

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»
Строительно-политехнический колледж

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА
часть 2

к выполнению лабораторных работ № 6 -9
для студентов специальностей 15.02.08 Технология
машиностроения, 15.02.10 Мехатроника и мобильная
робототехника

Методические указания обсуждены на заседании методического совета
СПК

«18» 02. 2022 года Протокол № 6

Председатель методического совета СПК  Сергеева С. И.

Методические указания одобрены на заседании педагогического совета
СПК

«25» 02. 2022 года Протокол № 6

Председатель педагогического совета СПК  Дегтев Д.Н.

2022

Составители: преп. И.И. Извеков, преп. В.Н. Елизаров

УДК – 531 (07)
ББК 22.2я7

Методические указания к выполнению лабораторных работ № 6, 7, 8, 9, по предмету «Техническая механика» для студентов специальностей 15.02.08 «Технология машиностроения», 15.02.10 «Мехатроника и мобильная робототехника»/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. И.И. Извеков, преп. В.Н. Елизаров. Воронеж, 2022. 33 с.

В методических указаниях содержатся краткие теоретические сведения по основам прикладной механики, знакомят с принципами работы лабораторного оборудования, использованием измерительных инструментов и приборов, методикой проведения механических испытаний материалов и конструкций на прочность, жесткость, устойчивость.

Методические указания подготовлены в электронном виде.

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический университет», 2022

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

1. Выполнение работ студентами производится только в присутствии преподавателя или лаборанта после прохождения инструктажа по технике безопасности и изучения устройства машин.

2. Включать или выключать силовой рубильник имеет право только преподаватель или лаборант.

3. Перед началом работы необходимо проверить надежность защитных ограждений; надежность заземления; исправность захватов; работу испытательной машины на холостом ходу; исправность предохранительного приспособления, запирающего защелку, на маятниковом копре.

4. Во время работы машины запрещается прикасаться к электропроводке; облакачиваться или опираться на машину; поправлять образец во время работы машины; класть посторонние предметы на подвижные части машины; стоять в плоскости движения маятника маятникового копра.

5. При работе на маятниковом копре обязательно пользоваться устройством, запирающим защелку. Установку образца, снятие предохранителя и освобождение маятника копра производит только преподаватель или лаборант.

6. Испытание образцов из хрупкого материала производить только в специальном приспособлении.

7. Испытательные машины и другое оборудование лаборатории использовать только по их прямому назначению

8. Наблюдать за ходом эксперимента разрешается только с лицевой стороны испытательной машины.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ПОСТРОЕНИЕ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ МЕТОДОМ ОБКАТКИ

6.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить принцип нарезания цилиндрических зубчатых колёс эвольвентного профиля методом обкатки инструментальной рейкой.

2. Изучить влияние сдвига режущего инструмента на параметры зубьев.

6.2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Зубья колёс получают двумя методами: обкаткой и копированием. Каждый из них может выполняться различными способами: накаткой в горячем состоянии; нарезанием червячной, дисковой или пальцевой фрезами; долбяком или зуборезной рейкой и т.д. Наибольшее распространение получил метод обкатки способом нарезания зубьев червячной фрезой и инструментальной рейкой. Эти способы позволяют инструментом данного модуля получать колёса того же модуля с любым числом зубьев. Нарезание зубьев методом обкатки на зубострогальном станке, на котором в качестве режущего инструмента применяется зуборезная рейка – наиболее простой, дешёвый и точный метод, который широко применяется в машиностроении. В процессе нарезания этим методом рейка совершает возвратно-поступательное движение по вертикали, заготовка, вращаясь вокруг своей оси, одновременно перемещается вдоль рейки. После того, как центр заготовки сдвигается на несколько шагов рейки, обкатка прекращается, и заготовка без вращения отводится в исходное положение, рейка при этом находится сверху. Описанный цикл движений повторяется до окончания обработки всех зубьев колеса. Параметры инструментальной рейки регламентированы в соответствии с

исходным контуром зубчатых колёс по ГОСТ 13755-81 (рис. 6.1).

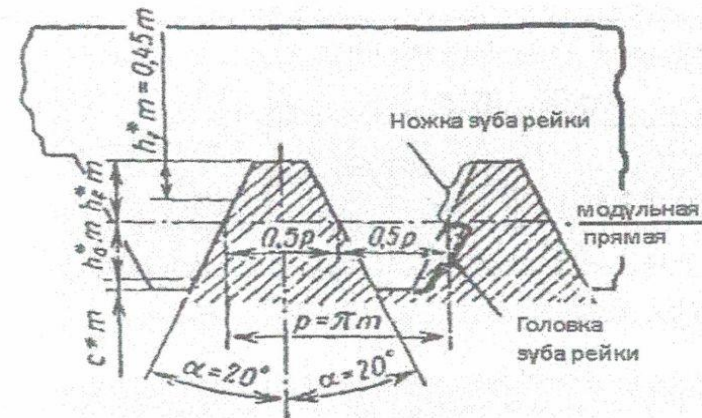


Рис. 6.1

Заштрихованная часть контура (рис. 6.1) соответствует впадине инструментальной рейки. Прямая, на которой толщина зуба равна ширине впадины, называется модульной прямой. Расстояние между одноимёнными профилями соседних зубьев прямой модульной называется шагом рейки $p = \pi * m$. Отношение $m = \frac{p}{\pi}$ называется модулем рейки. Модульная прямая делит прямолинейную часть зуба рейки на две части: головку и ножку. По сравнению с зубом нормального колеса рейка имеет увеличенную высоту головки зуба h_a т.к. этой частью рейка нарезает ножку колеса, имеющую высоту h_f . В процессе работы рейка точно передаёт все параметры нарезаемому колесу. При этом модульная прямая в зависимости от способа установки рейки относительно заготовки колеса могут занимать различное положение:

1. Рейка установлена так, что модульная прямая является касательной к делительной окружности колеса, т.е. к окружности, на которой шаг зацепления равен

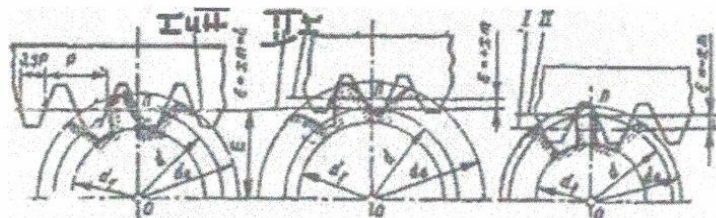


Рис. 6.2

Рис. 6.3

Рис. 6.4

шагу инструментальной рейки – это нулевое положение (рис. 2). Расстояние E от оси зубчатого колеса до модульной прямой рейки I (при таком взаимоположении она же и делительная прямая II), вычисляется по формуле: $E = 0,5 * d = 0,5 * m_t * z$, где d – диаметр делительной окружности, m_t – окружной модуль (для прямозубого колеса $m_t = m$), z – число зубьев колеса.

В этом случае толщина зуба по дуге делительной окружности равна ширине впадины, а сумма толщин зубьев шестерни и колеса в сопряжённой паре равна окружному шагу, т.е. $s_1 + s_2 = p_t$, где s_1 – толщина зуба шестерни, s_2 – толщина зуба колеса; p_t – окружной шаг зацепления.

Высота головки зуба: $h_a = m$.

Высота ножки зуба: $h_f = 1,25 * m$.

Зубчатые колёса с такими параметрами, полученные любым способом нарезания, называют нормальными (нулевыми).

2. Рейка установлена так, что модульная прямая рейки I отодвинута от центра заготовки на некоторую величину ϵ (рис. 6.3). Расстояние между делительной прямой II и модульной прямой рейки I называется смещением (сдвигом) ϵ , а величина $x = \epsilon/m$ коэффициентом смещения. Рассматриваемый сдвиг называется положительным сдвигом $\epsilon = +m * x$. При таком сдвиге толщина зуба колеса по делительному диаметру

больше ширины впадины и такое колесо называется положительным.

3. Рейка установлена так, что модульная прямая рейки I приближена к центру заготовки на расстояние ϵ и пересекает делительную окружность колеса (рис. 6.4). Такой сдвиг называется отрицательным $\epsilon = -m * x$. У колёс, нарезаемых при такой установке зуборезного инструмента, толщина зуба по делительной окружности меньше ширины впадины и такое колесо называется отрицательным. Колёса, нарезанные с установкой зуборезного инструмента согласно пунктам 2 и 3, называются колёсами со смещением.

6.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Для выполнения работы необходимо иметь прибор типа ТММ 42 (рис. 6.5), бумажные круги (заготовки) из ватмана, линейку, карандаш, циркуль. Получение зубьев на данном приборе имитирует производственный процесс нарезания зубчатых колёс инструментальной рейкой. Прибор состоит из диска I (рис. 6.5), на котором располагается заготовка 2, гребенки 4 на основании 5, рычажка 6 и винтов 7, шкалы 8. Рычаг 9 фиксирует диск I , на котором расположены винт 10 и прижимная шайба 11.

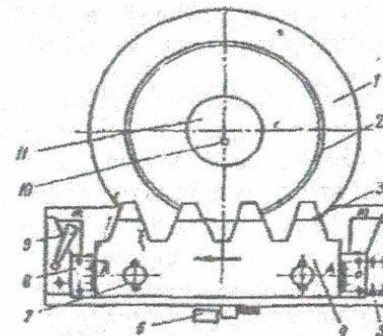


Рис. 6.5

6.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством прибора ТММ 42.

2. Установить прибор в исходное рабочее положение, т.е. отвести гребёнку 4 в крайнее правое положение, относительно основания 5. Освободить винт 10 и снять прижимную шайбу 11. Заготовку положить на диск 1. Освободить винты 7 и установить гребёнку против деления "0" шкалы 8. Зафиксировать гребёнку в этом положении. Приложить линейку к модульной прямой 3 рейки и сделать карандашом штрих на заготовке против её центра. Снять заготовку и радиусом от центра до штриха провести окружность 2 - делительную окружность колеса. Установить заготовку на диске 1 и прижать её шайбой 11. Повернуть влево рычаг 9 натяжения троса диска 1 и повернуть диск с заготовкой так, чтобы одна из линий, делящих заготовку на три сектора, совпадала с серединой впадины между зубьями рейки. Затем повернуть рычаг 9 вправо, т.е. зафиксировать диск 1 относительно оси вращения. Обвести зубья гребёнки карандашом, нажать на рычажок 6 и ещё раз обвести зубья гребёнки, находящиеся на заготовке. В результате последовательных поворотов диска на ряд небольших углов и обвода рейки остриём карандаша образуются полные профили двух - трёх зубьев колеса, т.е. движение подачи, осуществляется рейкой, обкат - заготовкой: процесс нарезания заменён обводкой профиля рейки в каждом её последующем положении карандашом.

3. Отвести рейку в исходное положение, освободить натяжение троса поворотом рычага 9 и повернуть заготовку до совмещения оси симметрии средней впадины рейки с началом следующего сектора: отодвинуть рейку от центра заготовки на заданное расстояние ε , по шкале 8. В последовательности, описанной выше, вычертить зубья положительного колеса.

4. Установить диск и рейку в исходное положение, сместить рейку к центру на заданную величину ε отрицательного сдвига, вычертить зубья отрицательного колеса. Снять бумажный круг с вычерченными зубьями.

5. По формулам рассчитать теоретические значения параметров полученных зубчатых колёс. Результаты расчёта занести в таблицу.

6. Нанести на бумажный круг окружности колеса: делительную, вершин зубьев, впадин зубьев, измерить их диаметры, толщину зубьев и шаг зацепления. Полученные из эксперимента данные занести в таблицу. Сравнить полученные результаты измерений с теоретическими.

7. В каждом секторе бумажного круга написать значение смещения ε , число зубьев z , модуль m : провести радиусы соответствующих окружностей и указать их значения.

Наименование параметра, размерность	Обозначение и расчётные формулы	Значение		
		Нормальное колесо	Колесо со смещением	
			положит.	отрицат.
Число зубьев колёс	$z = d/m$			
Диаметр делительной окружности, мм	$d = m * z$			
Коэффициент смещения	$x = \frac{\varepsilon}{m}$			
Диаметр окружности вершин зубьев, мм Расчётный Измеренный	$d_a = d + 2m + 2xm$			
Диаметр окружности впадин зубьев, мм Расчётный Измеренный	$d_f = d - 2,5m + 2mx$			

Окончание табл.

Наименование параметра, размерность	Обозначение и расчётные формулы	Значение		
		Нормальное колесо	Колесо со смещением	
			положит.	отрицат.
Шаг по делительной окружности, мм Расчётный Измеренный	$p = \pi * m$			
Толщина зуба по делительной окружности, мм Расчётная Измеренная	$S_n = \left(\frac{\pi}{2} + 2xtga\right) m$			
Ширина впадин по делительной окружности, мм	$e_t = \frac{\pi * m}{2}$			

6.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

К отчёту приложить диск с вычерченными профилями зубьев с указанием всех необходимых размеров, а также заполненную таблицу.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие методы применяются для нарезания зубьев колеса?
2. Как получают зубья методом обкатки с применением инструментальной рейки?
3. Что такое модуль рейки?
4. Назовите основные геометрические параметры зуба?
5. Что такое нормальное зубчатое колесо? Как его получить?

6. Как вычислить коэффициент смещения?
7. Что такое делительная, начальная окружности?
8. Что понимается под положительным зубчатым колесом? Как получить такое колесо?
9. Что понимается под отрицательным зубчатым колесом? Как получить такое колесо?
10. Объясните принцип работы устройства, применяемого в данной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМОЗУБЫХ И КОСОЗУБЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЁС С ВНЕШНИМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

7.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с геометрией зубчатого колеса, нарезанного без смещения режущего инструмента.
2. Замером определить основные геометрические параметры зубчатого колеса.
3. По формулам рассчитать геометрические параметры, которые нельзя определить замером.

7.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Зубчатые передачи - наиболее распространённый тип передач в современном машиностроении и приборостроении, их применяют в широких диапазонах изменений скоростей, мощностей и передаточных чисел. Основными достоинствами зубчатых передач по сравнению с другими видами передач являются: постоянство передаточного числа, высокая нагрузочная способность, высокий К.П.Д., малые габаритные размеры при равных других условиях, большая надёжность в работе, простота обслуживания, сравнительно малые нагрузки на валы и

опоры. Зубчатую передачу образуют колёса, находящиеся в контакте между собой. Зубчатые колёса классифицируются по следующим признакам:

- по форме профиля зуба: с эвольвентными и неэвольвентными зубьями (эвольвентой называется кривая, описываемая любой точкой прямой, перекатываемой без проскальзывания по неподвижной окружности). Для построения профиля зуба используется часть эвольвенты;
- по расположению зубьев относительно образующих колёс: прямозубые, косозубые, шевронные, с криволинейным зубом;
- по расположению зубьев в колесе: внешнее, внутреннее, реечные зацепления.

В лабораторной работе рассматриваются нулевые (некорректированные) зубчатые колёса, способные осуществлять прямозубую и косозубую передачу внешнего зацепления.

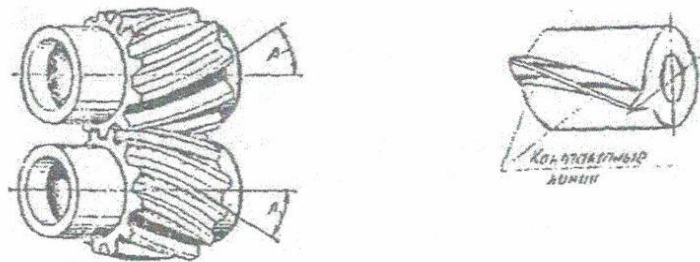


Рис. 7.1

Цилиндрические колёса, у которых зубья расположены по винтовым линиям на делительном цилиндре, называются косозубыми. При этом шаг винтовой линии зуба по делительному цилиндру весьма значителен по сравнению с шириной венца и криволинейность зуба малозаметна. У пары сопряжённых косозубых колёс с внешним зацеплением углы наклона

зубьев β относительно образующей делительного цилиндра равны по величине, но противоположны по направлению. Одно колесо левое, другое - правое (рис. 7.1).

Косозубые колёса нарезают тем же инструментом, что и прямозубые. Основными геометрическими элементами зубчатых колёс (рис. 7.2, 7.3) являются:

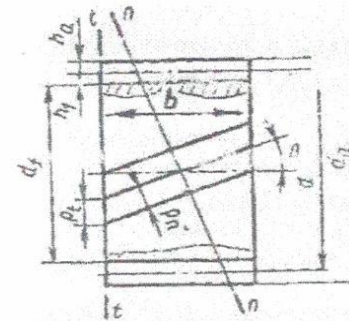


Рис. 7.2

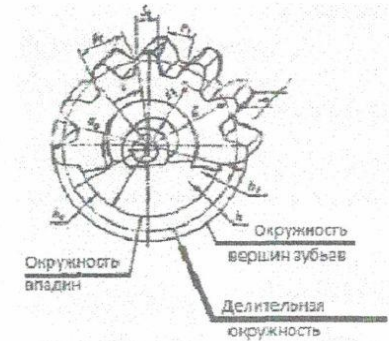


Рис. 7.3

d – диаметр делительной окружности зубчатого колеса, которая катится без скольжения по начальной прямой рейки в процессе нарезания зубьев зубчатого колеса;

d_a – диаметр окружности вершин зубьев – окружности проходящие по вершинам зубьев колеса;

d_f – диаметр окружности впадин зубьев – окружности проходящие по впадинам зубьев колеса;

d_b – диаметр основной окружности;

p_t – окружной шаг зубьев (в торцевом сечении t-t) – расстояние между одноимёнными точками двух соседних профилей зубьев по делительной окружности;

p_n – нормальный шаг зубьев (в нормальном сечении n-n);

m_t – окружной модуль – часть делительной окружности, приходящаяся на один зуб колеса или отношение окружного шага к числу π ;

m_n – нормальный модуль;
 z – число зубьев колеса;
 β – угол наклона зубьев;
 h – высота зуба – радиальное расстояние между окружностями вершин и впадин зубчатого колеса;
 h_a – высота головки зуба – радиальное расстояние между делительной окружностью и окружностью вершин зубчатого колеса;
 h_f – высота ножки зуба – радиальное расстояние между делительной окружностью и окружностью впадин зубчатого колеса;
 s_t – окружная толщина зуба – расстояние между боковыми профилями (сторонами) зуба по дуге делительной окружности зубчатого колеса;
 e_t – окружная ширина впадины – расстояние между разноимёнными боковыми профилями соседних зубьев по дуге делительной окружности зубчатого колеса;
 b – ширина венца колеса – расстояние между торцами зубьев колеса (по линии параллельной его оси);
 τ – угловой шаг зубьев; $\alpha = 20^\circ$ – угол зацепления.

Параметры, размерность	Обозначения	Расчётные формулы	колесо			
			прямозубое		косозубое	
			значение параметров			
замер	расчёт	замер	расчёт			
Число зубьев колеса	z					
Высота зуба, мм	h					
Нормальный модуль, мм	m_n	$m_n = h/2.25$				
Угол наклона зуба, град	β					

Продолжение табл.

Параметры, размерность	Обозначения	Расчётные формулы	колесо			
			прямозубое		косозубое	
			значение параметров			
замер	расчёт	замер	расчёт			
Диаметр вершин зубьев, мм	d_a	$d_a = m_n \left(\frac{z}{\cos\beta} + 2 \right)$				
Диаметр впадин зубьев, мм	d_f	$d_f = m_n \left(\frac{z}{\cos\beta} - 2,5 \right)$				
Диаметр делительной окружности, мм	d	$d = \frac{m_n z}{\cos\beta}$				
Диаметр основной окружности, мм	d_b	$d_b = d \cos\alpha$				
Окружной модуль, мм	m_t	$m_t = \frac{m_n}{\cos\beta}$				
Окружной шаг, мм	p_t	$p_t = m_t z$				
Нормальный шаг, мм	p_n	$p_n = m_n z$				
Высота головки зуба, мм	h_a	$h_a = m_n$				
Высота ножки зуба, мм	h_f	$h_f = 1,25 m_n$				

Окончание табл.

Параметры, размерность	Обозначения	Расчётные формулы	колесо			
			прямозубое		косозубое	
			значение параметров			
			замер	расчёт	замер	расчёт
Окружная толщина зуба по делительной окружности, мм	s_t	$s_t = \frac{\pi m_n}{2}$				
Окружная ширина впадин зубьев, мм	e_t	$e_t = \frac{\pi m_n}{2}$				
Ширина венца колеса, мм	b	$b = m_n \psi_m;$ $\psi_m = 10 \div 15$				
Угловой шаг, град	τ	$\tau = \frac{360^\circ}{z}$				
Угол зацепления, град	α	20°				

7.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Для выполнения работы необходимо иметь набор зубчатых колёс, штангенциркуль штангензубомер, универсальный угломер, кронциркуль, масштабную линейку, циркуль.

7.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Выполнить эскиз рассматриваемого зубчатого колеса с указанием измеряемых и рассчитываемых параметров.

Выполнить необходимые замеры и расчеты, полученные результаты внести в соответствующие графы таблицы, предварительно согласовав стандартные параметры с ГОСТом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Достоинства и недостатки зубчатых передач.
2. Классификация зубчатых передач.
3. Что значит «нулевое» колесо?
4. Перечислите основные геометрические параметры зубчатого колеса.
5. Перечислите геометрические параметры колеса, которые определялись замером.
6. Перечислите геометрические параметры колеса, которые определялись расчётом (т.е. с применением формул).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНИЧЕСКОГО КОЛЕСА С ПРЯМЫМИ ЗУБЬЯМИ

8.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с геометрией конического колеса с прямыми зубьями, нарезанными без смещения режущего инструмента.
2. Замером определить основные геометрические параметры конического колеса.
3. По формулам рассчитать геометрические параметры, которые нельзя определить замером.

8.2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Конические зубчатые колёса применяют в передачах, у которых оси валов пересекаются под некоторым углом. Наиболее распространены передачи в которых оси валов пере-

секаются под углом 90° . Конические передачи сложнее цилиндрических в изготовлении и при монтаже. Для нарезания конических колёс требуются специальные станки и инструменты. Пересечение осей валов затрудняет размещение опор. Одно из конических колёс, как правило, располагается консольно, при этом увеличивается неравномерность распределения нагрузки по длине зуба. В коническом зацеплении действуют осевые силы, в связи с чем конструкция опор усложнена. Всё это приводит к тому, что нагрузочная способность конической передачи составляет лишь около 0,85 по сравнению с цилиндрической. Несмотря на отмеченные недостатки, конические передачи имеют довольно широкое применение, поскольку в конструкциях машин часто необходимо располагать валы под углом. Конические передачи различают с прямыми, косыми (тангенциальными и круговыми) зубьями (рис 8.1, а, б, в).

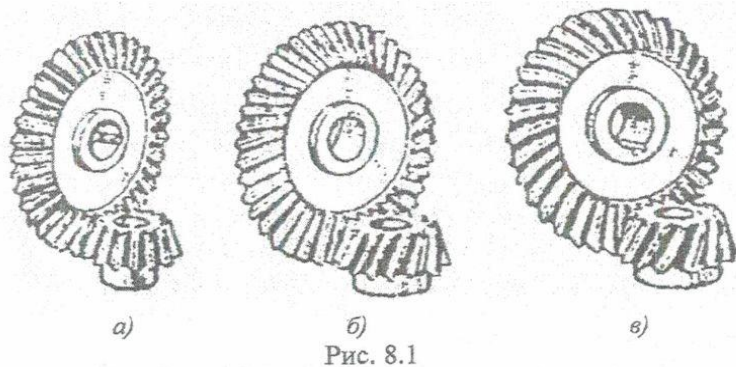


Рис. 8.1

Чаще всего применяют конические колёса с круговыми зубьями, которые обладают рядом преимуществ: при одинаковых габаритных размерах конических передач, передачи с круговыми зубьями имеют более высокую несущую способность; при повышенных окружных скоростях (11...35 м/с) работают плавно и бесшумно (вследствие большого перекрытия зубьев в зацеплении). Зубья конических колёс по признаку изменения

размеров их сечений по длине зуба выполняют трёх форм (рис. 8.2, а, б, в, г):

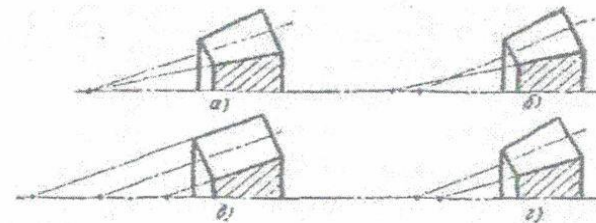


Рис. 8.2

Форма 1 – пропорционально понижающиеся зубья (рис. 8.2, а). Вершины конусов делительного и впадин совпадают. Высота ножки зубьев пропорциональна конусному расстоянию; эта форма является основной для прямозубых и косозубых конических передач. Её применяют также для передач с круговыми зубьями при $z = 20...100$.

Форма 2 – понижающиеся зубья (рис. 8.2, б, г). Вершины конусов делительного и впадин не совпадают. Ширина дна впадины постоянна, а толщина зуба по делительному конусу растёт пропорционально расстоянию от вершины. Эта форма позволяет обрабатывать одним инструментом сразу обе поверхности зубьев. Она является основой для колёс с круговыми зубьями.

Форма 3 – равновысокие зубья (рис. 8.2, в). Образующие конусов делительного, впадин и вершин параллельны. Эту форму применяют для круговых зубьев при $z > 40$.

Для конических прямозубых колёс с зубьями по форме 1 обычно выбирают стандартные значения внешнего окружного модуля, задают размеры зубьев на внешнем торце, где удобно производить замеры. Профили зубьев, как и у цилиндрических колёс, очерчиваются по эвольвенте.

В лабораторной работе рассматриваются некорректированные зубчатые колёса, способные осуществлять коническую передачу с прямыми зубьями.

Основными геометрическими параметрами конических колёс (зубья формы 1) (рис. 8.3, 8.4) являются:

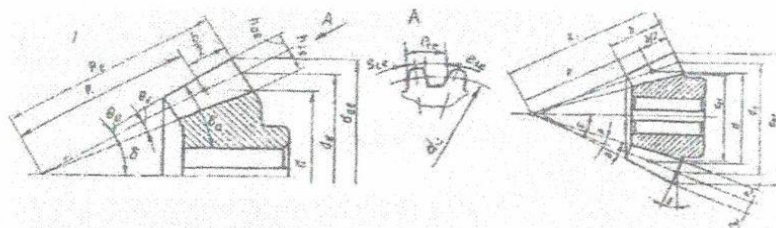


Рис. 8.3

Рис. 8.4

- z – число зубьев колеса;
- R_e – внешнее конусное расстояние;
- R – среднее конусное расстояние;
- b – ширина зубчатого венца;
- d_e – внешний делительный диаметр;
- d – средний делительный диаметр;
- d_{ae} – внешний диаметр вершин зубьев;
- d_{fe} – внешний диаметр впадин зубьев;
- m_e – внешний окружной модуль (производственный);
- m – средний окружной модуль;
- δ_a – угол конуса вершин зубьев;
- δ – угол делительного конуса;
- h_e – внешняя высота зуба;
- h_{ae} – внешняя высота головки зуба;
- h_{fe} – внешняя высота ножки зуба;
- p_{te} – окружной шаг;
- s_{te} – внешняя окружная толщина зуба;
- e_{te} – внешняя окружная ширина впадин зубьев;

$\alpha = 20^\circ$ - угол зацепления;

θ_a - угол головки зуба $\theta_{af} = \theta_{f2}; \theta_{a2} = \theta_{f1}$; (рис. 8.3)
 θ_f - угол ножки зуба $\theta_{af} = \theta_{f1}; \theta_{a2} = \theta_{f2}$; (рис. 8.4)

} 22

Углы головки и ножки зуба, показанные на рис. 8.4, равны ($\theta_a = \theta_f = \theta$). Это сделано для того, чтобы образующая конуса вершин зубьев одного колеса была параллельна образующей конуса впадин второго колеса, в результате чего радиальный зазор по длине прямого зуба становится постоянным (в этом случае вершины конусов не совпадают).

8.3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Для выполнения работы необходимо иметь коническое колесо с прямыми зубьями, штангенциркуль, универсальный угломер, штангензубомер, масштабную линейку, циркуль.

8.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Выполнить эскиз рассматриваемого зубчатого колеса с указанием измеряемых и рассчитываемых параметров. Представить все расчёты геометрических параметров, определяемых по формулам. Результаты замеров и расчётов занести в таблицу, предварительно согласовав стандартные параметры с ГОСТом.

Параметры	Обозначения	Расчётные формулы	Значения	
			Замер	Расчёт
Число зубьев колеса	z			
Внешняя высота зуба, мм	h_e			
Внешний окружной модуль, мм	m_e	$m_e = \frac{h_e}{2,2}$		

Продолжение табл.

Продолжение табл.

Параметры	Обозначения	Расчётные формулы	Значения	
			Замер	Расчет
Внешний делительный диаметр, мм	d_e	$d_e = m_e z$		
Внешний диаметр вершин зубьев, мм	d_{ae}	$d_{ae} = m_e(z + 2\cos\delta)$		
Угол делительного конуса, град	δ	$\delta = \frac{\arccos\left(\frac{d_{ae} - d_e}{2m_e}\right)}$		
Внешний диаметр впадин зубьев, мм	d_{fe}	$d_{fe} = m_e(z - 2,4\cos\delta)$		
Ширина венца колеса, мм	b			
Средний окружной модуль, мм	m	$m = m_e - \frac{b \sin\delta}{z}$		
Средний делительный диаметр, мм	d	$d = mz$		
Внешняя высота головки зуба, мм	h_{ae}	$h_{ae} = m_e$		
Внешняя высота ножки зуба, мм	h_{fe}	$h_{fe} = 1,2m_e$		
Внешнее конусное расстояние, мм	R_e	$R_e = \frac{0,5d_e}{\sin\delta}$		

Окончание табл.

Параметры	Обозначения	Расчётные формулы	Значения	
			Замер	Расчет
Среднее конусное расстояние, мм	R	$R = R_e - 0,5b$		
Угол головки зуба, град	θ_a	$\theta_a = \arctg \frac{m_e}{R_e}$		
Угол ножки зуба, град	θ_f	$\theta_f = \arctg \frac{1,2m_e}{R_e}$		
Угол конуса вершин, град	δ_a	$\delta_a = \delta + \theta_a$		
Окружной шаг, мм	p_{te}	$p_{te} = \pi m_e$		
Внешняя окружная толщина зуба, мм	s_{te}	$s_{te} = \frac{\pi m_e}{2}$		
Внешняя окружная ширина впадин зуба, мм	e_{te}	$e_{te} = \frac{\pi m_e}{2}$		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких случаях применяются конические передачи?
2. Назовите основные геометрические параметры конического прямозубого колеса.
3. Назовите формы зубьев в зависимости от изменения их размеров по длине.
4. Где производится измерение размеров конических колёс?
5. Какие недостатки можно отметить для конических колёс?
6. Какой модуль для конических колёс является стандартным?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕРВЯКА И ЧЕРВЯЧНОГО КОЛЕСА

9.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с геометрией червяка и червячного колеса.
2. Замером определить основные геометрические параметры червяка и червячного колеса.
3. По формулам рассчитать геометрические параметры, которые нельзя определить замером.

9.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Червячная передача предназначена для сообщения вращательного движения валам, оси которых скрещиваются под углом 90° . Движение осуществляется по принципу винтовой пары: винтом является червяк, а червячное колесо представляет собой узкую часть длинной гайки, изогнутой по окружности резьбой наружу. Зубья колёса имеют вогнутую форму. Достоинствами этой передачи являются: возможность получения больших передаточных чисел при малых габаритах; плавность зацепления и бесшумность работы; возможность получения самоторможения. Недостатки: сравнительно низкий КПД; повышенный износ и нагрев; склонность к заеданию; необходимость применения для венцов червячных колёс дорогих антифрикционных материалов (бронз).

Червячные передачи, во избежание их перегрева, предпочтительно использовать в приводах периодического (а не непрерывного) действия. Несмотря на это, эти передачи получили большое распространение в машиностроении и приборостроении.

Червячная (или зубчато-винтовая) передача (рис. 9.1) представляет собой кинематическую пару, состоящую из чер-

вяка червячного колеса. Червяк - это винт с резьбой, нарезанной на цилиндре: архимедов, конволютный, эвольвентный и другие червяки (рис. 9.1, а) или на глобоиде (рис. 9.1, б):

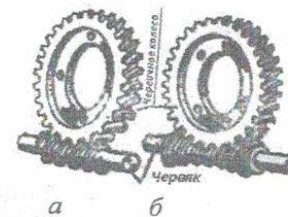


Рис. 9.1

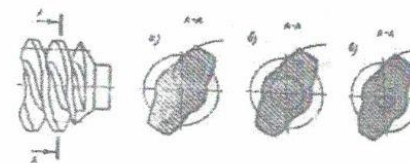


Рис. 9.2

По форме профиля цилиндрического червяка (рис. 9.2) передачи бывают с архимедовыми ZA, эвольвентными ZJ и конволютными ZN червяками, у которых торцовый профиль витка является соответственно: архимедовой спиралью (а), эвольвентой окружности (б) и удлинённой эвольвентой (в). Независимо от профиля витка червяка цилиндрические червячные передачи при равной твёрдости и одинаковом качестве изготовления практически обладают одинаковыми нагрузочной способностью и КПД. Выбор профиля нарезки червяка определяется способом его изготовления (в основном возможностью шлифования витков). Наибольшее распространение получили цилиндрические передачи без смещения с архимедовым червяком, что и рассматривается в данной лабораторной работе.

Червяки выполняют с левым и правым направлением витка (последние имеют преимущественное распространение).

9.3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Червяк (рис. 9.3):

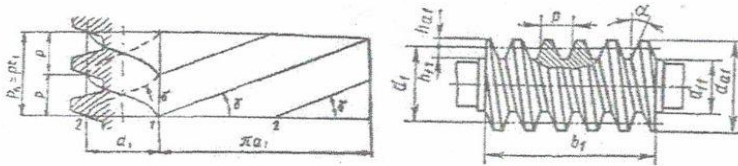


Рис. 9.3

- p – шаг червяка;
- m – модуль (стандартная величина);
- p_h – ход линии витка (для многозаходных червяков);
- z_1 – число витков червяка;
- $\alpha = 20^\circ$ – угол профиля витка червяка в осевом сечении;
- γ – делительный угол подъема линий витка;
- d_1 – делительный диаметр червяка;
- q – коэффициент диаметра червяка (стандартная величина);
- d_{a1} – диаметр вершин витков червяка;
- d_{f1} – диаметр впадин витков червяка;
- b_1 – длина нарезанной части червяка;
- h_1 – высота витка червяка;
- h_{a1} – высота головки витка червяка;
- h_{f1} – высота ножки витка червяка;

Червячное колесо (рис. 9.4):

- d_2 – делительный диаметр колеса;
- z_2 – число зубьев червячного колеса;
- h – высота зуба колеса;
- m – модуль;
- h_{a2} – высота головки зуба червячного колеса;
- h_{f2} – высота ножки зуба червячного колеса;
- d_{a2} – диаметр вершин зубьев;
- d_{f2} – диаметр впадин зубьев;
- d_{aM2} – наибольший диаметр колеса;
- b_2 – ширина венца червячного колеса;
- 2δ – угол обхвата червяка колесом.

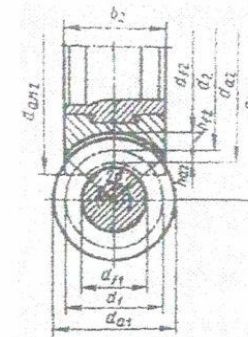


Рис. 9.4

9.4. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Для выполнения работы необходимо иметь червяк, червячное колесо, штангенциркуль, штангензубомер, циркуль, универсальный угломер, масштабную линейку.

9.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Выполнить эскиз рассматриваемого червяка, червячного колеса. На эскизе указать параметры измеряемых и рассчитываемых параметров.

Представить все расчёты геометрических параметров определяемых по формулам. Результаты замеров и расчётов занести в таблицу, предварительно согласовав стандартные параметры с ГОСТом.

Параметры, размерность	Обозначения	Расчетные формулы	Червяк		Червячное колесо	
			Значения параметров			
			замер	расчёт	замер	расчёт
ЧЕРВЯК						
Число витков червяка	z_1					
Высота витка, мм	h_1	$h_1 = h_{a1} + h_{f1} = 2,2m$				
Модуль, мм	m	$m = h_1/2,2$				
Шаг витка, мм	p	$p = \pi m$				
Ход витка, мм	p_h	$p_h = pz_1$				
Диаметр вершин витков, мм	d_{a1}	$d_{a1} = m(q + 2)$				
Делительный диаметр, мм	d_1	$d_1 = d_{a1} - 2m$				
Коэффициент диаметра червяка, мм	q	$q = d_1/m$				
Диаметр впадин витков, мм	d_{f1}	$d_{f1} = m(q - 2,4)$				

Продолжение табл.

Параметры, размерность	Обозначения	Расчетные формулы	Червяк		Червячное колесо	
			Значения параметров			
			замер	расчёт	замер	расчёт
Длина нарезанной части червяка, мм	b_1					
Высота головки витка червяка, мм	h_{a1}	$h_{a1} = m$				
Высота ножки витка червяка, мм	h_{f1}	$h_{f1} = 1,2m$				
Угол подъёма линий витка, град	γ	$\gamma = \arctg z_1/q$				
Угол профиля витка червяка в осевом сечении, град	α	$\alpha = 20^\circ$				
ЧЕРВЯЧНОЕ КОЛЕСО						
Число зубьев червячного колеса	z_2					
Высота зуба, мм	h_2					
Модуль, мм	m	$m = h_2/2,2$				
Делительный диаметр, мм	d_2	$d_2 = mz_2$				
Диаметр вершины, мм	d_{a2}	$d_{a2} = m(z_2 + 2)$				
Диаметр впадин, мм	d_{f2}	$d_{f2} = m(z_2 - 2,4)$				

Окончание табл.

Параметры, размерность	Обозначения	Расчетные формулы	Червяк		Червячное колесо	
			Значения параметров			
			замер	расчёт	замер	расчёт
Наибольший диаметр колеса, мм	d_{a2}					
Высота головки зуба, мм	h_{a2}	$h_{a2} = m$				
Высота ножки зуба, мм	h_{f2}	$h_{f2} = 1,2m$				
Ширина венца червячного колеса, мм	b_2					
Угол обхвата червяка червячным колесом, град	2δ	$2\delta = 2\arcsin(b_2 / d_{a1} - 0,5m)$				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких случаях применяются червячные передачи?
2. Назовите основные достоинства червячных передач.
3. Перечислите основные недостатки червячных передач.
4. В каком сечении червячного колеса определяют размеры зуба, диаметры вершин и впадин?
5. Какие параметры в червячной передаче являются стандартными?
6. Какие материалы применяют для изготовления червяков и червячных колёс?
7. Назовите основные геометрические параметры червяка и червячного колеса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лабораторные занятия призваны углубить и закрепить теоретические основы курса технической механики.

Методические указания позволяют студенту изучить конструкцию и принцип действия лабораторного оборудования; в процессе выполнения лабораторных работ студенты знакомятся с конструктивными разновидностями механических передач, закрепляют навыки пользования измерительными инструментами и приборами, вычерчивают эскизы зубчатых колес, развивают умение пользоваться ГОСТами, нормами и другим справочным материалом.

Лабораторные работы позволяют студентам получить практические навыки, необходимые для проектирования, изготовления и эксплуатации деталей машин и механизмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Олофинская, В. П. Детали машин [Текст] / В. П. Олофинская. – М.: Форум-Инфра-М, 2015. – 263 с.
2. Эрдеди А.А. Детали машин: учебник [Текст] / А. А. Эрдеди, Н. А. Эрдеди – М.: Академия, 2009. – 288 с. – Серия: Среднее профессиональное образование.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Инструкция по технике безопасности при работе в лаборатории механических испытаний.....	4
Лабораторная работа № 6. Построение эвольвентных профилей зубьев методом обкатки.....	5
Лабораторная работа № 7. Определение геометрических параметров прямозубых и косозубых цилиндрических колёс с внешним зацеплением	12
Лабораторная работа № 8. Определение геометрических параметров конического колеса с прямыми зубьями	18
Лабораторная работа № 9. Определение геометрических параметров червяка и червячного колеса	25
Заключение	32
Библиографический список.....	33

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 6 – 9
для студентов специальностей 15.02.10
«Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)»,
15.02.08 «Технология машиностроения»

Составители:
Елизаров Виктор Максимович
Извеков Игорь Иванович

Редактор Е. А. Кусаинова

Подписано к изданию 14.10.2019.
Уч.-изд. л. 1,8.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14