81
n	3	4	5	6	7	8	9

Имея результаты замеров W_n и W_{n+1} , получим величину шага ρ_b по основной окружности

$$W_{n+1} - W_n = p_b,$$

тогда величина модуля колеса определится по формуле

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{p_b}{\pi \cos \alpha}.$$

В связи с тем, что зубья колеса нарезаны с отклонениями от номинальных размеров, а также с учетом возможного их износа и погрешностей при изменениях W_n и W_{n+1} , полученный модуль может не совпасть со стандартным модулем рейки табл. 1.

Поэтому за действительный модуль надо принять ближайший стандартный модуль из этой таблицы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Построение эвольвентных профилей методом обката

Работа заключается в ознакомлении с методом нарезания зубчатых колес и вычерчивании профилей зубьев при коэффициенте смещения $x_1 = 0$ и $x_2 > 0$.

Содержание и порядок проведения работы

1. Ознакомиться с устройством и работой прибора, приготовить бумажный круг и карандаш.
2. Закрепить круг на диске прибора и провести вычерчивание профилей при $x_1 = 0$ (колесо 1).
3. Ослабив натяжение проволоки, повернуть круг приблизительно на 120. Произвести вычерчивание профилей при $x_2 > 0$, установив на приборе соответствующий сдвиг (колесо 2).
4. Снять бумажный диск и нанести циркулем основную и делительную окружности.
5. С точностью до 0,3 мм измерить толщины зубьев по основной и делительной окружностям (для обоих колес) и записать в таблицу.
6. Рассчитать указанные в таблице параметры и сделать выводы.

Оборудование, инструменты, принадлежности

1. Прибор для вычерчивания профилей эвольвентных зубьев методом обката (рис. 4).
2. Приспособление для вырезания заготовок колес из бумаги.

Краткие сведения об изготовлении зубчатых колес методом обката

Основные параметры зубчатого зацепления

Нарезание эвольвентных профилей методом обката или огибания является наиболее распространенным способом производства зубчатых колес. Режущий инструмент в этом случае — инструментальная рейка (гребенка), червячная фреза или долбяк в форме шестерни. Изготовлению зубчатых колес предшествует их конструирование по исходному контуру, параметры которого стандартизованы.

Инструментальная рейка является зеркальной копией стандартного исходного контура.

Процесс нарезания инструментальной рейкой осуществляется при сложном движении заготовки A , складывающемся из поступательного и вращательного движений в горизонтальной плоскости, и при возвратно-поступательном движении инструмента B по вертикали (рис. 4). Обкаточное движение подачи заготовки происходит в промежутке между двумя рабочими ходами инструмента, когда он находится в верхнем положении.

После движения подачи, в результате которого производится обкатка, рейка, опускаясь, снимает стружку (рабочий ход) и возвращается в исходное

положение. Профиль зуба получается как огибающая профиля рейки в нескольких последовательных ее положениях относительно колеса.

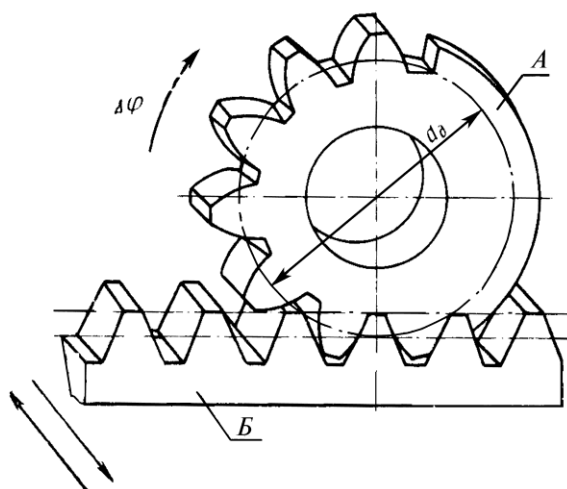


Рис. 4.

Преимуществом зуборезных станков, работающих по методу обката, является то, что одним и тем же инструментом можно нарезать эвольвентные профили с разными параметрами, определяемыми положением заготовки относительно рейки. Если делительная окружность колеса касается делительной прямой рейки, то профиль зуба нормальный (нулевой, некорригированный). У такого колеса высота головки зуба равна модулю, а толщина зуба по делительной окружности равна ширине впадины.

Делительной окружностью называют окружность, на которой шаг равен шагу инструментальной рейки $p = \pi m$.

Делительная прямая рейки — средняя прямая, на которой толщина зуба равна ширине впадины, т.е. $\frac{\pi m}{2}$.

Так как шаг рейки постоянен $p = \pi m$ для любой прямой, параллельной делительной, то делительная окружность может обкатываться без скольжения по любой из этих прямых. Зуб в этом случае также получается эвольвентным, но отличается от нормального и называется корригированным (исправленным).

Корригирование зубчатых колес производится с целью уменьшения габаритов и улучшения качества зацепления, а именно: устранения подреза ножки зуба, увеличения коэффициента перекрытия, уменьшения износа, повышения прочности зуба. При нарезании корригированных колес расстояние между делительной окружностью и делительной прямой b называется абсолютным сдвигом, или просто сдвигом рейки.

Смещение рейки (по сравнению с установкой для нарезания нулевых колес) в направлении от центра заготовки называется положительным, а в направлении к центру — отрицательным.

Коэффициентом сдвига (смещения) или относительным сдвигом называется отношение

$$x = \frac{b}{m}.$$

Следует отметить, что при сдвиге рейки эвольвента и основная окружность (окружность, от которой начинается эвольвента) не изменяются.

Величина относительного сдвига рейки, необходимая для устранения подреза ножки зуба, определяется по формуле:

$$x = \frac{2h_a^* - z \sin^2 \alpha}{2},$$

где h_a^* — коэффициент высоты головок зубьев;

α — угол профиля зуба рейки;

z — число зубьев.

При $h_a^* = 1$, $\alpha = 20^\circ$ (в соответствии со стандартом)

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

Параметры колес (как скорректированных, так и нулевых) рассчитываются по нижеприведенным формулам (табл. 3).

Таблица 3

Элементы колес и зацепления	Обозначение	Расчетные формулы
Радиус делительной окружности	r	$0,5mz$
Радиус основной окружности	r_b	$0,5mz \cos \alpha = r \cos \alpha$
Шаг по делительной окружности	p	πm
Шаг по основной окружности	p_b	$\pi m \cos \alpha = p \cos \alpha$
Коэффициент сдвига	x	$\frac{17 - z}{17}$
Радиус окружности впадин	r_f	$0,5mz - 1,25m + xm$
Радиус окружности выступов	r_a	$0,5mz + m + xm$
Толщина зуба по делительной окружности	S	$0,5\pi m + 2mxtg\alpha$
Толщина зуба по основной окружности	S_b $inv20^\circ$	$2r_b \left(\frac{S}{2r} + inv\alpha \right)$ 0,014904

Описание прибора для вычерчивания зубьев

Принципиальная схема прибора приведена на рис. 5. Основанием прибора служит корпус 4. На основании установлены диск и рейка. Диск состоит из верхней части 9, выполненной из органического стекла и представляющей собой круг диаметром, равным диаметру заготовки колеса, и нижней части 8 — круга с диаметром, равным диаметру делительной окружности. Оба круга жестко между собой соединены и могут вращаться на оси, укрепленной в основании 4 прибора.

Рейка 5 совместно со шкалами 1 и 13, планкой 10 и захватами 3 и 12 может перемещаться поступательно в направляющих типа ласточкиного хвоста 14. Вращение дисков 8 и 9 и поступательное перемещение рейки 5 между собою связаны: в относительном движении круг 8 (делительная окружность) без скольжения обкатывается по ребру планки 10, с которым совпадает делительная прямая рейки. Обкатывание без скольжения производится следующим образом. К неподвижному захвату 12 прикрепляется стальная проволока 11, которая идет сначала влево, затем огибает диск 8, наматываясь на него по часовой стрелке (точно по делительной окружности), и прикрепляется к захвату 3. Захват 3 при помощи эксцентрикового механизма, управляемого рукояткой 2, может несколько перемещаться и создавать необходимое натяжение проволоки 11. Для того, чтобы проследить и проверить обкатывание без скольжения, у некоторых приборов по окружности круга 8 и по краю планки 10 нанесены деления с одинаковым шагом. Совместное движение рейки и диска осуществляется при помощи шагового храпового механизма, приводящегося в действие от рычага 16. При нажатии рычага 16 рейка рабочей собачкой подается влево (по стрелке) на 4–5 мм, при освобождении рычага 16 рейка фиксируется запирающей собачкой. Нажатием на плоскую пружину 15 обе собачки выводятся из сцепления с рейкой 5, и рейка получает возможность свободного передвижения от руки вправо и влево.

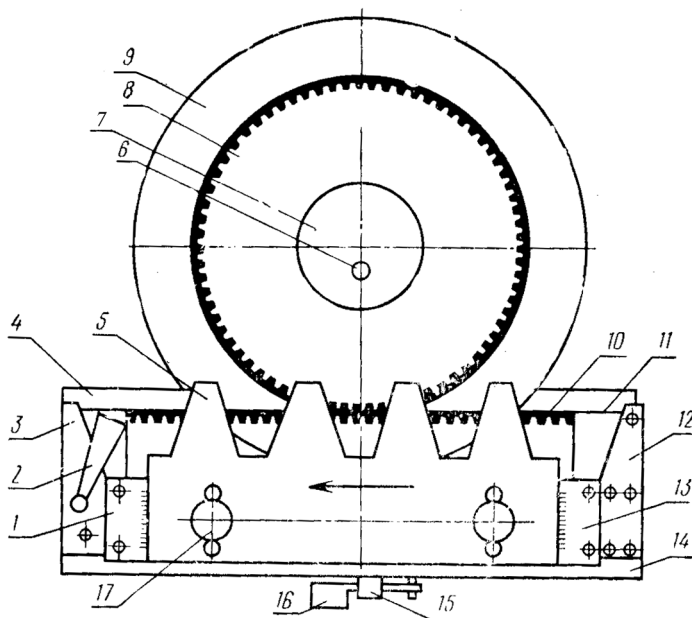


Рис. 5

Помимо движения в направляющих, рейка 5 может также перемещаться в перпендикулярном направлении, приближаясь к центру заготовки или отдаляясь от него. Этим передвижением рейку можно установить так, что делительной окружности 8 будет касаться и катиться по

ней без скольжения любая делительная прямая рейки. Перемещение рейки отсчитывается по шкалам *1* и *13* и фиксируется винтами *17*.

Построение зубьев эвольвентного профиля на приборе делается следующим образом. На три иглы диска *9* накладывается круг из чертежной бумаги с диаметром, равным диаметру заготовки колеса. Бумажный круг прочно прижимается к диску крышкой *7*, привинчиваемой винтом *6*. Нажимом на пружину *15* отключается храповой механизм и рейка *5* отводится в крайнее правое положение. Остро отточенным карандашом на бумажном круге прочерчивается контур зубьев рейки, для чего карандашом обводят зубья рейки, стараясь возможно ближе поставить острие карандаша к граням зубьев. Нажимом на рычаг *16* передвигают рейку (а вместе с ней поворачивается и заготовка) влево на один шаг храпового устройства и вновь очерчивают контур зубьев рейки. Так продолжают до тех пор, пока рейка *5* не придет в крайнее левое положение, а на бумажном круге будет получен (как огибающая к разным положениям зубьев рейки) контур двух–трех зубьев.

Чтобы использовать другую часть бумажного круга для прочерчивания зубьев колес, бумажный круг снимать не следует. Нужно использовать рукоятку *2* в крайнее левое положение, тогда натяжение проволоки ослабнет, и диск с бумажным кругом легко повернется относительно рейки. После поворота заготовки проволока *11* снова натягивается рукояткой *2*.

О Т Ч Е Т

ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

по дисциплине

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

Студент _____
(Фамилия, И.О.)

Учебный шифр _____

_____ « ____ » _____ 20 ____ г.
(подпись) (дата)

Лабораторные работы зачтены:

Преподаватель _____
(Фамилия, И.О.)

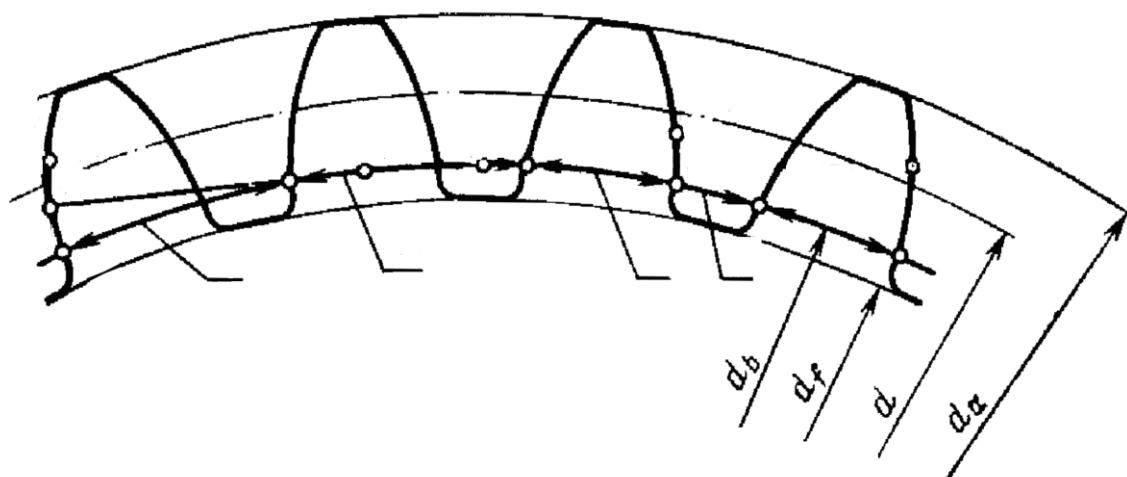
_____ « ____ » _____ 20 ____ г.
(подпись) (дата)

Москва 20 ____ г.

Лабораторная работа №1
Определение параметров эвольвентного зубчатого колеса

Цель работы:

Схема измерения



Число зубьев колеса, $z =$

Число зубьев для измерения основного шага, $n =$

Результаты измерений

№ п/п	W_n , мм	W_{n+1} , мм
1		
2		
3		
Среднее		

Шаг по дуге основной окружности [мм]: $p_s = W_{n+1} - W_n =$

Расчетное значение модуля [мм]:

$$m = \frac{p_s}{\pi \cos \alpha} =$$

Уточненное значение модуля по ГОСТу, $m =$ мм

Фактическая толщина зуба по основной окружности

$$S_g^* = W_{n+1} - np_g =$$

Расчетная толщина зуба по основной окружности нулевого колеса

$$S_g = d_g \left(\frac{\pi m}{2d} + \text{inv } \alpha_p \right) =$$

Коэффициент сдвига

$$\chi = \frac{S_g^* - S_g}{2m \sin \alpha} =$$

Расчетные параметры зубчатого колеса

$$d = mz =$$

$$d_g = d \cos \alpha =$$

$$d_a = mz + 2m + 2\chi m =$$

$$d_f = mz - 2,5m + 2\chi m =$$

Выводы:

Работа проверена

Работу выполнил

Преподаватель _____ (ФИО)
(подпись, дата)

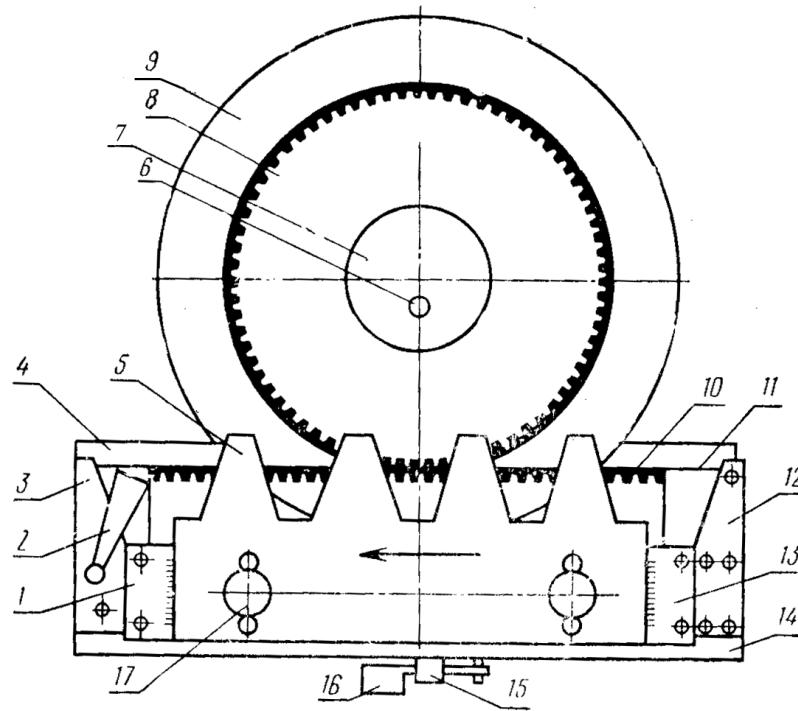
Студент _____ (ФИО)

Шифр _____

Лабораторная работа №2
Построение эвольвентных профилей методом обката

Цель работы:

Схема прибора



Исходные величины:

Модуль рейки, $m =$ мм

Угол профиля рейки, $\alpha = 20^\circ$

Коэффициент высоты головки, $f = 1$

Диаметр делительной окружности, $d =$ мм

Коэффициент сдвига:

$\chi_1 = 0$

$\chi_2 =$ мм (см. расчет)

Сдвиг рейки $b = x_2 \cdot m =$ мм

$$d_1 = d_2; \quad d_{e1} = d_{e2}$$

Результаты расчетов и измерения

Элементы колес и зацепления	Обозначение	Расчетные формулы	Расчет		
Радиус делительной окружности	r	$0,5 mz$			
Радиус основной окружности	r_e	$0,5mz \cos \alpha = r \cos \alpha$			
Шаг по делительной окружности	p	πm			
Шаг по основной окружности	p_e	$\pi m \cos \alpha = p \cos \alpha$			
Коэффициент сдвига	χ_2	$(17 - z) / 17$			
Радиус окружности впадин	r_f	$0,5mz - 1,25m + xm$	$\chi_1 = 0$	$r_{f1} =$	
			$\chi_2 =$	$r_{f2} =$	
Радиус окружности выступов	r_a	$0,5 mz + m + xm$	$\chi_1 = 0$	$r_{a1} =$	
			$\chi_2 =$	$r_{a2} =$	Измерен
Толщина зуба по делительной окружности	S	$0,5 \pi m + 2mx \cdot \operatorname{tg} \alpha$	$\chi_1 = 0$	$S_1 =$	
			$\chi_2 =$	$S_2 =$	
Толщина зуба по основной окружности	S_e	$2r_e \left(\frac{S}{2r} + \operatorname{inv} \alpha \right)$	$\chi_1 = 0$	$S_{e1} =$	
			$\chi_2 =$	$S_{e2} =$	
Угол зацепления в сборке	α_ω	$\operatorname{inv} \alpha_\omega = \operatorname{inv} \alpha + 2 \frac{x_1 + x_2}{z_1 + z_2} \operatorname{tg} \alpha$			
Межцентровое расстояние	A	$A = \frac{m}{2} (z_1 + z_2) \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_\omega}$			
Коэффициент перекрытия	ε	$\frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{e1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{e2}^2} - A \sin \alpha_\omega}{\pi m \cos \alpha}$			

Работа проверена

Работу выполнил

Преподаватель _____ (ФИО)
(подпись, дата)

Студент _____ (ФИО)

Шифр _____