

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра технологии строительного производства

В.С. УХАНОВ

# **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, РЕГУ- ЛИРОВКА И ОЦЕНКА НАГРУЗОЧ- НОЙ СПОСОБНОСТИ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
государственного образовательного учреждения высшего профессионального  
образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2006

УДК 621.865.8  
ББК 34.44  
У 89

Рецензент

кандидат технических наук, доцент С.Ю. Решетов

**Уханов В.С.**

У 89

**Изучение конструкции, регулировка и оценка нагрузочной способности червячного редуктора [Текст]: методические указания к лабораторной работе для студентов инженерно-технических специальностей/В.С. Уханов – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. – 27 с.**

Методические указания содержат основные понятия и определения, классификацию, описание конструкции редукторов, порядок их разборки и сборки, определение параметров червячного зацепления измерением и расчетами и оценку нагрузочной способности редуктора.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплинам: “Детали машин и механизмов”, ”Прикладная механика”, “Механизация и автоматизация”, “Строительные машины“, “Дорожные машины” для студентов 2, 3, 4 курсов инженерно-технических специальностей ГСХ (270105), АД (270205), ПГС (270102) и ЭУН (270115) всех форм обучения.

ББК 34.44

© Уханов В.С.  
©ГОУ ОГУ, 2006

## Содержание

Введение.....	4
1 Правила техники безопасности.....	5
2 Цель работы.....	5
3 Внеаудиторная подготовка к выполнению работы.....	5
4 Описание конструкции червячных колес и червяков.....	6
5 Порядок выполнения работы.....	13
5.1 Разборка редуктора.....	13
5.2 Ознакомление с конструкцией редуктора.....	13
5.3 Определение параметров зацепления.....	13
5.4 Сборка редуктора.....	16
5.5 Проверка правильности зацепления (на пятно контакта).....	17
5.6 Оценка нагрузочной способности редуктора.....	17
5.7 Определение коэффициента полезного действия червячного зацепле- ния.....	20
6 Вопросы для самопроверки и контроля.....	22
Список использованных источников.....	23
Приложение А Содержание бланка отчета .....	24
Приложение Б Основные параметры редуктора.....	25
Приложение В Система обозначений .....	27

## Введение

Методические указания предназначены для изучения конструкции одноступенчатых червячных редукторов. Краткое описание основных кинематических и геометрических зависимостей червячных передач, порядок разборки и сборки, определение параметров червячного зацепления и оценку нагрузочной способности редуктора необходимо использовать при выполнении лабораторной работы по курсам: "Детали машин и механизмов", "Прикладная механика", "Строительные машины", "Дорожные машины" для студентов технических специальностей.

Выполнение лабораторной работы способствует закреплению теоретических знаний и позволяет наглядно изучить детали и узлы, применяемые в силовых приводах и трансмиссиях дорожных и строительных машин.

В методических указаниях принята единая система физических единиц (СИ) с отклонениями, допущенными в международных и межгосударственных стандартах на расчеты деталей машин. Для отдельных групп формул даны соответствующие примечания.

После выполнения лабораторной работы рекомендуется пройти тест контроля знаний. В процессе ответов на контрольные вопросы не только дополнительно систематизируется материал, закрепляются знания, проверяется уровень подготовки студента, но и получают систематизированные результаты мониторинга учебного процесса.

## **1 Правила техники безопасности**

Работу выполнять после ознакомления с методикой ее проведения и следующими правилами техники безопасности:

1. прежде чем начать какое-либо действие, убедитесь, что оно не принесет вреда окружающим;
2. нельзя работать неисправным ключом;
3. запрещается применять ключ несоответствующего размера (с использованием пластин, шайб и т.п.);
4. снятые детали и узлы редуктора следует класть на стол или подставку таким образом, чтобы они не могли упасть от случайного толчка;
5. будьте внимательны при установке валов, колес и крышки редуктора.

## **2 Цель лабораторной работы**

1. Ознакомиться с классификацией и конструкцией червячного редуктора, червячных колес и червяков.
2. Выяснить и усвоить назначение всех деталей и узлов червячного редуктора.
3. Определить основные геометрические параметры червячного зацепления, кинематические и силовые характеристики редуктора.
4. Выяснить назначение регулировок узлов редуктора при сборке и произвести регулировку подшипников и зацепления.
5. Оценить нагрузочную способность и КПД червячного редуктора.

Работа выполняется в течение 2-х часов. Для выполнения работы необходимы: редуктор червячный одноступенчатый, журнал лабораторных работ, ключи гаечные рожковые (набор), отвертка, штангенциркуль с диапазоном измерения 0–250 мм, транспортир, линейка, копировальная бумага, карандаш, мел, калькулятор.

## **3 Внеаудиторная подготовка к выполнению работы**

В процессе подготовки студент должен изучить разделы курса “Детали машин и механизмов”, “Строительные машины”, касающиеся выполнения данной работы, по учебникам, рекомендованным в разделе “Список использованных источников”, а также по конспектам лекций.

Пользуясь настоящими методическими указаниями, студент должен:

1. уяснить цель работы, ее содержание и порядок выполнения;
2. выписать в тетрадь расчетные формулы 1 – 13;
3. подготовить бланк отчета по форме в соответствии с приложением А, где необходимо:
  - а) указать и записать цель работы;
  - б) вычертить кинематическую схему изучаемого редуктора;

в) выполнить эскизы червяка и венца червячного колеса (рисунок 3), а также схему регулировки подшипников и зацепления (рисунок 9);

г) составить и заполнить таблицу характеристики зацепления в соответствии с данными, полученными измерениями и расчетом в соответствии с приложением Б;

4. подготовить ответы на контрольные вопросы.

#### 4 Описание конструкции редуктора червячных колес и червяков

Червячный редуктор - это механизм, служащий для понижения угловой скорости и увеличения вращающего момента и состоящий из одной или нескольких червячных передач, смонтированных в едином закрытом корпусе (картере). В диапазоне передаточных чисел  $i=8-63$  основное применение находят одноступенчатые редукторы. По числу передач, заключенных в корпусе редуктора, определяется количество ступеней.

Структурные схемы одноступенчатых червячных редукторов представлены на рисунке 1.

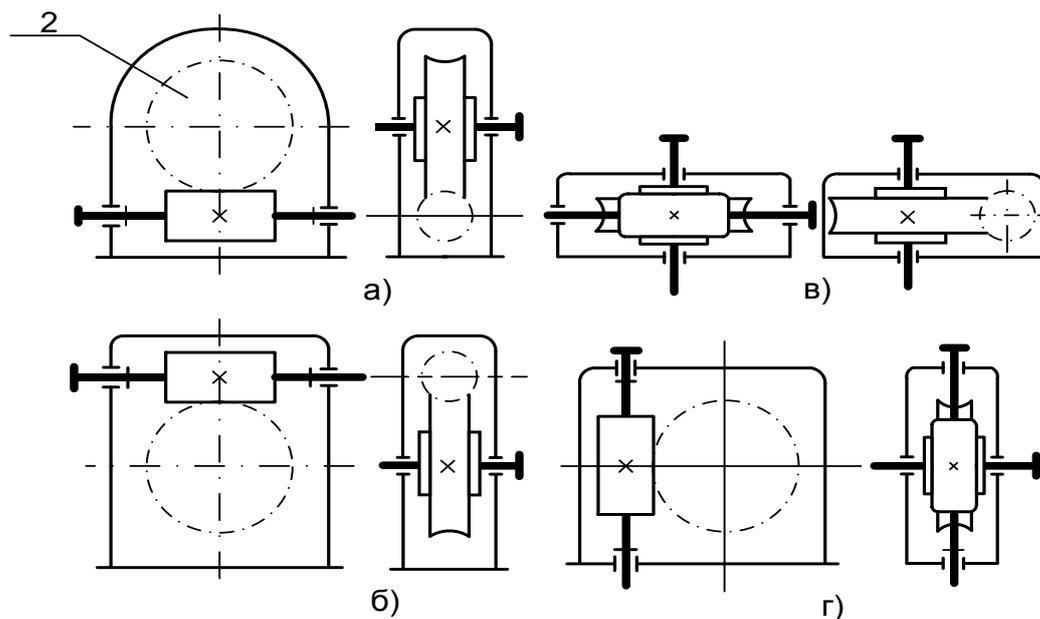
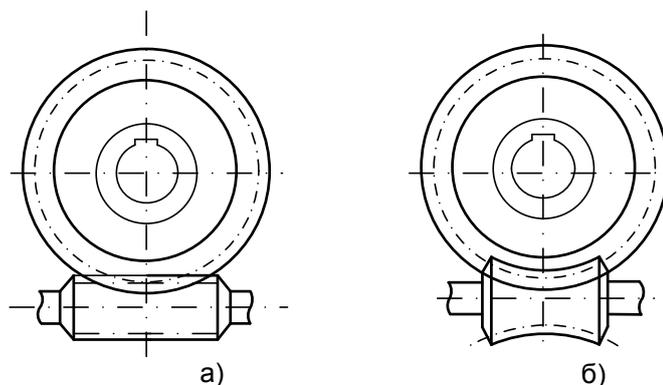


Рисунок 1. Основные схемы одноступенчатых червячных редукторов.

Червячная передача состоит из червяка 1, короткого винта с трапецидальной или близкой к ней резьбой и червячного колеса 2 с косыми зубьями дугообразной формы, охватывающими часть червяка. Она применяется для передачи вращательного движения между валами с перекрещивающимися осями.

В машиностроении используются редукторы с различным расположением валов: с нижним - при окружной скорости червяка  $V_1$  до 4 – 5 м/с в соответствии с рисунком 1а, с верхним – при  $V_1 > 5$  м/с в соответствии с рисунком 1б и с боковым расположением червяка (рисунок 1в и г).

В зависимости от формы внешней поверхности червяка передачи бывают с цилиндрическими (рисунок 2а), глобоидными (рисунок 2б) и другими типами червяков. Каждые из этих червяков требуют различных способов нарезания витков /1,2/.



- а) - с цилиндрическим червяком;
- б) - с глобоидным червяком

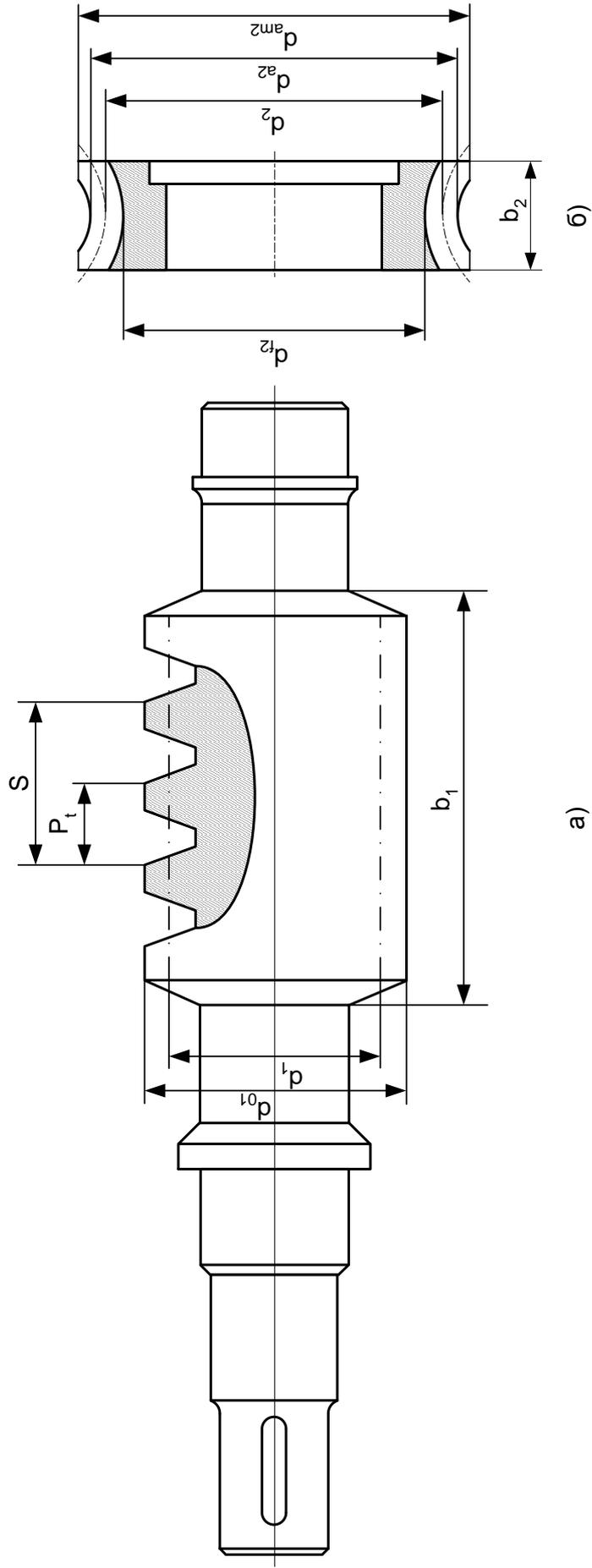
Рисунок 2 - Схемы червячных передач

В червячном зацеплении преобладает зона, неблагоприятная для создания условий гидродинамической смазки (в этой зоне скольжение витков червяка по зубьям колеса происходит вдоль контактных линий). Кроме того, начальный контакт искажается в связи с деформациями тела червяка. Поэтому выполнение обоих тел червячной пары из твердых материалов не дает положительных результатов в отношении обеспечения несущей способности передачи и одно (обычно колесо) необходимо выполнять из антифрикционного относительно мягкого материала.

Червяки в большинстве случаев выполняют как одно целое с валом в соответствии с рисунком 3а из сталей: среднеуглеродистых марок 40,45,50, легированных 40Х, 40ХН с поверхностной или объемной закалкой до твердости  $HRC_{\Sigma}$  45 – 55. Наилучшую стойкость передачи обеспечивают червяки из цементуемых сталей (20Х, 18ХГТ и др.), имеющие твердость после закалки  $HRC_{\Sigma}$  58 – 63. После термообработки рабочие поверхности витков червяков шлифуют и полируют.

Зубчатые венцы 1 червячного колеса в соответствии с рисунком 3б и 4 в целях экономии дорогостоящей бронзы изготавливают отдельно от чугунного или стального центра 2. Выбор марки материала венца зависит от скорости скольжения  $V_s$  витков червяка по зубьям колеса и длительности работы.

При  $V_s = 6 - 25$  м/с и длительной работе рекомендуются оловянистые бронзы марок Бр ОФ 10-1, Бр ОНФ 10-1-1.



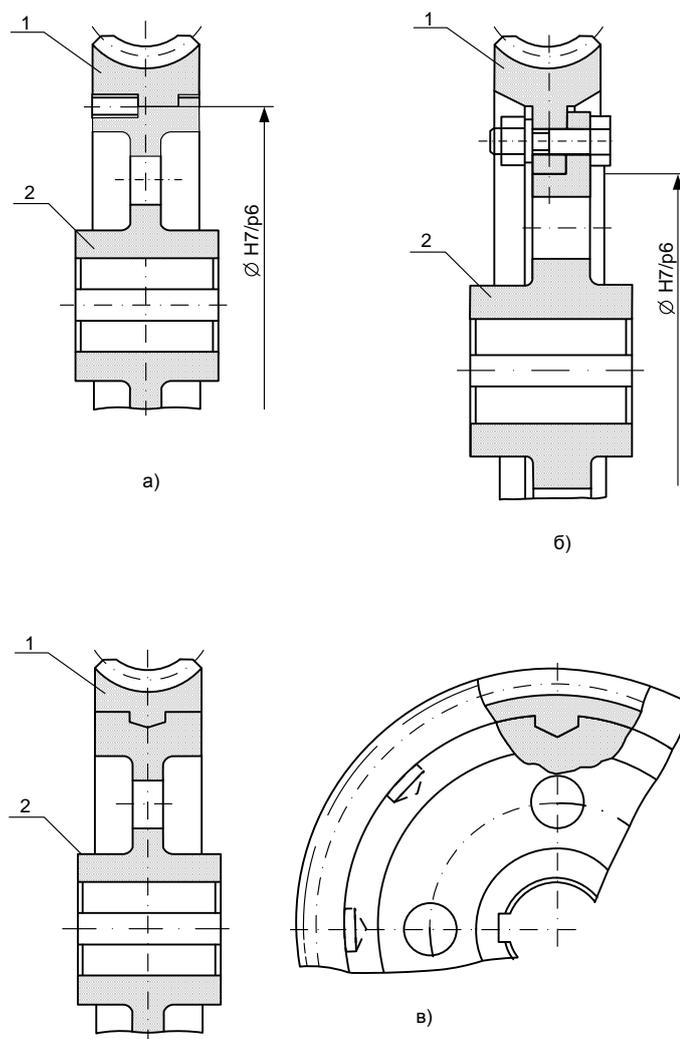


Рисунок 4 - Типовые конструкции червячных колес.

При  $V_s = 3-6$  м/с применяют алюминиево-железистые бронзы, например, Бр А9Ж4, при  $V_s \leq 2$  м/с червячные колеса можно изготовить цельными из серых чугунов марок СЧ 15, СЧ 18 и др.

В машиностроении находят применение цельные (из чугуна и бронзы) и составные конструкции червячных колес. Последние имеют стальной центр и бронзовый венец, соединенные между собой:

а) посадкой с натягом с использованием стопорных винтов в соответствии с рисунком 4а;

б) болтами, устанавливаемыми с зазором и без зазора в соответствии с рисунком 4б;

в) отливкой бронзового венца в литейную форму, в которую заранее устанавливают стальной или чугунный центр колеса, так называемая биметаллическая конструкция в соответствии с рисунком 4в. Она наиболее рациональна и экономична в серийном производстве.

Конструктивное оформление червячных редукторов с нижним и верхним расположением червяка в соответствии с рисунками 5 и 6.



Рисунок 5 – Редуктор универсальный

Рисунок 6 – Редуктор с вентилятором

Конструкция корпуса редуктора кроме необходимой прочности, жесткости и герметичности должна обеспечивать технологичность, простоту сборки и монтажа установленных в нем передач, валов, подшипников, удобство его обслуживания и ремонта.

Корпус редуктора с нижним расположением червяка в соответствии с рисунком 7 с целью облегчения сборки изготовлен в виде разъемной коробки. Он состоит из нижней части 1, называемой собственно корпусом (основанием), и верхней 2 - крышки. Разъем выполнен горизонтальным. Корпус и крышка соединяются болтами, или шпильками с гайками, или винтами 3. Взаимное положение крышки и корпуса фиксируется коническими (реже цилиндрическими) штифтами 4.

Корпус 1 редуктора (рисунок 8), выполнен цельным с крышками-стаканами 11 и 11'. При этом отверстия в корпусе позволяют свободную установку в него вала 2 с насаженными на него деталями (червячным колесом 3 и подшипниками 4). В дальнейшем дается описание данного редуктора.

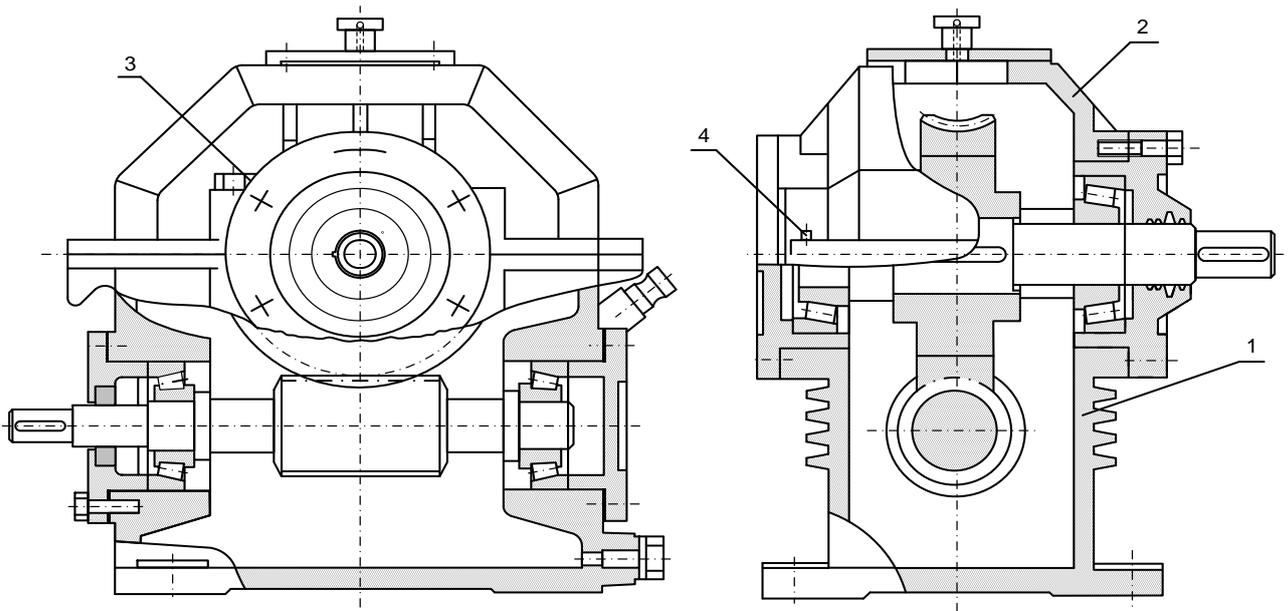


Рисунок 7 - Редуктор с нижним расположением червяка.

В верхней части корпуса имеется окно (люк), через которое заливается масло и производится наблюдение за состоянием витков червяка (или зубьев червячного колеса при нижнем расположении червяка). Люк закрывается крышкой 6, имеющей отдушину 7, предназначенную для выравнивания давления внутри корпуса по отношению к наружному. При отсутствии отдушины нагретый воздух при эксплуатации редуктора выдавливался бы вместе с маслом через уплотнения валов и на корпусе образовались бы масляные подтеки.

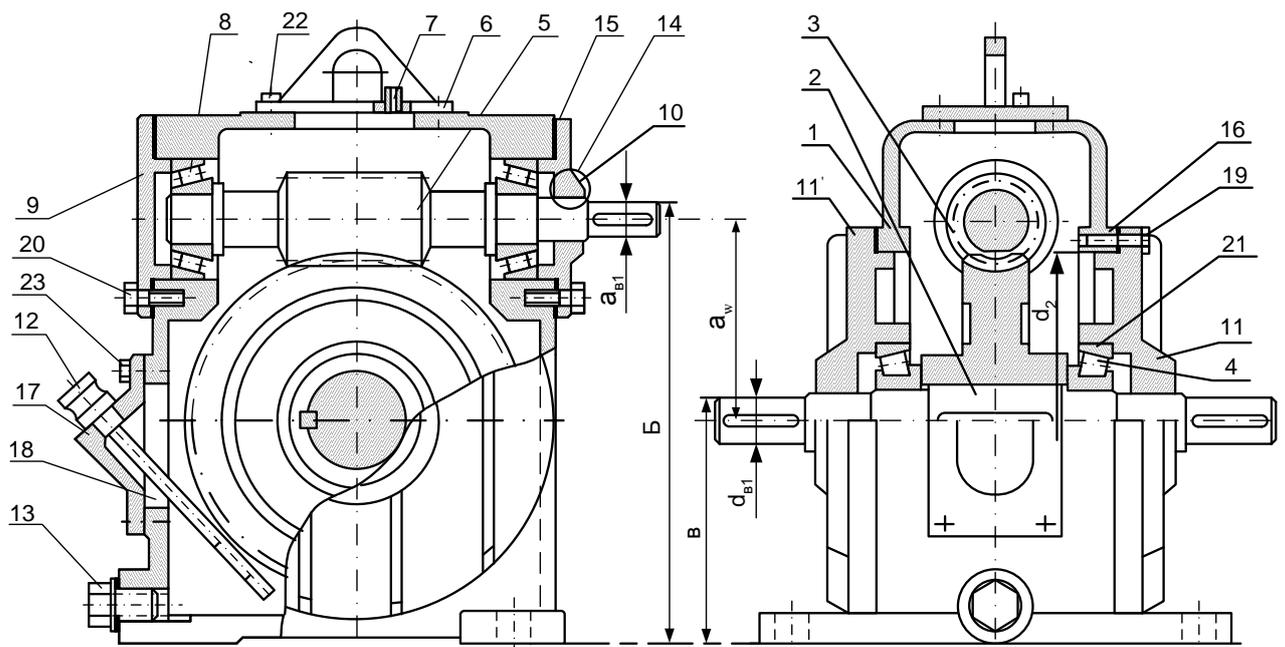


Рисунок 8 - Редуктор с верхним расположением червяка.

Опорами валов 2 и 5 редуктора являются подшипники качения 4 и 8 (в изучаемом редукторе - роликовые радиально-упорные конические). Назначение опор - удерживать вращающиеся детали (червяк и червячное колесо) в нужном для правильной работы взаимном положении.

При работе в червячном зацеплении возникает сила нормального давления, которая для удобства расчета задается тремя взаимно перпендикулярными составляющими (рисунок 9): окружной  $F_t$ , радиальной  $F_r$  и осевой  $F_a$  силами. Силы с вращающихся деталей передаются неподвижному корпусу через подшипники качения.

Червяки с небольшим расстоянием между опорами  $l \leq 200$  мм (как и в рассматриваемом случае) в передачах, ненапряженных в тепловом отношении, допускается устанавливать на радиально-упорных подшипниках по одному в опоре (установка “враспор”) в соответствии с рисунком 7, 8. Для уменьшения потери мощности в опорах лучше использовать шарикоподшипники у червяков, имеющих большое расстояние между опорами (обычно при межосевых расстояниях 160 – 200 мм, и работающих в напряженном тепловом режиме, ставят в одной опоре “плавающий” подшипник (опора “плавающая”), а в другой - один сдвоенный или два радиально-упорных, воспринимающих осевые силы обоих направлений (фиксирующая опора) (рисунок 10).

Для вала червячного колеса, ввиду его небольшой длины, используют по одному радиально-упорному роликоподшипнику в опоре с установкой “враспор”. Снаружи подшипники закрыты крышками: глухой 9 и сквозными 10, 11, и 11' - с отверстиями для прохода валов.

Корпус одновременно служит резервуаром для масла. Для контроля уровня масла предусмотрен жезловый маслоуказатель (щуп) 12, а для его слива - отверстие, закрываемое пробкой 13 с цилиндрической или конической резьбой. В редукторе применяется картерный способ смазки: смазка зацепления осуществляется окунанием червячного колеса в масляную ванну. Смазка подшипников - за счет разбрызгивания масла (в некоторых случаях для подшипников верхнего вала червяка используется консистентная смазка).

Для предотвращения вытекания масла через зазоры между выходными концами валов и сквозными крышками, а также попадания механических абразивных частиц, пыли и влаги в подшипники и зацепление применяют уплотнения. В данном случае комбинированные (щелевые и контактные) уплотнения 14. В редукторах могут применять также контактные, манжетные, лабиринтные и другие типы уплотнений. Между фланцем крышек и корпусом устанавливаются наборы металлических прокладок 15, 16, которые служат для регулировки подшипников и зацепления. Крышка 17 закрывает смотровое окно 18, предназначенное для наблюдения пятна контакта витков червяка и зубьев колеса при регулировке зацепления, а также - за состоянием зубьев колеса в процессе эксплуатации.

## **5 Порядок выполнения работы**

### **5.1 Разборка редуктора**

Перед разборкой редуктора необходимо измерить штангенциркулем с ножкой размеры  $B$  и  $B'$ , а также обычным штангенциркулем диаметры валов  $d_{B1}$  и  $d_{B2}$  в соответствии с рисунком 8.

Разборка редуктора производится в следующей последовательности:

5.1.1 Отвернуть винты 19 боковых крышек 11 и 11', снять крышки и вынуть червячное колесо 3 с валом 2 и подшипниками 4.

5.1.2 Отвернуть винты крышек 9 и 10, снять крышки и вынуть червяк 5 с подшипниками 8.

5.1.3 Отвернуть винты 22 и 23 и снять крышки 6 и 17, вынуть маслоуказатель 12.

5.1.4 Отвернуть пробку 13.

### **5.2 Ознакомление с конструкцией редуктора**

При разборке редуктора необходимо ознакомиться с конструкцией червяка и червячного колеса, выяснить назначение деталей (в соответствии с приведенным выше описанием).

Одновременно с этим выполнить следующее:

1 составить кинематическую схему редуктора, на ней проставить межосевое расстояние, указать ведущий и ведомый валы.

2 сделать эскизы с указанием размеров:

- червяка (нарезной его части);  $\frac{1}{2}$  листа А4;
- венца червячного колеса;
- уплотнений и подшипниковых узлов червяка с указанием условного обозначения и размеров подшипника, ориентируясь на его маркировку, нанесенную на торце колец и результаты замеров;
- отдельных элементов корпуса (по указанию преподавателя).

### **5.3 Определение параметров зацепления**

Параметры червячного зацепления можно определить через замеры отдельных элементов червяка и колеса обычным штангенциркулем, измерение каждого элемента нужно производить несколько раз и взять среднеарифметическое.

Определение параметров зацепления можно производить в следующей последовательности:

1. Подсчитать межосевое расстояние

$$a_w = B - B - \frac{d_{B1}}{2} + \frac{d_{B2}}{2}, \quad (1)$$

Размеры  $B$ ,  $B$ ,  $d_{B1}$  и  $d_{B2}$  определены ранее. Полученное значение  $a_w$  сравнить со стандартным (ГОСТ 2144-76). Отметим, что межосевое расстояние может быть и не стандартным. В таблице 1 приведены некоторые из стандартных значений  $a_w$  (мм). Здесь же указаны некоторые стандартные значения осевых модулей  $m$  (мм) и коэффициентов диаметра червяка  $q$  (ГОСТ 19063-73).

2. Измерить осевой шаг  $p_x$  и диаметр вершин  $d_{a1}$  червяка, а также средний диаметр вершин колеса  $d_{a2}$  в соответствии с рисунком 3.

Таблица 1 – Значение параметров

Параметры	Значение параметров										
$m$	2	2.5	3	4	5	6.3 (6)	8	10	12	16	1-й ряд
	1.75	2.25	2.75	3.5	4.5	5.5	7	9	14	2-й ряд	
$q$	8	10	12.5	16	20	25					1-й ряд
	7.1	9	11.2	14	18	22.4					2-й ряд
$a_w$	40	50	63	80	100	125	160	200	250	325	1-й ряд
	45	56	71	90	112	140	180	224	280	2-й ряд	

3. Определить осевой модуль  $m_x$  и коэффициент диаметра червяка  $q$  и округлить их до ближайших стандартных значений (таблица 1):

$$m_x = \frac{p_x}{\pi}, \quad (2)$$

$$q = \frac{d_1}{m}, \quad (3)$$

где  $d_1$  – делительный диаметр червяка,

$$d_1 = d_{a1} - 2 \cdot h_a^* \cdot m, \quad (4)$$

где  $h_a^*$  – коэффициент высоты головки ( $h_a^* = 1$ , реже 0,8).

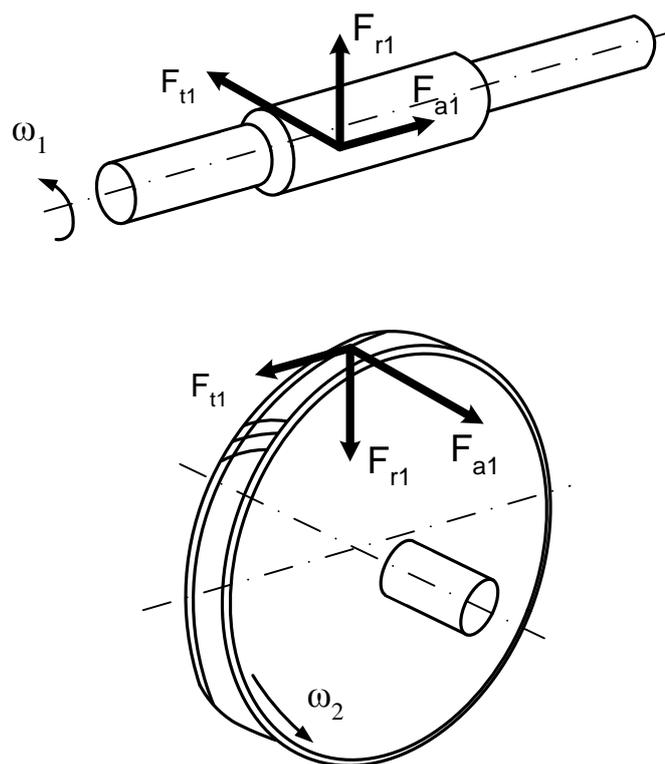


Рисунок 9-Силы, действующие в червячном зацеплении.

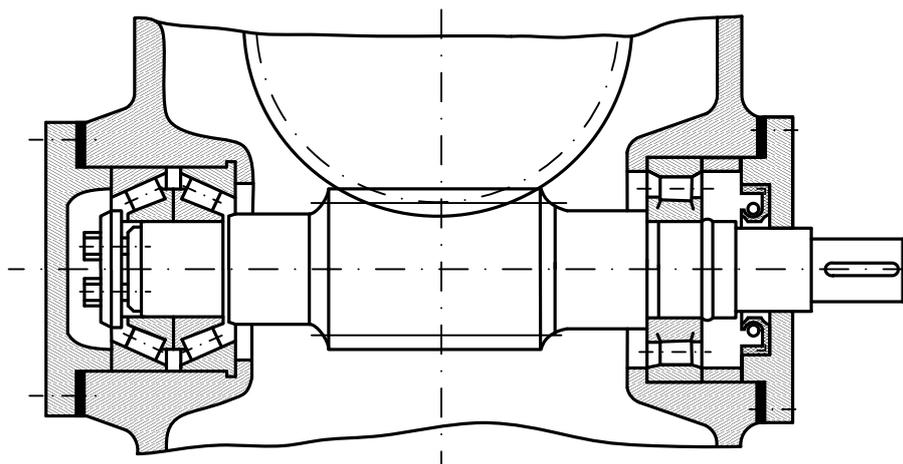


Рисунок 10-Конструкция подшипниковых узлов червяка

4. Подсчитать число витков червяка  $Z_1$  и число зубьев колеса  $Z_2$ . Определить передаточное число

$$u = \frac{Z_2}{Z_1}, \quad (5)$$

5. Определить коэффициент смещения инструмента

$$x = \frac{a_w}{m} - 0,5 \cdot (1 + Z_2), \quad (6)$$

6. Замерить все прочие размеры. Результаты замеров и расчетов внести в таблицу Б.1.

7. Определить условный угол обхвата  $2\delta$ , град.

$$\delta = \arcsin \frac{b_2}{d_{a1} - 0,5 \cdot m}, \quad (7)$$

#### 5.4 Сборка редуктора

В настоящей работе производится лишь узловая сборка, поскольку детали с валов не спрессовывались.

Сборку редуктора осуществлять без смазки деталей (в отличие от производственных условий). Зубья колеса протирать для удаления следов краски от предыдущей сборки. Сборку производить одновременно с регулировкой осевого зазора (люфта) подшипников и проверкой правильности зацепления в следующей последовательности:

1. Вставить боковую крышку 11 в соответствии с рисунками 8 и 11 и предварительно завернуть два винта 19 по диагонали.

2. Установить червячное колесо с валом и вторую крышку 11. Прижимая крышку рукой и закрепив ее двумя винтами по диагонали, определить зазор  $\Delta$  между фланцем крышки и корпусом 1 редуктора.

3. Из набора подобрать кольцевые регулировочные прокладки 24 так, чтобы в сумме они составляли толщину

$$\Delta_{пр} = \Delta + 0,1$$

4. Разделить прокладки на две приблизительно равные части  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ , поставить их под боковые крышки 11 и 11'. Затянуть все болты. При этом вал колеса не должен иметь осевого зазора в подшипниках и в то же время должен свободно проворачиваться рукой. В противном случае следует уменьшить (при

наличии зазора) или увеличить  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  на одну прокладку. Отметим, что для используемых в редукторе роликотподшипников осевой зазор должен быть 0,04 – 0,11 мм.

5. Установить вал-червяк. Установка вала-червяка осуществляется в той же последовательности, как и вала колеса.

6. На боковую поверхность витков червяка нанести тонкий слой краски.

7. Поставить на место остальные детали за исключением крышки 17 (рисунок 8).

### 5.5 Проверка правильности зацепления (на пятно контакта)

При правильном монтаже передачи зацеплении средняя плоскость червячного колеса проходит через центр червяка (рисунок 11а). При этом пятно контакта, получаемое при поворачивании червяка и наблюдаемое через смотровое окно 18, должно располагаться на рабочих поверхностях зубьев колеса симметрично относительно указанной плоскости.

Если пятно смещено вправо в соответствии с рисунком 11б или влево в соответствии с рисунком 11в, то необходимо вынуть одну прокладку толщиной  $\Delta$  из-под левой (правой) крышки 11' (11) и поставить под крышку на другой стороне редуктора. Колесо с валом и подшипники переместятся относительно корпуса в сторону постановки прокладки. После этого вновь проверить правильность расположения пятна контакта.

Существуют другие способы регулировки пятна контакта: перемещения червячного колеса на валу с помощью гаек или отдельно венца червячного колеса по ободу.

### 5.6 Оценка нагрузочной способности редуктора

В червячной паре менее прочным элементом являются зубья колеса, у которых возможны следующие виды разрушений и повреждений: усталостное выкрашивание, износ, заедание и поломка. Причем усталостное выкрашивание, износ и заедание зависят от величины контактных напряжений. Поэтому основное значение имеет расчет по контактным напряжениям с целью предотвращения в проектируемых передачах выкрашивания и заедания, а также снижения износа.

Номинальный крутящий момент на валу колеса из условия ограничения контактных напряжений

$$T_2 = \frac{1}{k} \cdot \left[ \frac{F_H \cdot \frac{z_2}{q}}{170} \right]^2 \cdot \left[ \frac{a_w}{\frac{z_2}{q} + 1} \right]^3, \quad (8)$$

где  $k \approx 1,2$  – коэффициент расчетной нагрузки /2,3/;

$Z_2$  – число зубьев червячного колеса;

$q$  – коэффициент диаметра червяка (таблица 1);

$a_w$  – межосевое расстояние, мм;

$[\sigma_H]$  – допускаемые контактные напряжения, МПа.

Приближенные величины допускаемых контактных напряжений указаны в таблице 2.

Таблица 2

Материал колеса	Механические характеристики		$[\sigma_H]$ , МПа					
			При скорости скольжения $V_s$ , м/с					
	$\sigma_T$	$\sigma_B$	0,5	1	2	3	4	6
Бр А9Ж4	200	392	245	225	205	177	157	118
СЧ 12 или СЧ 15	–	147	117	88	66	–	–	–

При известном значении  $\omega_1$  скорость скольжения определяется

$$V_s = 5 \cdot 10^{-4} \cdot \omega_1 \cdot m \cdot q, \quad (9)$$

Мощность на тихоходном валу

$$P_2 = \frac{T_2 \cdot \omega_2}{10^6}, \quad (10)$$

где  $\omega_2$  – угловая скорость этого же вала, рад/с.

Так как 
$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u},$$

то окончательно 
$$P_2 = \frac{T_2 \cdot \omega_1}{u \cdot 10^6} \quad (11)$$

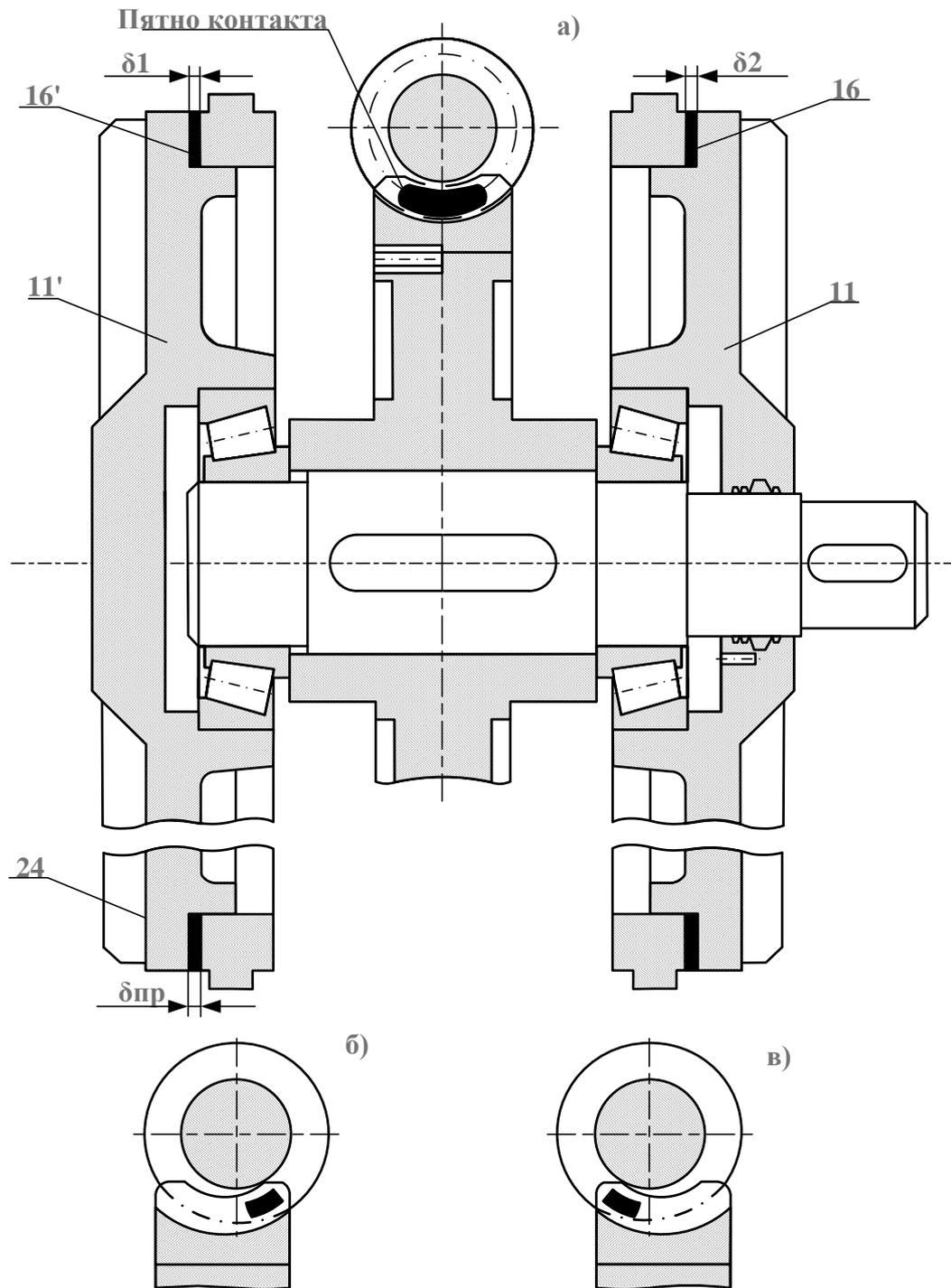


Рисунок 11 - Схема регулировки правильности зацепления (пятна контакта).

Результаты расчетов по формулам (8) и (11) внести в таблицу Б.1 (приложение Б), причем величины  $P_2$  и  $T_2$  следует определить для материала Бр А9Ж4 или СЧ15, в зависимости от скорости скольжения  $V_s$ . Как видно из формулы (2), угловая скорость  $\omega_1$  влияет на  $P_2$  непосредственно, а также через  $T_2$ . Для оценки этого влияния в таблице Б.1 определена мощность  $P_2$  при двух значениях  $\omega_1$ .

### 5.7 Определение коэффициента полезного действия червячного зацепления

Условие трения в червячном зацеплении очень близко к условиям трения в винтовой паре. Поэтому величина КПД червячного зацепления определяется по зависимости, выведенной для винтовой пары:

$$\eta_{\text{зац}} = \frac{\text{tg} \gamma}{\text{tg}(\gamma + \rho')}, \quad (12)$$

где  $\gamma$  - угол подъема витков червяка, град

$\rho'$  - приведенный угол трения, град.

Приведенный угол трения  $\rho'$  зависит не только от материала червяка и зубчатого венца колеса, шероховатости обработки рабочих поверхностей, способа и качества смазки, но и от скорости скольжения  $V_s$  (таблица 3).

Таблица 3 Зависимость угла трения от скорости скольжения

$V_s$ , м/с	0,5	1,0	1,5	2	2,5	3	4	6	8
$\rho'$	4°20'	3°50'	3°20'	3°	2°40'	2°20'	2°	1°40'	1°20'

Из анализа данных в таблице 3 видно, что угол трения значительно падает с увеличением  $V_s$ . Это связано с улучшением условий смазки (условий образования масляных клиньев в зацеплении).

Заметим, что в таблице 3 приведены средние значения угла трения при работе стального червяка с колесом из бронзы А9Ж4.

Результаты расчетов по формуле (12) внести в таблицу Б.1.

Без учета потерь энергии в подшипниках, а также на разбрызгивание и перемешивание масла мощности на валах колеса  $P_2$  и червяка  $P_1$  связаны между собой следующей зависимостью:

$$\frac{P_2}{P_1} \approx \eta_{\text{зац}} \quad (13)$$

По результатам выполненной работы сделать выводы по влиянию материала, геометрических параметров зацепления и угловой скорости червяка на передаваемый момент, мощность и КПД передачи.

## 6 Вопросы для самопроверки и контроля

1. Дайте определение редуктора. Укажите области применения червячных передач.
2. Какие основные детали образуют червячную передачу? Какие различают червяки по форме внешней поверхности?
3. По каким признакам классифицируют червячные передачи?
4. Перечислите основные конструкции червяков и червячных колес.
5. Какая существует зависимость между передаточным числом и числами зубьев червяка и червячного колеса?
6. Назовите достоинства и недостатки червячных передач по сравнению с зубчатыми.
7. Назначение корпуса, валов, подшипников, крышек, шпонок, штифтов или любой другой детали редуктора?
8. Каковы основные геометрические соотношения червячного зацепления? Назовите основной геометрический параметр зацепления.
9. Какие типы подшипников использованы в редукторе? В чем состоит особенность их установки в корпусе?
10. Для чего применяется смазка зацепления и подшипников? Каким способом происходит их смазка в редукторе?
11. Какое назначение имеют уплотняющие устройства? Объясните принцип их действия. Чем обусловлен выбор того или иного типа уплотнения?
12. Какие силы возникают в червячном зацеплении? Покажите направления их действия на червяк и червячное колесо. Проследите передачу осевых сил на корпус.
13. Какие требования предъявляются к материалу червячной пары? Материалы для изготовления червяка и червячного колеса.
14. Каково назначение регулировки подшипников качения и зацепления и как она выполняется?
15. Напишите соотношение между угловыми скоростями валов, крутящими моментами и мощностью на валах редуктора. На каком валу мощность больше?
16. Перечислите основные причины выхода из строя деталей червячных передач.
17. Какое условие прочности положено в основу проектного расчета закрытых червячных передач?
18. Какие параметры червяка и червячного колеса и как влияют на КПД червячного зацепления?
19. Укажите основные потери механической энергии в червячном редукторе?
20. Назначение отдушины в редукторе.

## Список использованных источников

1. Дунаев П.Ф. Детали машин [Текст]: учеб. пособие: курс. проектирование / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2002. – 536 с.
2. Иванов, М.Н. Детали машин: учебник для втузов [Текст]/ М.Н. Иванов; под ред. В.А. Финогенова.- 6-е изд., перераб. – М.: ВШ., 2000. – 383 с.;
3. Кудрявцев В. Н. Детали машин [Текст]/В. Н. Кудрявцев.–Л.: Машиностроение, 1990. – 464 с.
4. Куклин Н.Г. Детали машин [Текст]/Н. Г. Куклин.- 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1987.– 383 с.
5. Курсовое проектирование деталей машин [Текст]: учеб. пособие для машиностроительных специальностей техникумов /С.А. Чернавский [и др.]– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 461 с.: ил.
6. Решетов Д. Н. Детали машин: учебник для вузов [Текст]/Д. Н. Решетов.–4-е изд., испр. и перераб.-М.: Машиностроение, 1989.– 360 с.: ил
7. Шейнблит А. Е. Курсовое проектирование деталей машин [Текст]/А. Е. Шейнблит: учеб. пособие для техникумов. – М.: Высш. шк., 1991. – 432 с.
8. Чернилевский, О.А. Детали машин [Текст]: учеб. пособие / Д.В. Чернилевский. – 3-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.:
9. Детали машин: Учебник для вузов [Текст]/ под ред. О.А. Ряховского. – 2-е изд., перераб. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 520 с.
10. Ряховский О.А. Детали машин [Текст]: учебник для вузов / О.А. Ряховский. – М.Дрофа, 2002. – 288 с.

**Приложение А**  
*(обязательное)*  
**Содержание бланка отчета**

Лабораторная работа.

Изучение конструкции, регулировка и оценка нагрузочной способности  
червячного редуктора.

1. Цель работы
2. Кинематическая схема редуктора.  
1/4...1/2 листа формата А4.
3. Эскизы:
  - а) червяка и червячного колеса  
1 лист формата А4
  - б) подшипникового узла с уплотнением вала червяка  
1/2 листа формата А4
  - в) отдельных элементов корпуса (по указанию преподавателя)  
1/2 листа формата А4
  - г) схема регулировки подшипников и зацепления  
1/2 листа формата А4
4. Характеристика зацепления (таблица Б.1 "Основные параметры редуктора")  
1 лист формата А4
5. Выводы по работе

Работу выполнил:  
Подпись студента \_\_\_\_\_ дата  
Работу принял \_\_\_\_\_  
Подпись  
преподавателя \_\_\_\_\_ дата

## Приложение Б (обязательное)

Таблица Б.1 – Основные параметры редуктора

№ п/п	Параметры редуктора	Обозначение и единица измерения	Формула	Значение параметра	Примечание
Параметры, полученные измерением:					
1	Межосевое расстояние	$a_w$ , мм			Согл. с ГОСТ
2	Число заходов червяка (число витков)	$z_1$			
3	Число зубьев колеса	$z_2$			
4	Шаг червячного зацепления	$p_x, p_t$ , мм			
5	Диаметр вершин червяка	$d_{a1}$ , мм			
6	Диаметр колеса в среднем сечении	$d_{a2}$ , мм			
7	Наибольший диаметр колеса	$d_{am2}$ , мм			
8	Ширина колеса	$b_2$ , мм			
9	Длина нарезной части червяка	$b_1$ , мм			
10	Осевой модуль зацепления	$m$ , мм			согл. с ГОСТ
Параметры, получаемые расчетом:					
11	Делительный диаметр червяка	$d_1$ , мм	формула (4)		
12	Коэффициент диаметра червяка	$q$	$q=d_1/m$		согл. с ГОСТ
13	Угол подъема витков червяка	$\gamma$ , град	$\gamma=\arctg z_1/q$		

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3	4	5	6
14	Коэффициент смещения инструмента	$x$	формула (6)		
15	Передаточное число	$u$	формула (5)		
16	Крутящий момент на валу колеса	$T_2$ , Нмм	формула (8)		$\omega_1=150$ рад/с
17	Мощность на валу колеса	$P_2$ , кВт	формула (9)		$\omega_1=150$ рад/с
18	К.п.д. в червячном зацеплении	$\eta$	формула (10)		$\omega_1=150$ рад/с

Работу выполнил \_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Работу принял \_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

## Приложение В (обязательное)

### Система обозначений Червячные одноступенчатые редукторы 7Ч-М

7Ч – М – 40 – 28 – Л1 – П24/200  
1    2    3    4    7    8    9

1. Серия редуктора (7)  
Тип редуктора (Ч – червячный; ЦЧ – цилиндро-червячный)
- 2 Модифицированное исполнение (М)
- 3 Межосевое расстояние, мм (28, 40, 50, 60, 70, 85, 110, 130, 150)
- 4 Номинальное передаточное отношение редуктора (7, 10, 15, 20, 28, 40, 49, 56, 70, 80)
- 7 Вариант крепления установочных элементов\* (Л1...Л3; ЛИ1...ЛИЗ; ФП, ФЛ; БЛ) – см. ниже
- 8 Исполнение входного вала (полый П, выступающий В), диаметр вала – см. ниже
- 9 Наружный диаметр входного фланца, мм (при его наличии)

### Червячные одноступенчатые мотор-редукторы 7МЧ-М

7МЧ – М – 40 – 28 – Л1 // 1,5/4 – 200Л – К1  
1    2    3    4    7    8    9    10

- 1 Серия мотор-редуктора (7)  
Тип мотор-редуктора (МЧ – червячный; МЦЧ – цилиндро-червячный)
- 2 Модифицированное исполнение (М)
- 3 Межосевое расстояние, мм (28, 40, 50, 60, 70, 85, 110, 130, 150)
- 4 Номинальное передаточное отношение редуктора
- 7 Вариант крепления установочных элементов\* (Л1...Л3; ЛИ1...ЛИЗ; ФП, ФЛ; БЛ) – см. ниже
- 8 Мощность электродвигателя, кВт / число полюсов
- 9 Наружный диаметр фланца электродвигателя, мм; наличие лап (Л)
- 10 Положение клеммной коробки электродвигателя (К1...К4) – см. ниже

---

\*Л1, Л2, Л3 – Вариант установки пристяжных лап;  
ЛИ1, ЛИ2, ЛИЗ – Вариант установки лап, интегрированных в корпус (по спец-заказу);  
ФП, ФЛ – Вариант установки выходного фланца;  
БЛ – Исполнение без установочных элементов.

## Приложение Г (справочное)

### Червячные одноступенчатые редукторы 7Ч-М

#### Принятые в таблицах обозначения

**400** – Число оборотов выходного вала  $n_2$  [об/мин] – жирным шрифтом с выделением -  $n_2$

0,65 – Максимальная мощность на выходе  $N_1$  [кВт] – обычным шрифтом без выделения -  $N_1$

**13,0** – Максимальный выходной момент  $M_2$  [Н·м] – жирным шрифтом без выделения –  $M_2$

0,86 – Динамический КПД редуктора  $\eta$  – курсивом без выделения –  $\eta$

Таблица Г.1 – Червячные одноступенчатые редукторы

Тип редуктора	$n_1$ , [об/мин]	Передаточное отношение $i$											Легенда
		7:1	10:1	15:1	20:1	28:1	40:1	49:1	56:1	70:1	80:1	100:1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
7Ч-М-28	2800	<b>400</b>	280	187	140	100	70	57	50	40	35	28	$n_2$
		0,65	0,48	0,34	0,25	0,23	0,16	0,131	0,111	0,10	0,08	0,05	$N_1$
		13	14	14	13	15	14	3	2	11	10	7	$M_2$
		0,86	0,83	0,79	0,77	0,69	0,64	0,61	0,54	0,49	0,49	0,46	$\eta$
	1400	200	140	93	70	50	35	29	25	20	18	14	$n_2$
		0,45	0,31	0,26	0,16	0,15	0,10	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	$N_1$
		18	18	18	16	20	17	17	15	12	12	8	$M_2$
		0,84	0,81	0,77	0,74	0,66	0,62	0,57	0,51	0,45	0,45	0,43	$\eta$
	900	128	90	60	45	32	23	19	16	13	11	9,0	$n_2$
		0,36	0,24	0,18	0,13	0,12	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	$N_1$
		22	20	21	19	22	20	19	16	13	11	8	$M_2$
		0,82	0,78	0,72	0,70	0,61	0,56	0,52	0,45	0,43	0,40	0,37	$\eta$
700	100	70	47	35	25	18	15	13	10	8,7	7,0	$n_2$	
	0,30	0,22	0,15	0,11	0,11	0,07	0,06	0,05	0,045	0,034	0,02	$N_1$	
	23	23	22	21	24	21	20	17	13	11	8	$M_2$	
	0,84	0,81	0,77	0,74	0,66	0,62	0,57	0,51	0,45	0,45	0,43	$\eta$	
7Ч-М-40	2800	<b>400</b>	280	187	140	100	70	57	50	40	35	28	$n_2$
		1,5	1,15	0,82	0,56	0,50	0,36	0,30	0,26	0,21	0,19	0,15	$N_1$
		31	34	34	30	34	32	31	30	29	28	26	$M_2$
		0,87	0,85	0,81	0,78	0,72	0,66	0,62	0,60	0,57	0,54	0,51	$\eta$
	1400	200	140	93	70	50	35	29	25	20	18	14	$n_2$
		1,09	0,81	0,54	0,39	0,37	0,25	0,21	0,18	0,14	0,12	0,09	$N_1$
		45	46	44	39	48	42	41	38	36	32	29	$M_2$
		0,85	0,83	0,78	0,75	0,68	0,61	0,58	0,56	0,52	0,50	0,46	$\eta$

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
7Ч-М-40	900	128	90	60	45	32	23	19	16	13	11	9,0	n <sub>2</sub>	
		0,84	0,64	0,44	0,30	0,27	0,19	0,16	0,14	0,14	0,10	0,08	N <sub>1</sub>	
		52	54	52	45	52	46	43	41	40	39	36	M <sub>2</sub>	
		0,83	0,80	0,74	0,70	0,63	0,56	0,52	0,49	0,46	0,44	0,42	η	
700	100	70	47	35	25	18	15	13	10	8,7	7,0	n <sub>2</sub>		
		0,74	0,54	0,39	0,26	0,24	0,17	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	N <sub>1</sub>	
		58	58	58	49	55	49	46	45	43	41	38	M <sub>2</sub>	
		0,82	0,79	0,73	0,68	0,59	0,53	0,50	0,48	0,44	0,42	0,39	η	
7Ч-М-50	2800	400	280	187	140	100	70	57	50	40	35	28	n <sub>2</sub>	
		2,90	2,00	1,50	0,95	0,92	0,63	0,50	0,43	0,33	0,31	0,23	N <sub>1</sub>	
		62	59	61	52	66	59	56	53	46	49	40	M <sub>2</sub>	
		0,88	0,86	0,82	0,80	0,75	0,69	0,66	0,64	0,58	0,58	0,52	η	
	1400	200	140	93	70	50	35	29	25	20	18	14	n <sub>2</sub>	
			1,80	1,30	0,91	0,62	0,62	0,40	0,37	0,32	0,25	0,20	0,13	N <sub>1</sub>
			75	75	74	65	85	72	76	71	63	58	43	M <sub>2</sub>
			0,86	0,84	0,78	0,76	0,71	0,64	0,62	0,60	0,53	0,52	0,47	η
	900	128	90	60	45	32	23	19	16	13	11	9,0	n <sub>2</sub>	
			1,50	1,10	0,75	0,52	0,519	0,34	0,28	0,25	0,20	0,17	0,13	N <sub>1</sub>
			95	95	91	79	9	85	81	80	67	67	55	M <sub>2</sub>
			0,85	0,81	0,76	0,72	0,65	0,58	0,56	0,54	0,47	0,46	0,42	η
700	100	70	47	35	25	18	15	13	10	8,7	7,0	n <sub>2</sub>		
		1,40	0,92	0,65	0,44	0,43	0,29	0,25	0,21	0,16	0,15	0,12	N <sub>1</sub>	
		110	100	99	86	106	91	87	83	70	72	62	M <sub>2</sub>	
		0,83	0,80	0,75	0,71	0,64	0,57	0,542	0,52	0,45	0,44	0,39	η	
7Ч-М-60	2800	400	280	187	140	100	70	57	50	40	35	28	n <sub>2</sub>	
		4,40	3,50	2,50	1,90	1,60	1,05	0,70	0,73	0,60	0,50	0,35	N <sub>1</sub>	
		93	104	110	108	116	405	85	92	92	85	68	M <sub>2</sub>	
		0,88	0,87	0,84	0,82	0,76	0,73	0,71	0,66	0,64	0,60	0,58	η	
	1400	200	140	93	70	50	35	29	25	20	18	14	n <sub>2</sub>	
			2,70	2,30	1,60	1,20	1,00	0,75	0,62	0,55	0,46	0,37	0,25	N <sub>1</sub>
			113	133	130	122	139	135	128	123	122	106	83	M <sub>2</sub>
			0,86	0,84	0,81	0,77	0,71	0,66	0,62	0,60	0,55	0,53	0,49	η
	900	128	90	60	45	32	23	19	16	13	11	9,0	n <sub>2</sub>	
			2,30	1,80	1,30	1,00	0,85	0,55	0,45	0,40	0,32	0,28	0,19	N <sub>1</sub>
			150	163	166	161	175	152	135	130	125	115	94	M <sub>2</sub>
			0,85	0,83	0,75	0,76	0,68	0,64	0,61	0,55	0,53	0,48	0,47	η
700	100	70	47	35	25	18	15	13	10	8,7	7,0	n <sub>2</sub>		
		2,00	1,60	1,10	0,85	0,73	0,49	0,36	0,33	0,26	0,23	0,17	N <sub>1</sub>	
		164	177	178	175	187	165	140	139	128	120	100	M <sub>2</sub>	
		0,84	0,81	0,77	0,74	0,67	0,62	0,59	0,54	0,51	0,46	0,44	η	
7Ч-М-70	2800	400	280	187	140	100	70	57	50	40	35	28	n <sub>2</sub>	
		5,70	4,30	3,20	2,40	2,20	1,50	1,20	1,00	0,80	0,70	0,55	N <sub>1</sub>	
		122	130	139	136	161	155	142	130	120	115	107	M <sub>2</sub>	
		0,89	0,88	0,85	0,83	0,78	0,74	0,70	0,68	0,63	0,61	0,58	η	

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
7Ч-М-70	1400	200	140	93	70	50	35	29	25	20	18	14	n <sub>2</sub>
		3,90	3,10	2,20	1,80	1,50	1,20	0,84	0,75	0,58	0,50	0,46	N <sub>1</sub>
		166	180	188	194	216	238	189	180	163	154	130	M <sub>2</sub>
		0,88	0,86	0,83	0,81	0,75	0,71	0,67	0,64	0,59	0,56	0,52	η
7Ч-М-80	900	128	90	60	45	32	23	19	16	13	11	9,0	n <sub>2</sub>
		3,20	2,40	1,70	1,30	1,20	0,90	0,65	0,55	0,40	0,37	0,30	N <sub>1</sub>
		202	211	218	207	242	240	205	187	170	160	147	M <sub>2</sub>
		0,86	0,83	0,79	0,77	0,70	0,654	0,62	0,59	0,54	0,50	0,46	η
	700	100	70	47	35	25	18	15	13	10	8,7	7,0	n <sub>2</sub>
		2,70	2,00	1,50	1,10	1,00	0,70	0,55	0,45	0,37	0,30	0,25	N <sub>1</sub>
		216	233	231	225	256	245	220	197	176	167	150	M <sub>2</sub>
		0,85	0,82	0,78	0,75	0,68	0,63	0,60	0,56	0,51	0,48	0,45	η
7Ч-М-85	2800	400	280	187	140	100	70	57	50	40	35	28	n <sub>2</sub>
		9,60	7,50	5,30	4,10	3,00	2,40	2,00	1,70	1,30	1,20	0,90	N <sub>1</sub>
		205	225	234	237	235	250	242	229	210	200	190	M <sub>2</sub>
		0,89	0,88	0,86	0,80	0,80	0,76	0,72	0,71	0,67	0,64	0,60	η
	1400	200	140	93	70	50	35	29	25	20	18	14	n <sub>2</sub>
		6,10	4,50	3,30	2,90	2,20	1,60	1,40	1,20	0,94	0,85	0,55	N <sub>1</sub>
		259	268	289	322	319	325	316	305	290	280	210	M <sub>2</sub>
		0,88	0,86	0,83	0,82	0,76	0,72	0,67	0,68	0,63	0,60	0,56	η
	900	128	90	60	45	32	23	19	16	13	11	9,0	n <sub>2</sub>
		5,00	3,90	3,00	2,10	1,80	1,50	1,10	0,90	0,75	0,55	0,50	N <sub>1</sub>
		320	350	378	355	373	410	350	332	300	290	260	M <sub>2</sub>
		0,86	0,84	0,80	0,78	0,71	0,66	0,672	0,671	0,55	0,53	0,48	η
	700	100	70	47	35	25	18	15	13	10	8,7	7,0	n <sub>2</sub>
		4,60	3,50	2,50	1,90	1,50	1,20	1,00	0,80	0,60	0,55	0,40	N <sub>1</sub>
		370	400	408	388	400	420	379	353	310	305	275	M <sub>2</sub>
		0,85	0,83	0,79	0,76	0,69	0,65	0,61	0,59	0,55	0,50	0,46	η
7Ч-М-110	2800	400	280	187	140	100	70	57	50	40	35	28	n <sub>2</sub>
		17,5	14,8	10,7	8,6	7,0	5,0	4,5	3,6	3,1	3,0	2,1	N <sub>1</sub>
		375	445	470	490	530	520	545	490	525	540	450	M <sub>2</sub>
		0,90	0,88	0,86	0,84	0,79	0,76	0,73	0,71	0,70	0,67	0,62	η
	1400	200	140	93	70	50	35	29	25	20	18	14	n <sub>2</sub>
		12,2	8,8	6,4	5,7	4,3	3,4	2,7	2,3	2,0	1,5	1,2	N <sub>1</sub>
		525	532	560	647	642	691	631	595	635	525	469	M <sub>2</sub>
		0,88	0,87	0,84	0,83	0,76	0,73	0,71	0,70	0,67	0,66	0,61	η
	900	128	90	60	45	32	23	19	16	13	11	9,0	n <sub>2</sub>
		9,8	8,0	5,7	4,4	3,7	2,7	2,3	1,9	1,7	1,5	0,9	N <sub>1</sub>
		635	720	745	745	795	780	780	690	765	715	500	M <sub>2</sub>
		0,87	0,85	0,82	0,79	0,73	0,68	0,64	0,62	0,59	0,57	0,50	η
	700	100	70	47	35	25	18	15	13	10	8,7	7,0	n <sub>2</sub>
		8,5	6,8	4,9	3,9	3,3	2,3	2,0	1,7	1,5	1,2	0,8	N <sub>1</sub>
		700	780	795	815	890	820	840	770	815	720	515	M <sub>2</sub>
		0,86	0,84	0,80	0,77	0,71	0,66	0,62	0,60	0,57	0,55	0,48	η

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
7Ч-М-130	2800	400	280	187	140	100	70	57	50	40	35	28	n <sub>2</sub>
		26,3	21,6	15,9	12,2	9,3	7,7	6,0	5,3	3,9	3,3	2,4	N <sub>1</sub>
		565	655	705	715	715	815	740	780	670	620	560	M <sub>2</sub>
		0,90	0,89	0,87	0,86	0,80	0,78	0,74	0,77	0,72	0,68	0,68	η
	1400	200	140	93	70	50	35	29	25	20	18	14	n <sub>2</sub>
		19,0	15,0	11,0	8,5	7,5	5,5	4,0	3,7	2,7	2,4	1,8	N <sub>1</sub>
		807	890	960	975	1100	1140	950	1005	865	810	750	M <sub>2</sub>
		0,89	0,87	0,85	0,84	0,77	0,76	0,72	0,71	0,67	0,63	0,61	η
	900	128	90	60	45	32	23	19	16	13	11	9,0	n <sub>2</sub>
		16,9	11,7	8,4	6,5	5,1	4,1	3,1	2,8	2,1	1,8	1,3	N <sub>1</sub>
		975	1070	1115	1115	1145	1215	1095	1145	960	890	805	M <sub>2</sub>
		0,88	0,86	0,83	0,81	0,75	0,70	0,67	0,68	0,63	0,58	0,57	η
700	100	70	47	35	25	18	15	13	10	8,7	7,0	n <sub>2</sub>	
	12,8	10,3	7,5	5,6	4,4	3,6	2,8	2,4	1,8	1,6	1,1	N <sub>1</sub>	
	1060	1200	1230	1215	1200	1320	1185	1215	1030	955	855	M <sub>2</sub>	
	0,87	0,85	0,81	0,80	0,72	0,68	0,65	0,66	0,61	0,56	0,55	η	
7Ч-М-130	2800	400	280	187	140	100	70	57	50	40	35	28	n <sub>2</sub>
		37,0	29,6	22,8	17,1	13,6	10,7	8,5	6,6	5,5	4,9	3,6	N <sub>1</sub>
		795	900	1015	1005	1065	1170	1090	970	950	915	845	M <sub>2</sub>
		0,90	0,89	0,87	0,86	0,82	0,80	0,77	0,77	0,72	0,68	0,68	η
	1400	200	140	93	70	50	35	29	25	20	18	14	n <sub>2</sub>
		25,0	21,0	16,0	12,5	9,5	8,0	6,0	5,1	3,8	3,4	2,6	N <sub>1</sub>
		1060	1260	1410	1430	1435	1680	1440	1420	1230	1170	1120	M <sub>2</sub>
		0,89	0,88	0,86	0,84	0,79	0,77	0,73	0,73	0,68	0,65	0,63	η
	900	128	90	60	45	32	23	19	16	13	11	9,0	n <sub>2</sub>
		20,7	15,8	12,2	9,3	7,2	5,6	4,5	3,3	3,0	2,5	2,0	N <sub>1</sub>
		1360	1470	1635	1625	1660	1740	1600	1370	1390	1290	1230	M <sub>2</sub>
		0,88	0,87	0,84	0,82	0,77	0,73	0,69	0,69	0,64	0,31	0,58	η
	700	100	70	47	35	25	18	15	13	10	8,7	7,0	n <sub>2</sub>
		17,7	13,7	10,7	8,0	6,2	4,9	3,8	3,0	2,6	2,2	1,7	N <sub>1</sub>
		1475	1610	1805	1780	1790	1890	1710	1535	1500	1425	1275	M <sub>2</sub>
		0,87	0,86	0,83	0,81	0,75	0,71	0,68	0,67	0,61	0,58	0,56	η