

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ  
В АРМ WIN MACHINE**

**лабораторный практикум**

**По дисциплине Детали машин и основы конструирования**

**Иркутск – 2018 г.**

УДК 621.83.06

Рецензенты: Беломестных В.А.- к.т.н., доц. кафедры «Технический сервис и общинженерные дисциплины»; Горбунов С.Ф.- к.т.н. доц. кафедры ЕНД Московского государственного университета гражданской авиации (Иркутский филиал)

С.В.Алтухов. Проектирование механических передач в АРМ Win Machine.: Практикум. Иркутский ГАУ: Издательство Иркутского государственного аграрного университета имени А.А.Ежевского, 2018.- 68 с.

Данный практикум представляет собой пособие для выполнения лабораторных работ по проектированию механических передач в среде АРМ Win Machine. Практикум входит в комплекс учебно-методической литературы, обеспечивающей проведение лабораторно-практических занятий по деталям машин, механике. И предназначен для студентов инженерного и энергетического факультетов. Практикум включает в себя лабораторные работы по проектированию основных видов механических передач в АРМ WinTrans: ремённых, цепных, цилиндрических, конических, червячных. Предназначен для студентов инженерного и энергетического факультетов ИрГАУ.

Рекомендован к изданию методическим советом Иркутского государственного аграрного университета имени А.А.Ежевского

## Проектирование механических передач в АРМ WinTrans Общие указания.

Система АРМ WinTrans предназначена для расчета механических передач вращения, т. е. элементарных механизмов, служащих для передачи крутящего момента от одного вала (ведущего) другому (ведомому).

С помощью АРМ WinTrans Вы можете:

- задать конструкцию передачи
- выполнить все необходимые расчеты
- получить рабочие чертежи деталей передачи

С помощью АРМ WinTrans можно выполнить следующие виды расчетов:

- проектировочный расчет передачи
- проверочный расчет передачи

При *проектировочном расчете* Вы задаёте значения таких параметров, как внешняя нагрузка, материалы, тип термообработки, кинематические характеристики, долговечность. Используя эти данные, АРМ WinTrans рассчитывает основные геометрические размеры передачи, основываясь на критериях работоспособности передач

С помощью *проверочного расчета* определяется нагрузочная способность передачи при заданных значениях параметров (геометрических размеров, характеристик материалов передач и т.п.).

Реализовано два вида проверочных расчетов:

- определение максимального момента при заданной долговечности
- определение долговечности при заданной нагрузке

Студенты выполняют следующие лабораторные работы, по заданию преподавателя:

1. Проектирование клиноременной передачи
2. Проектирование плоскоремённой передачи
3. Проектирование цепной передачи
4. Проектирование цилиндрической прямозубой передачи
5. Проектирование цилиндрической косозубой передачи
6. Проектирование шевронной передачи
7. Проектирование цилиндрической передачи с внутренним зацеплением
8. Проектирование конической передачи с прямыми зубьями
9. Проектирование конической передачи с круговыми зубьями
10. Проектирование червячной передачи

Примечание: *после выполнения расчетов нужно исходные данные, результаты расчета, чертеж сохранить в личной папке студента. Папку создать под своей фамилией, в папке «АРМ механик».*

# 1. Проектирование ремённых передач

## Лабораторная работа № 1

**Цель работы:** Научиться проектировать ременную передачу в ARMTans, оценивать полученные результаты, выполнять чертежи шкивов.

**Задание:** рассчитать клиноременную (плоскоременную) передачу, выбрать несколько вариантов, для одного из вариантов, подготовить рабочие чертежи шкивов.

Исходные данные

Таблица 1.1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$P_{1, кВт}$	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	10	12	14	17	20	24
$n_1, об/мин$	950	1450	2850	1450	960	720	940	1450	2850	1450	950	1450	2870	1440
$u$	2.5	2.8	3.15	3.55	2.24	2.5	2.8	3.15	3.55	3	3.15	2.8	2.5	2
$K_d$	1.2	1.4	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8	1.5	1.3	1.2	1.1	1	1.5	1.3

### 1.1 Теоретическая часть

Общие сведения. Кинематика передачи и скольжение ремня. Напряжённое состояние ремня передачи. Геометрические соотношения в ремённых передачах. Силы, действующие на валы ремённых передач. Расчёт клиноременной передачи. [ARMTans глава 8.1 Ремённые передачи]

### Порядок выполнения

#### 1. 2Расчёт ремённой передачи в модуле ARMTans:

##### 1.2.1 Выбрать «Тип передачи» - (клиноременная, плоскоременная)

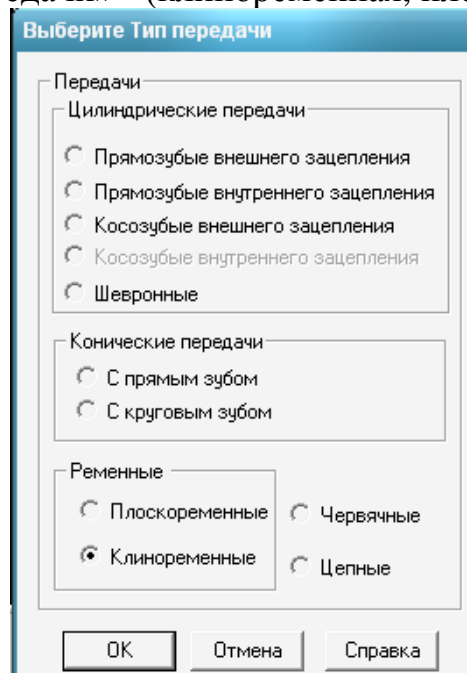


Рис. 1.1 Выбор типа передачи.

### 1.2.2. Выбрать «Тип расчёта» -(проектировочный)

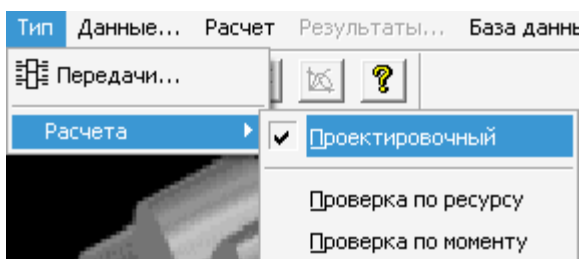


Рис.1.2 Выбор типа расчёта.

### 1.2.3. Задать основные параметры передачи по (табл.1.1). Диалоговое окно «Данные» - «Основные параметры ремённой передачи»:

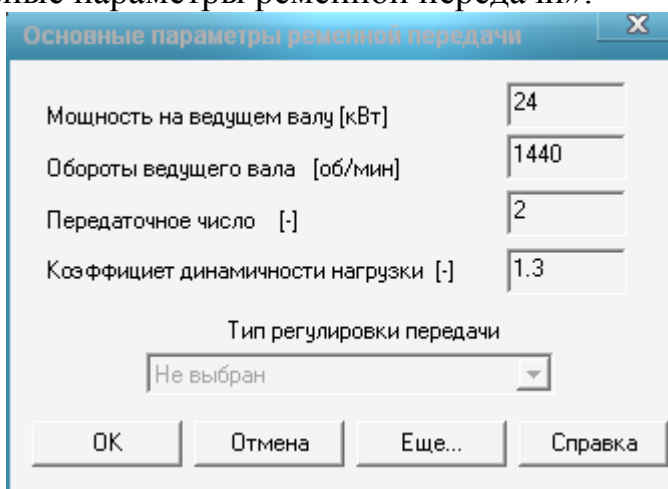


Рис. 1.3 Ввод исходных данных.

Таблица 1.2

Коэффициент динамичности нагрузки

Характер нагрузки	Рекомендуемые значения коэффициента динамичности нагрузки
Спокойная. Пусковая до 120 % нормальной	1
Умеренные колебания.	1,1...1,2
Пусковая до 150% нормальной	1,25...1,4
Значительные колебания. Пусковая до 200% нормальной	1,1...1,2
Ударная. Пусковая до 300% нормальной	1,5...1,6

### 1.2.4. Нажав в нижней части диалогового окна «Основные данные» кнопку «Ещё», можно ввести в соответствующие поля «Дополнительные данные»

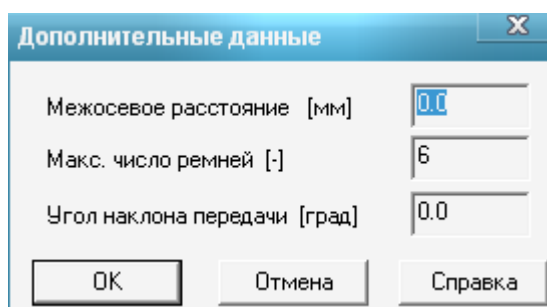


Рис. 1.4 Ввод дополнительных данных.

По умолчанию максимальное число ремней – 6, расположение передачи – горизонтальное.

#### 1.2.5 Провести расчёт (пункт «Расчёт» главного меню).

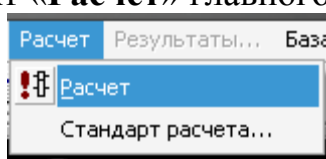


Рис. 1.5 Запуск расчёта.

В качестве результатов программа выводит таблицу с различными вариантами размеров поперечных сечений ремней и диаметров ведущего шкива. Количество расчётных вариантов можно сократить, вводя ограничения на число ремней и другие дополнительные данные.

#### 1.2.6 Просмотр и оценка результатов расчёта клинременной передачи.

В результатах указаны: сечение, число ремней, диаметр ведущего и ведомого шкива, длина ремня, передаточное отношение с учётом проскальзывания ремня, межосевое расстояние, сила предварительного натяжения ремня, сила действующая на вал, ширина и высота сечения ремня. Заполнить таблицу результатов расчёта в отчёте (запишите несколько вариантов с разными сечениями ремня, лучшими по вашему мнению).

Номер	Сечение	Число ремней	Диаметр веду...	Диаметр vedo...
0	A	6	400.000	800.000
1	A	6	425.000	850.000
2	A	6	450.000	900.000
3	A	6	475.000	950.000
4	B	6	224.000	450.000
5	B	5	250.000	500.000
6	B	5	280.000	560.000
7	B	4	320.000	630.000
8	B	4	360.000	710.000
9	B	4	400.000	800.000
10	B	4	425.000	850.000
11	B	4	450.000	900.000

## Рис.1.6 Просмотр результатов расчёта

### 1.2.7 Сохранить результаты расчёта.

Сохранение может быть выполнено в формате с расширением \*.wtr тогда сохранённый файл будет доступен для последующей загрузки и пересчёта, либо в формате \*.rtf доступном для текстовых редакторов.

1.3 Выбрать один из вариантов, Подготовить и сохранить чертежи шкивов, выбирая вкладки:

«Чертеж» - «Данные»- «Штамп» - «Исполнение»- «Тип ступицы» - «Соединение»- «Размеры конструкции».

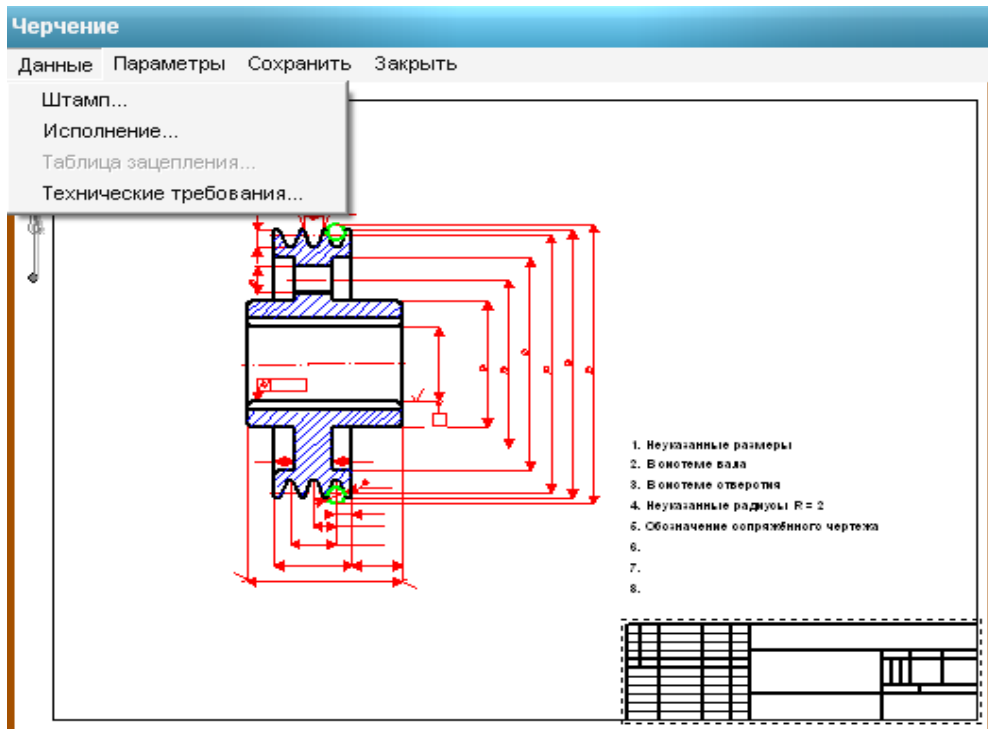


Рис.1.7 Вкладка для оформления чертежа шкива.

The screenshot shows the 'Заполнение штампа' (Stamp Filling) dialog box. It contains a table for document information and a form for stamp details.

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разраб.		Петров И.		14.12.10
Пров.		Алтухов С.В.		14.12.10
Т.контр.				14.12.10
Н.контр.				14.12.10
Учв.				14.12.10

03.12.02-10

Лиг.    Масса     Масштаб

ведомый шкив          110.615    1:2

Увеличение

Лист 1    Листов 1

ИргСХА Инженерный Ф-т

Формат A0

Ok    Отмена    Справка

Рис 1.8 Заполнение основной надписи чертежа.

Конструируя шкив, самостоятельно выбрать исполнение, тип ступицы, вид соединения и размеры отдельных элементов.

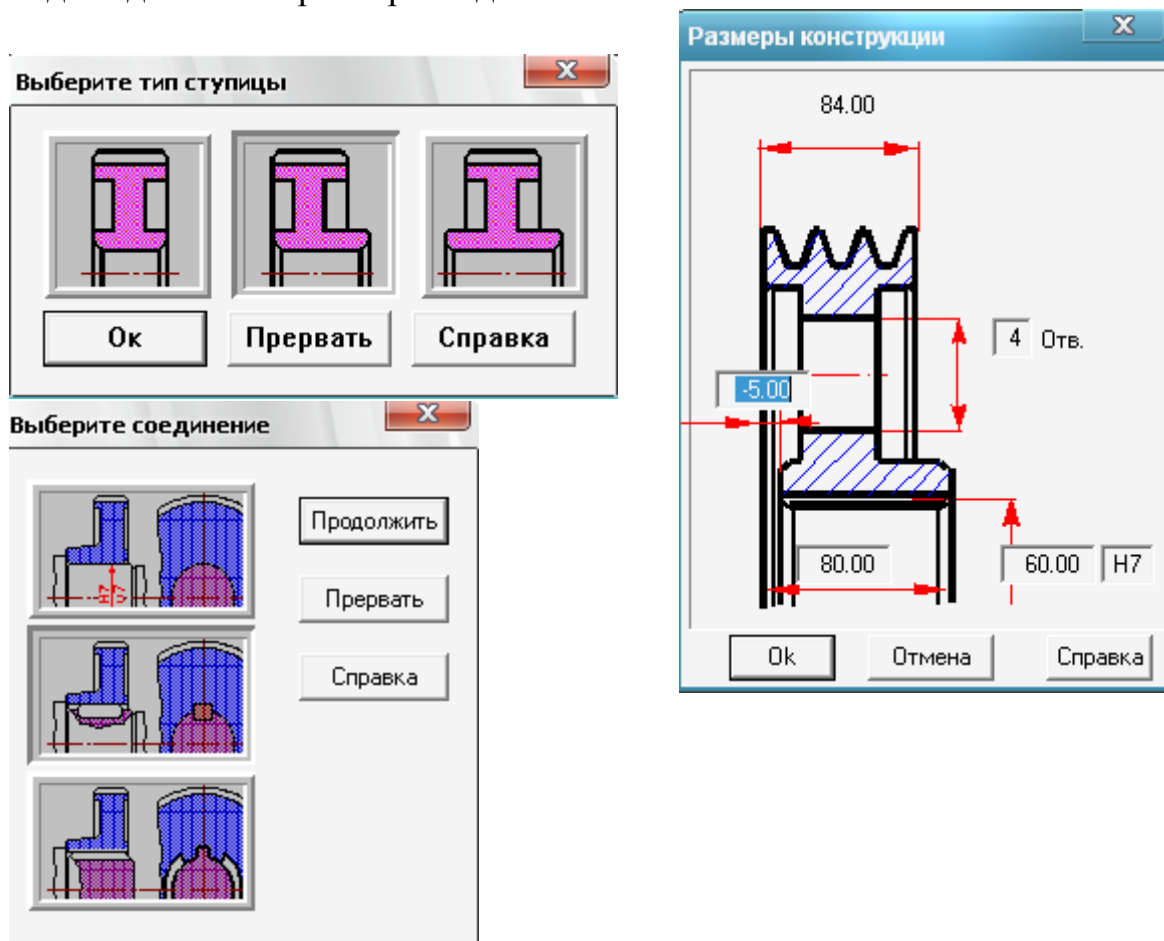


Рис 1.9 Подготовка чертежа шкива

**Рекомендации:** диаметр отверстия в ступице  $d_o = (7 \dots 8) \sqrt[3]{T}$ ,  $T$  – крутящий момент на соответствующем шкиве (Н·м);- длина ступицы  $l_{ст} = (0,8 \dots 1,5) d_o$ , число отверстий на диске выбирается из ряда 2, 3, 4, 6, 8.

$$T_1 = \frac{30 \cdot P_1}{\pi \cdot n_1}, \quad T_2 = T_1 \cdot u \cdot \eta$$

Для просмотра чертёж нужно сохранить в свою папку в формате с расширением \*.agr.



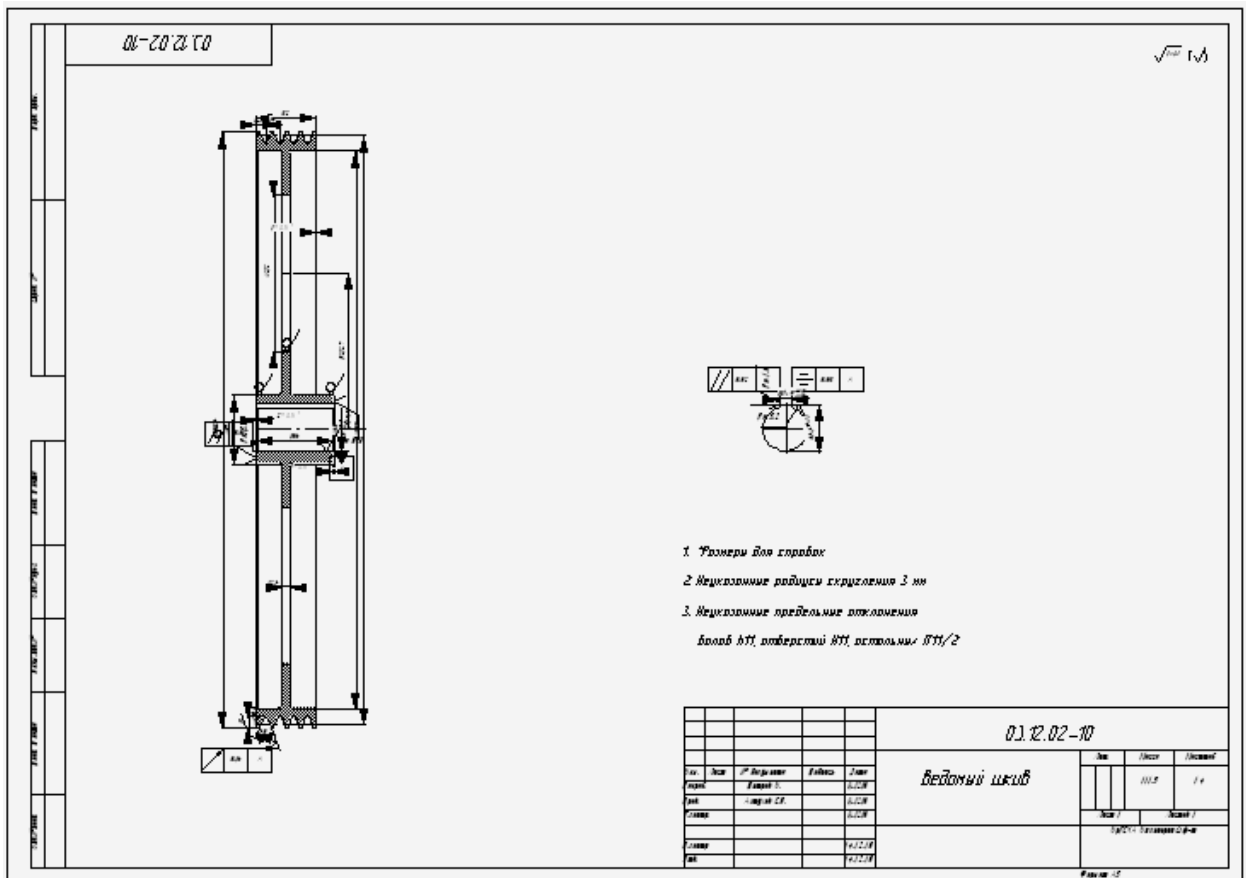


Рис. 1.10 Чертёж шкива.

#### 1.4 Ответить на контрольные вопросы

1. Какова конструкция клинового ремня?
2. Какие бывают клиновые ремни по сечению?
3. Какие различают типоразмеры клиновых ремней?
4. Назовите основные геометрические размеры ремённой передачи?
5. Из каких материалов изготавливают шкивы клиноременных передач? От чего зависит выбор материала?
6. Какие применяются способы натяжения ремней?
7. Почему ограничивают число ремней в комплекте?
8. Почему передаточное отношение ремённой передачи непостоянно?
9. Что такое тяговая способность ремённой передачи?
10. В чем сущность усталостного разрушения ремней?
11. От чего зависит срок службы ремней?

## Форма отчета

### Заданные параметры

Тип передачи:

клиноременная

Тип расчёта:

проектировочный, проверочный

### Основные данные:

Тип натяжного устройства	
Мощность на ведущем шкиве передачи $P_1$ , кВт	
Частота вращения ведущего вала $n_1$ , мин <sup>-1</sup>	
Передаточное число	
Коэффициент динамичности нагрузки $K_D$	

### Дополнительные данные

Межосевое расстояние $a$ , мм	
Максимально допустимое количество ремней $z$	

### Результаты расчёта APMTrans

№	Сечение	Z	$d_1$ , (мм)	$d_2$ , (мм) <sub>2</sub>	L, (мм)	$u$	$a$ , (мм)	$F_0$ , (Н)	$F_p$ , (Н)	$b_0$ , (мм)	$h$ , (мм)	V, (м/с)

$d_1, d_2$  - диаметры ведущего, ведомого шкивов;  $L$  - длина ремня;  $F_0$  - сила предварительного натяжения;  $F_p$  - сила, действующая на вал;  $b_0$  - ширина ремня;  $h$  - высота ремня

$$V = \frac{\pi d_1 n_1}{6 \cdot 10^4}, \text{ м/с} - \text{ скорость ремня.}$$

## 2. Проектирование цепных передач

### Лабораторная работа №2

**Цель работы:** научиться рассчитывать цепную передачу в ARMTans, оценивать полученные результаты, выполнять рабочий чертёж звёздочки.

**Задание:** рассчитать цепную передачу роликовой цепью, подготовить рабочий чертёж звёздочки, недостающие данные принять самостоятельно.

**Варианты исходных данных**

Таблица 2.1

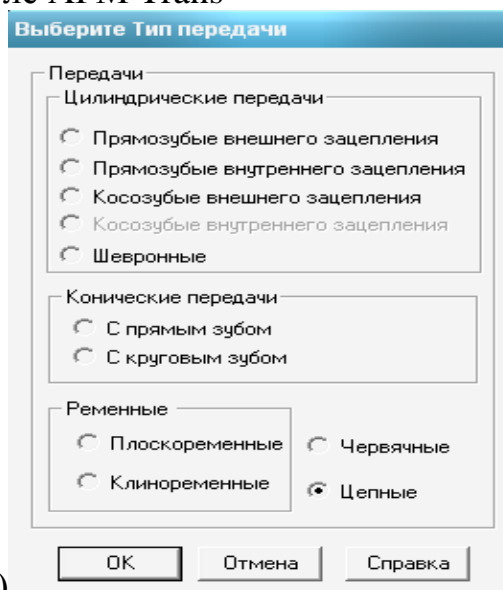
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$T_1, Н*м$	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
$n_1, об/мин$	150	200	150	300	210	180	100	140	60	100	90	60	80	40
$u$	2.5	2.8	3.0	3.5	2.4	2.5	2.8	3.2	3.0	2.4	3.0	2.8	2.5	2.4
Срок службы, тыс. час	5	6	7	8	9	10	8	5	3	6	8	10	9	7
Режим работы	Плав.	Сп.	Сред. удар.	Легк. удар.	Плав	Тяж. удар.	Сред. удар.	Легк. удар.	Плав.	Тяж. удар.	Сред. удар.	Легк. удар.	Плав.	Тяж. удар.

### 2.1 Теоретическая часть

Общие сведения. Кинематика цепной передачи. Геометрические параметры цепных передач. Основные энергетические и силовые характеристики цепных передач. Причины потери работоспособности цепных передач и методы их проектировочного расчёта. [ARMTans глава 8.2 Цепные передачи]

### Порядок выполнения

#### 2.2. Расчёт цепной передачи в модуле ARMTans



#### 2.2.1. Выбрать тип передачи (цепная)

Рис 2.1 Выбор типа передачи

## 2.2.2 Выбрать тип расчёта

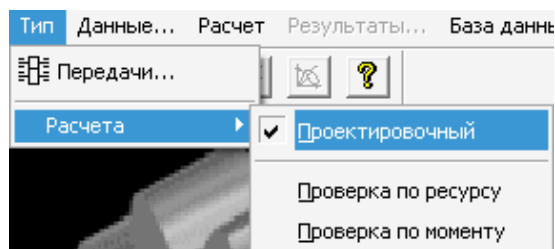


Рис. 2.2 Выбор типа расчёта

## 2.2.3 Задать основные параметры передачи (табл.2.1).

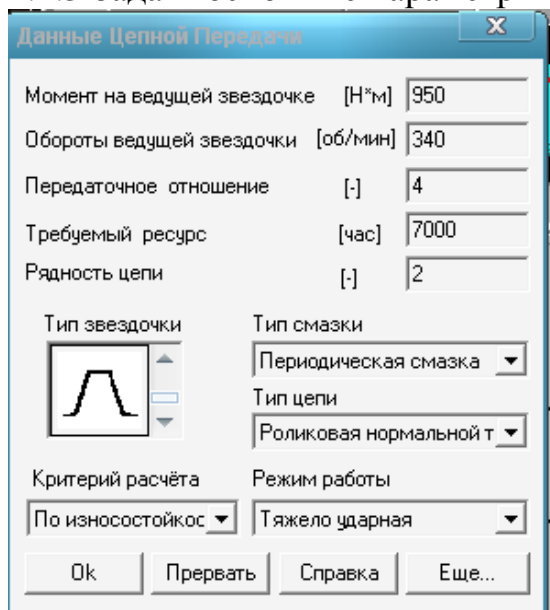


Рис. 2.3 Диалоговое окно «Данные цепной Передачи»

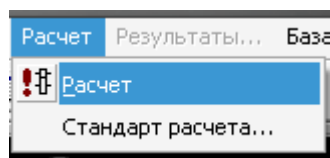
### Примечание:

Частота вращения ведомой звёздочки  $n_2 = n_1/u$ ;

**Тип смазки, тип цепи, тип звёздочки** (профиль зуба – вогнуто-выпуклый ГОСТ 591-69 – рекомендуется при больших скоростях; или прямолинейный ГОСТ 592-81) **выбрать самостоятельно.**

Рядность цепи принять поочерёдно  $N=1,2,3,4$ .

## 2.2.4 Провести расчёт (пункт «Расчёт» главного меню).



Примечание: Если система выдаёт сообщение «Цепь не найдена», уточните исходные данные, изменив тип цепи или выбрав более совершенный тип смазки.

Рис. 2.3 Запуск расчёта

## 2.2.5 Оценить результаты расчёта в APM Trans.

Открыть диалоговое окно «Результаты» и отметить флажками интересующие результаты расчёта.

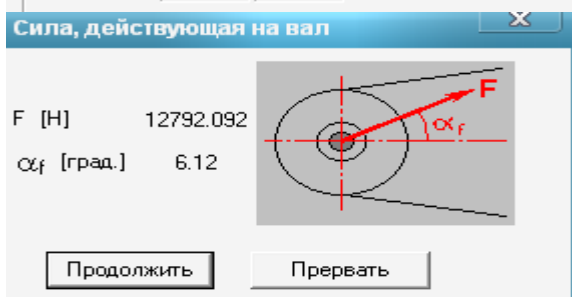
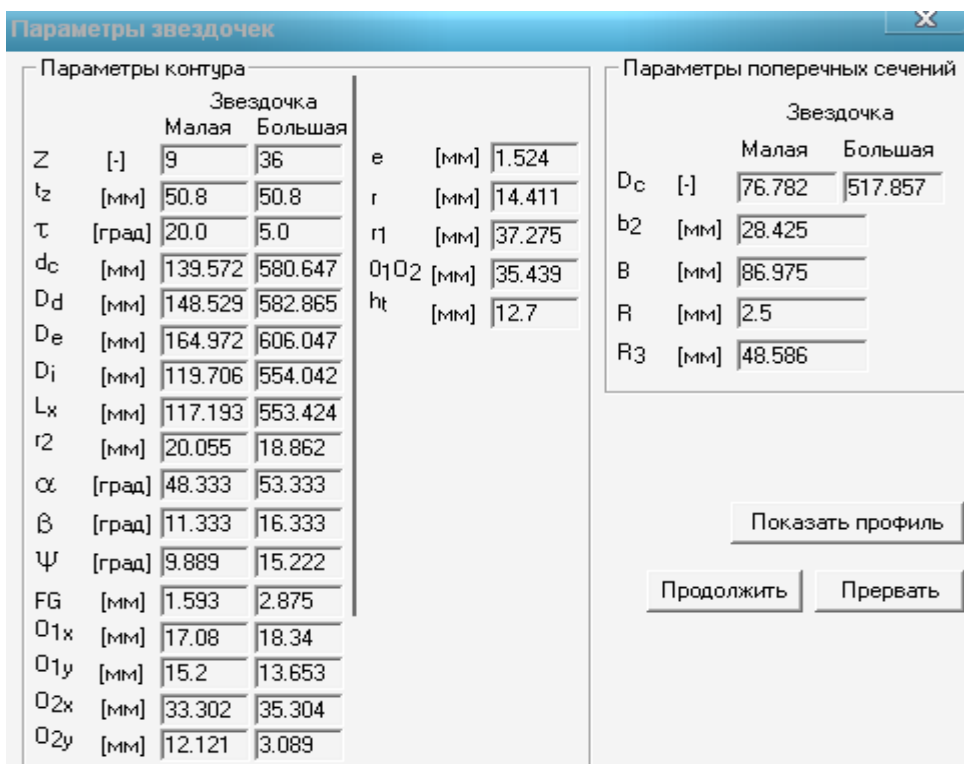
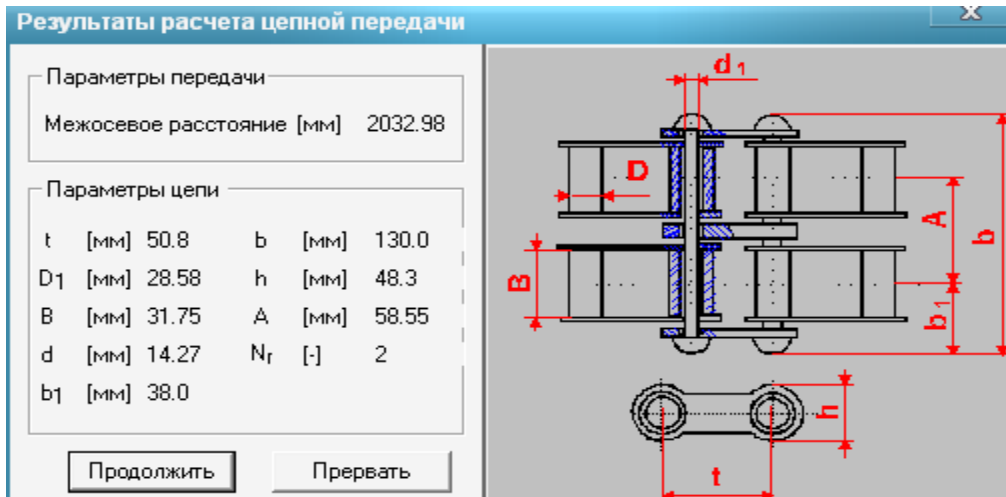
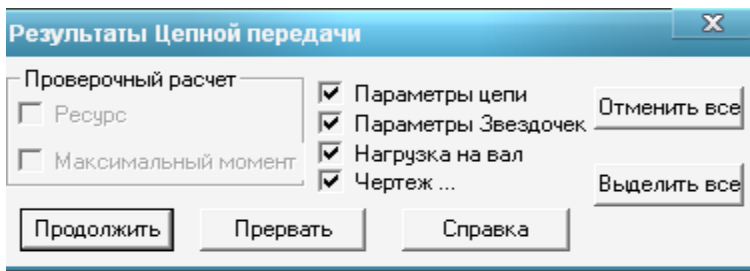


Рис. 2.4 Просмотр результатов

Заполнить таблицу 2.3 результатов расчёта.

**3. Сравнить полученные результаты по диаметрам звёздочек, шагу цепи, межосевому расстоянию и силе давления на вал. Выбрать один из вариантов рядности цепи и пересчитать при необходимости.**

**4. Для выбранного варианта заполнить таблицы: 2.4 – 2.6**

(- параметры цепи;- параметры звёздочек;- сила, действующая на вал;)

**5. Подготовить и сохранить чертёж ведомой и (или) ведущей звёздочки для выбранного варианта, выбирая вкладки: «Чертёж» - «Данные»- «Штамп» - «Исполнение»- «Тип ступицы» - «Соединение». - «Размеры конструкции» - «Сохранить».**

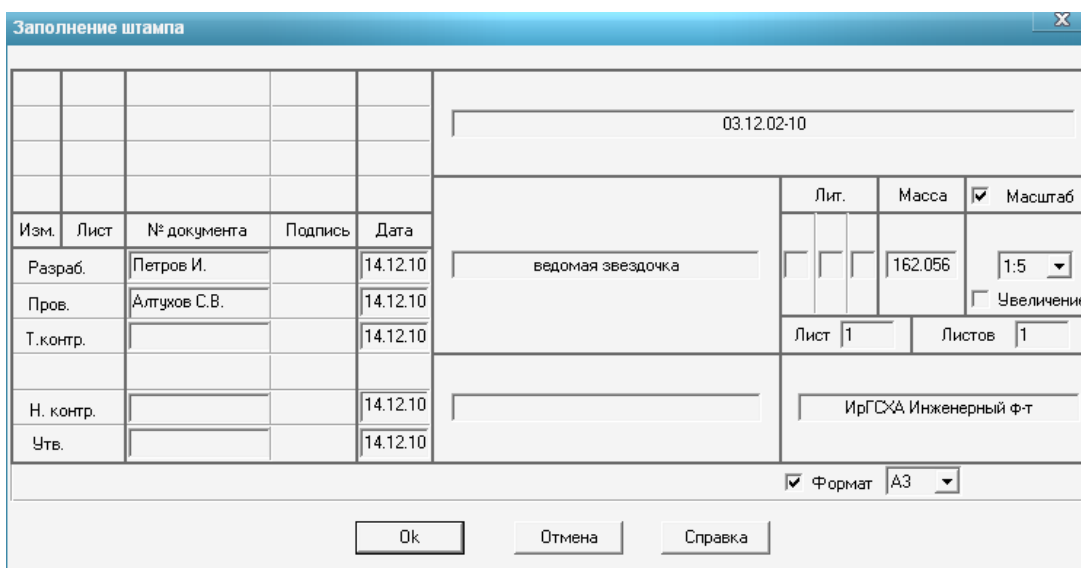
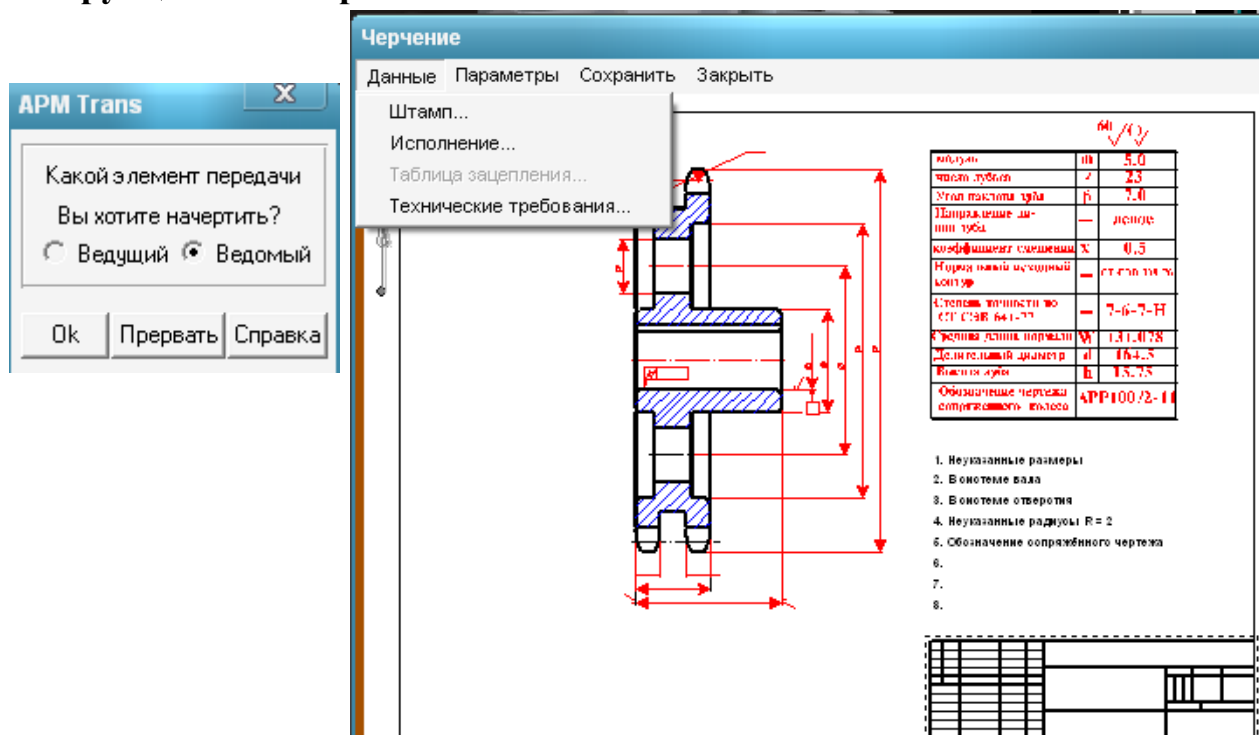


Рис 2.5 Подготовка чертежа.

«Чертёж» - «Данные»- «Штамп»

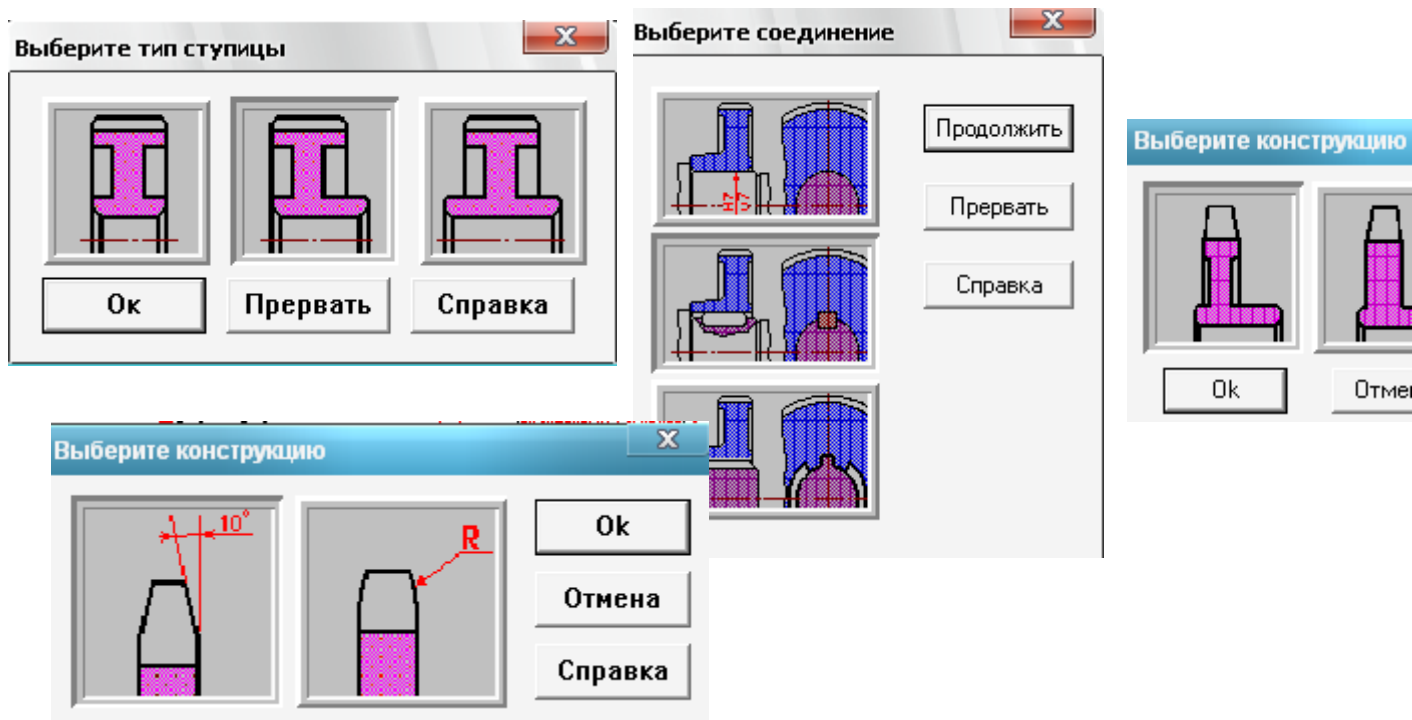


Рис. 2.6 Выбор конструкции звёздочки - «Исполнение»- «Тип ступицы» - «Соединение».

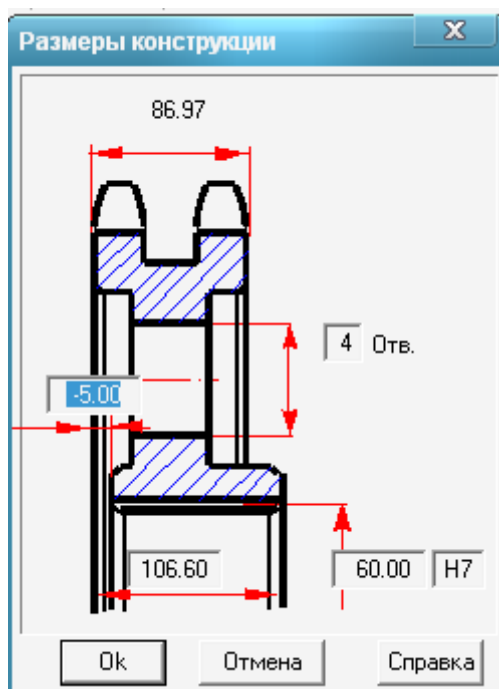


Рис. 2.7 Определение размеров ступицы и количества отверстий в диске звёздочки, - «Размеры конструкции».

При конструировании звёздочки самостоятельно выбрать исполнение, тип ступицы, вид соединения и размеры отдельных элементов.

**Рекомендации:** диаметр отверстия в ступице  $d_0 = (5 \dots 6) \sqrt[3]{T}$ ; длина ступицы

$l_{ст} = (0,8 \dots 1,5) d_0$ , число отверстий на диске 2,

$$3,4,6. \quad T_1 = \frac{30 \cdot P_1}{\pi \cdot n_1}, \quad T_2 = T_1 \cdot u \cdot \eta$$

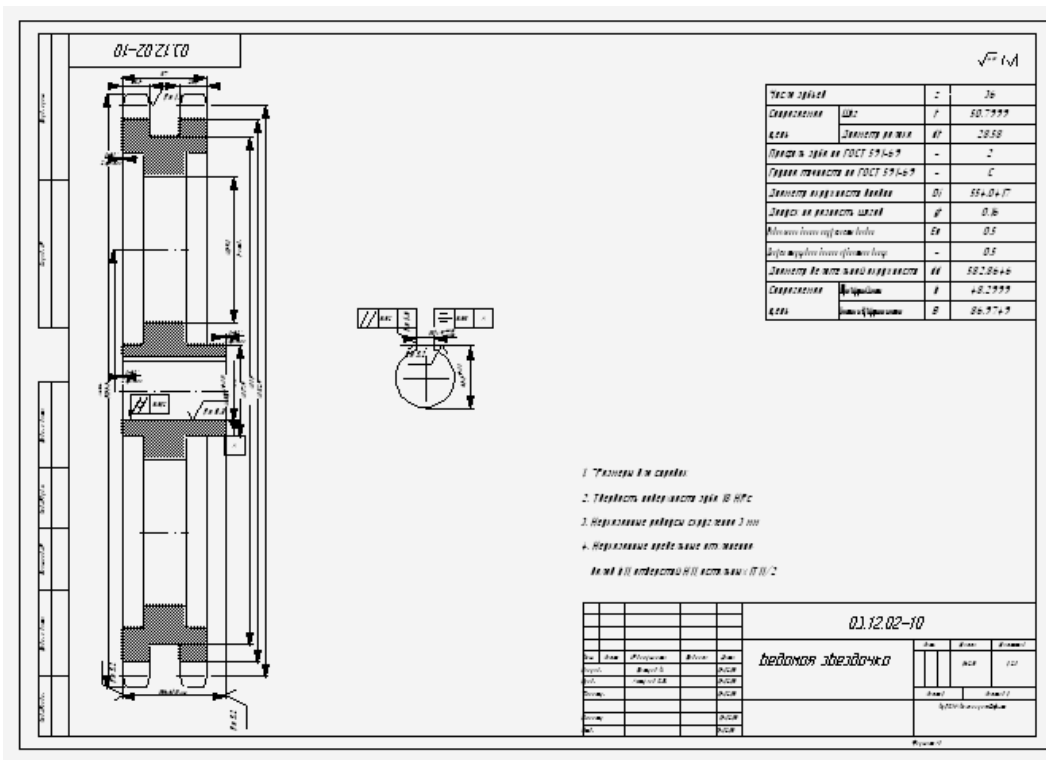


Рис 2.8 Чертёж звёздочки

6. Ответить на контрольные вопросы

Форма отчёта

Заданные параметры

Передача: Цепная

Тип расчёта: Проектировочный

Основные данные

Таблица 2.2

Тип цепи	
Вид рабочей нагрузки /режим работы/	
Тип смазки	
Момент вращения ведущей звёздочки $T_1$ , Н·м	
Частота вращения ведущей звёздочки $n_1$ , об/мин	
Передаточное число $u$	
Ресурс /срок службы/ $L_{10}$ , час	

Результаты расчёта в APM Trans.

Таблица 2.3

Рядность цепи $n$	1		2		3		4	
Шаг цепи $t$ , мм								
Межосевое расстояние передачи $a$ , мм								
Сила давления на вал $F$ , Н								
Параметры звёздочек	1	2	1	2	1	2	1	2
Число зубьев, $Z$								
Делительный диаметр $D_d$ , мм								



Таблица 2.4. Параметры цепи для выбранного варианта

Описание	Символ	Параметры передачи	Единицы
Межосевое расстояние	$a$		мм
Шаг цепи	$t$		мм
Диаметр ролика цепи	$d_t$		мм
Диаметр оси цепи	$d$		мм
Максимальная ширина цепи	$b$		мм
Высота пластины цепи	$h$		мм
Рядность цепи	$n$		—

Таблица 2.5. Параметры звёздочек

Описание	Символ	ведущая	ведомая	Единицы
Число зубьев	$Z$			—
Шаг звёздочки	$t_z$			мм
Половина углового шага	$\tau$			град
Диаметр окружности, вписанной в шаговый многоугольник	$d_c$			мм
Высота зубьев, измеренная от шаговой линии	$h_t$			мм
Диаметр делительной окружности	$D_d$			мм
Диаметр окружности вершин	$D_e$			мм
Диаметр окружности впадин	$D_i$			мм
Радиус впадины	$r$			мм
Радиус профиля головки зубьев (для многорядных цепей)	$r_2$			мм
Толщина зуба	$b_2$			мм
Радиус закругления вершины	$r_2$			мм
Ширина многорядной звёздочки	$B$			мм
Диаметр окружности заплечика	$D_c$			мм
Радиус скругления боковой поверхности зуба	$R_3$			мм

Таблица 2.6. Сила, действующая на вал

Описание	Символ	Величина	Единицы
Модуль силы	$F$		$H$

<i>Угол между вектором силы и линией соединяющей центры</i>	<i><math>\gamma</math></i>		<i>град</i>
---	----------------------------	--	-------------

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите особенности конструкции и свойства роликовой и втулочной цепи?
2. В каких случаях применяют многорядные роликовые цепи?
3. Почему при высоких скоростях рекомендуют применять цепи с малым шагом?
4. Чем вызвана неравномерность движения приводных цепей и почему она возрастает с увеличением шага?
5. Чем обусловлены ограничения минимального числа зубьев малой звёздочки и максимального числа зубьев большой звёздочки?
6. От чего зависит сила действующая на валы в цепной передаче?
7. Как влияет рядность цепи на габариты передачи?
8. Что является основным критерием работоспособности цепных передач?
9. Что такое коэффициент эксплуатации, от чего он зависит?
10. Какие способы смазывания применяют в цепных передачах?

### 3. Проектирование цилиндрических зубчатых передач Лабораторная работа № 3

**Цель работы:** научиться рассчитывать передачу в APMTrans, оценивать полученные результаты, выполнять рабочий чертёж зубчатого колеса.

**Задание:** рассчитать цилиндрическую прямозубую и косозубую передачи для двух вариантов термообработки, подготовить рабочий чертёж зубчатого колеса.

**Варианты исходных данных**

Таблица 3.1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$T_{2,Н*М}$	2500	2000	1250	1500	1200	940	770	600	460	1100	800	2180	1690	1380
$n_2, об/мин$	380	518	300	400	240	160	190	260	210	380	300	520	380	350
$u$	2.5	2.8	3.15	3.55	4	4.5	5	5.6	4.5	4	3.15	4.8	5.5	4.5
Расположение колеса	Сим-метр	Несим-метр.	Консо-льно	Сим-метр	Несим-метр.	Консо-льно	Сим-метр	Несим-метр.	Консо-льно	Сим-метр	Несим-метр.	Консо-льно	Сим-метр	Несим-метр.
Срок службы, тыс. час	15	18	20	25	30	25	20	15	20	25	30	35	40	45
Термообработка 1*	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Термообработка 2*	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4
Режим работы	Тяж.	Сред	Легк	Пос-тоян	Тяж.	Сред.	Легк.	Пос-тоян	Тяж.	Тяж.	Сред.	Легк.	Пос-тоян	Тяж.

\* - Варианты термообработки зубчатых колес:

1. Оба колеса из улучшенной стали.
2. Шестерня – закалка ТВЧ, колесо улучшенное.
3. Шестерня и колесо – закалка ТВЧ.
4. Шестерня и колесо – цементация
5. Шестерня и колесо – азотирование.

#### 3.1 Теоретическая часть

Общие сведения. Геометрия цилиндрических зубчатых передач. Силовой расчет цилиндрических зубчатых передач. Причины разрушения и критерии расчета зубчатых передач. Особенности расчета на изгиб косозубых и шевронных колес. Внешняя нагрузка и ее характеристика, Режимы работы зубчатой передачи. Материалы, термообработка и

допускаемые напряжения для зубчатых колес. [АРМBookглава 7.1Цилиндрические зубчатые передачи]

### Порядок выполнения

## 3.2 Расчет цилиндрических передач

Расчет передачи в программе АРМ Transпроводим в следующем порядке:

### 3.2.1 Выбрать тип передачи рис.3.1

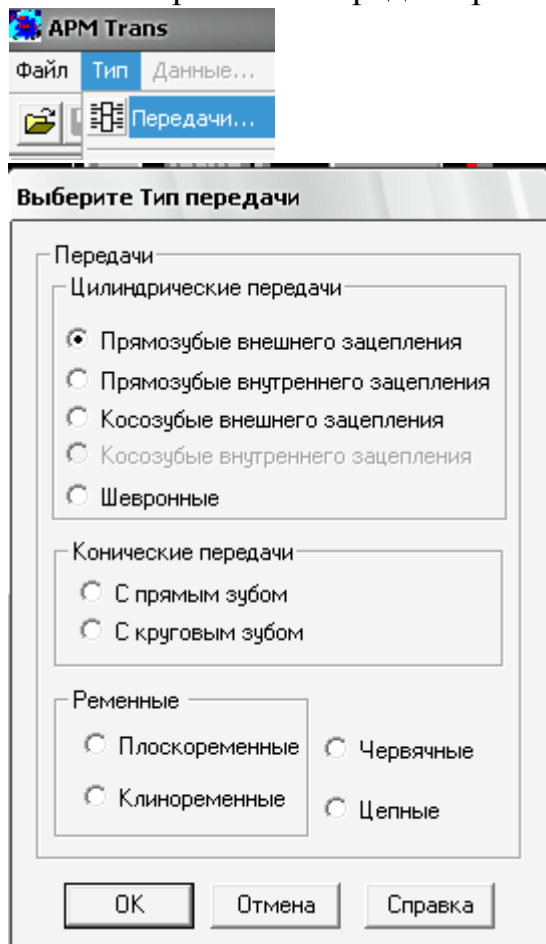


рис.3.1 Меню выбора типа передачи

### 3.2.2 Указать тип расчета – (проектировочный) рис.3.2.

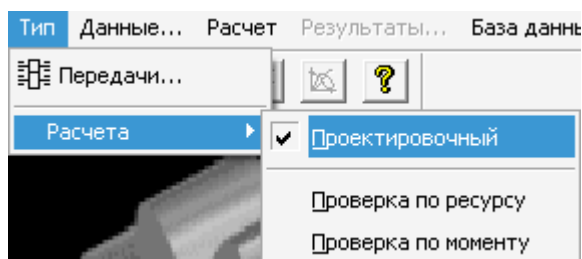


Рис.3.2 Вкладка для выбора типа расчета

### 3.2.3 Установить стандарт – ГОСТ (меню «База данных» / «Установить стандарт»)

### 3.2.4 Проверить установку параметров исходного контура (по умолчанию в меню «База данных» / «Исходный контур» установлен ГОСТ 13755-

81 –исходный контур зубчатых цилиндрических колёс эвольвентного зацепления) рис.3.3

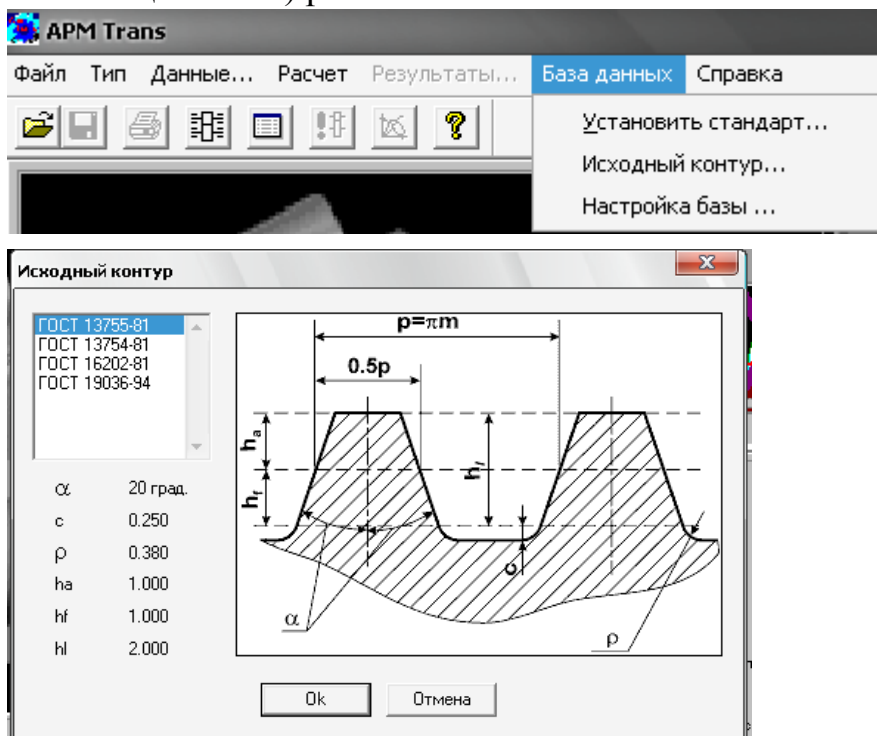


Рис.3.3 Меню для выбора ГОСТ и исходного контура

3.2.5 Задать исходные данные (см.табл.3.1) в полях ввода диалогового окна «Основные данные» и «Дополнительные данные»рис. 3.4.

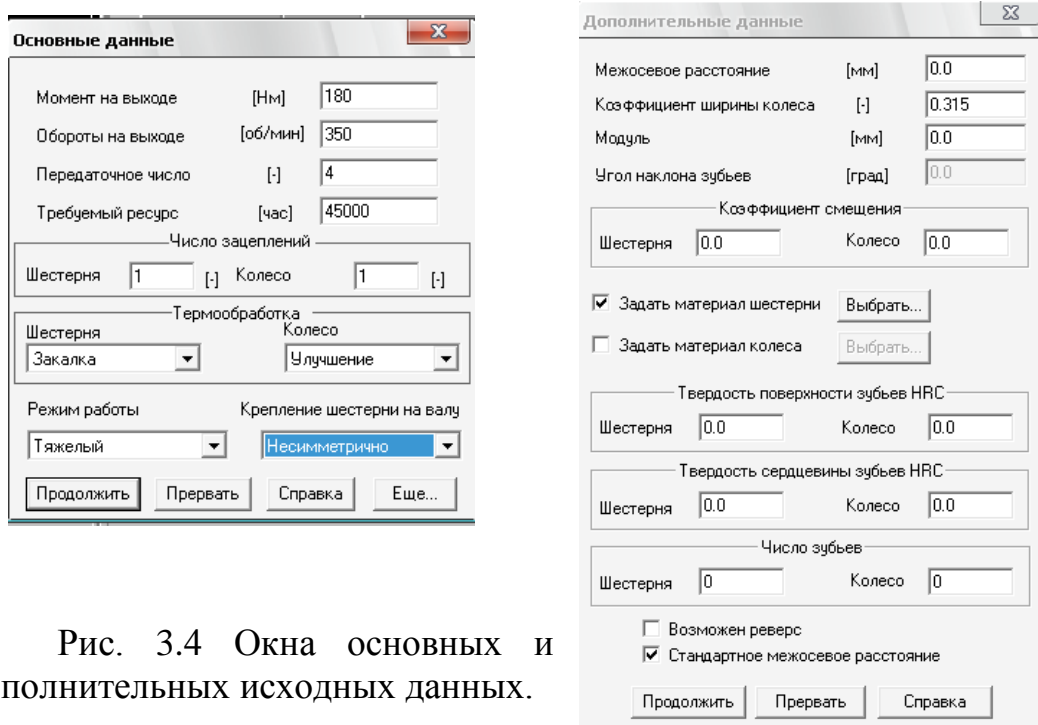


Рис. 3.4 Окна основных и дополнительных исходных данных.

Число зацеплений для обычной передачи равно 1.

Нажав в нижней части диалогового окна «Основные данные» кнопку «Ещё», можно ввести в соответствующие поля ввода открывающегося

диалогового окна «Дополнительные данные» необходимые значения рис.3.4.

В данном случае рекомендуется включить флажок «Стандартное межосевое расстояние», для того чтобы значение межосевого расстояния выбиралось из стандартного ряда, задать реверс если есть возможность работы передачи с обратным ходом.

ГОСТ 2185-66 межосевые расстояния для цилиндрических передач

1-й ряд: 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

2-й ряд: 71; 90; 112; 140; 180; 225; 280; 355; 460; 560; 710; 900; 1200.

Примечание: 1-й ряд следует предпочитать 2-му.

Допускается принимать межосевое расстояние по ряду нормальных линейных размеров Ra40 ГОСТ 6636-69.

Выдержка из ГОСТ 6636-69 ряд Ra40 40, 42, 45, 48, 50, 53, 56, 60, 63, 67, 71, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 240, 250, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450, 480, 500, 530, 560, 600, 630, 670, 710....

Можно задать материал шестерни и колеса или точное значение твёрдости поверхности зубьев – иначе для каждого вида термообработки программой будет принято по умолчанию среднее значение твёрдости Твёрдость задаётся в единицах HRC. Поэтому для незакалённых сталей нужно твёрдость HB перевести в HRC.

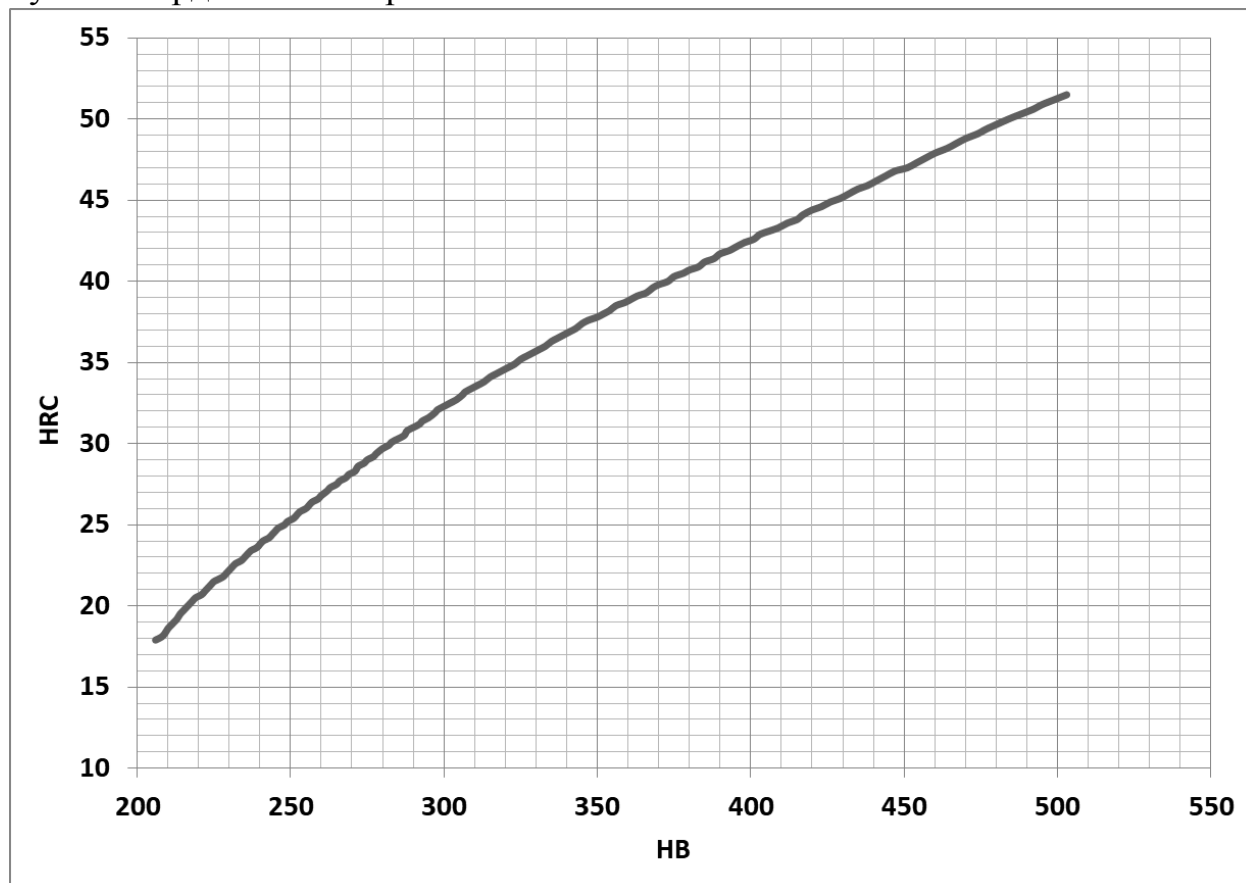


Рис. 3.5 Соотношение твёрдости металлов HB и HRC

Задать значение коэффициента ширины  $\psi_{ba}$  можно из ряда стандартных чисел: 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,315; 0,5; 0,5; 0,63 в зависимости от расположения колёс относительно опор:

при симметричном расположении  $0,315 - 0,5$ ;  
 при несимметричном  $0,25 - 0,4$ ;  
 при консольном расположении одного или обоих колёс  $0,2 - 0,25$ .

Для шевронных передач  $\psi_{ba} = 0,4 - 0,63$ ; для коробок передач  $\psi_{ba} = 0,1 - 0,2$ ;  
 для передач внутреннего зацепления  $\psi_{ba} = 0,2(u + 1)/(u - 1)$

Меньшие значения  $\psi_{ba}$  – для передач с твёрдостью зубьев  $H \geq 45$  HRC

В дополнительных данных можно задать модуль зуба из ряда:

$m = 1,5; (1,75); 2; (2,25); 2,5; (2,75); 3; (3,5); 4; (4,5); (5,5); 6; (7); 8; (9); 10; (11); 12; (14); 16; (18); 20; (22); 25; 28$ .

Значение модулей  $m < 1,5 \dots 2$  – для зубчатых передач использовать нежелательно.

При выборе чисел зубьев следует иметь в виду, что с уменьшением числа зубьев уменьшается толщина зуба у основания и у вершины, что приводит к понижению прочности на изгиб. Поэтому не рекомендуется выбирать число зубьев меньше, чем  $z_{min}, z_{min} = 17$  для прямозубых колес.

В редукторах рекомендуется число зубьев шестерни для первой ступени  $z_1 = 22 - 36$ , для второй и третьей ступеней  $z_1 = 18 - 26$

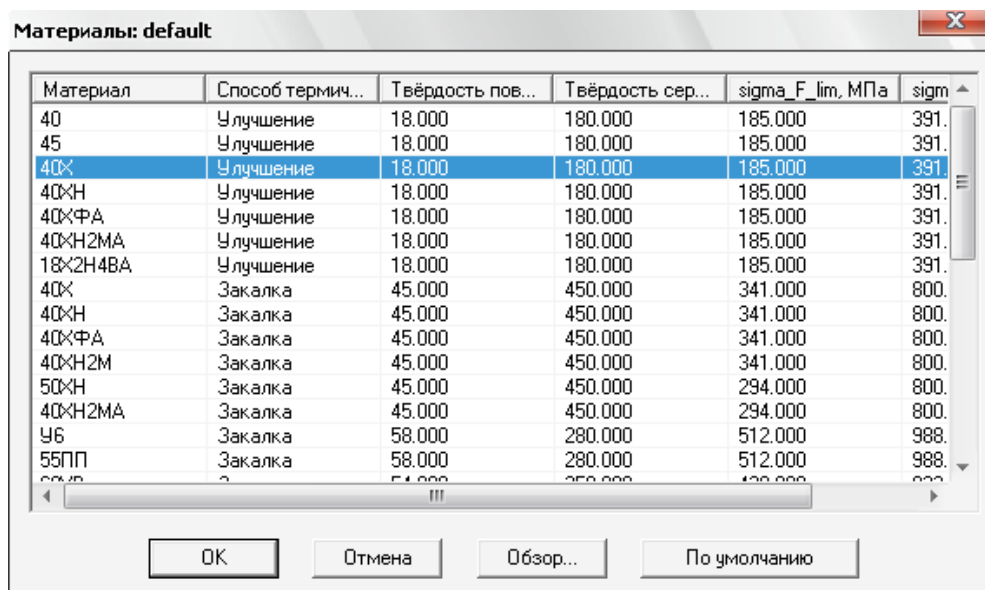
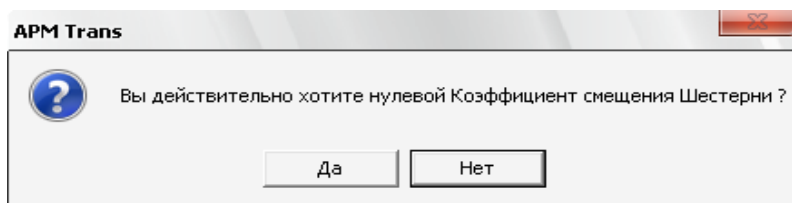


Рис. 3.6 Выбор материала колес из базы данных (БД)

После нажатия кнопки «Продолжить» программа выдаст запросы о том,



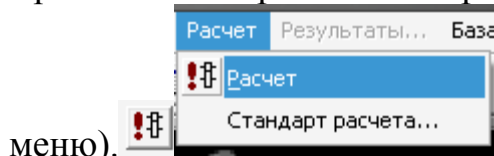
действительно ли коэффициент смещения шестерни и колеса должны иметь нулевые значения рис. 3.7,

Рис.3.7 Запрос

программы по коэффициентам смещения.

Возможны оба варианта ответов.

3.2.6 Произвести расчёт передачи (пункт «Расчёт» главного



меню).

Рис. 3.8 Запуск расчёта

3.2.7 Открыть диалоговое окно «Результаты» и отметить интересующие результаты расчёта.

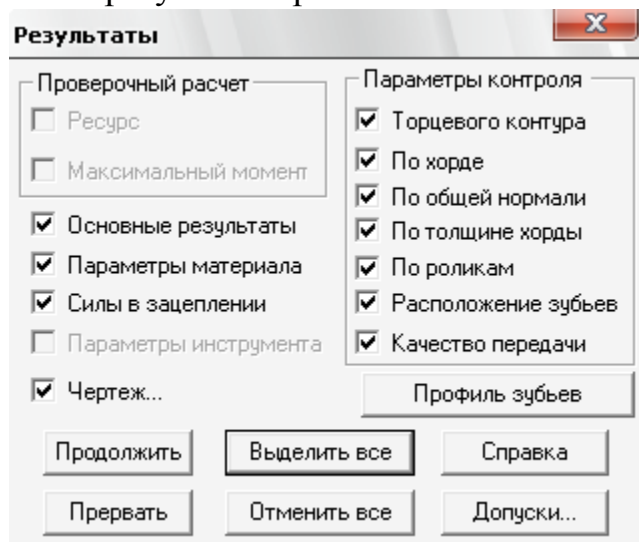


Рис. 3.8 Выбор результатов для просмотра



Рис. 3.9 Результаты расчёта основных размеров передачи

3.2.8 При просмотре результатов обратить внимание на величину модуля и число зубьев шестерни. Если они отличаются от рекомендуемых значений в п. 3.2.5 можно прервать просмотр и скорректировать дополнительные исходные данные. Для уменьшения числа зубьев шестерни необходимо увеличить модуль.



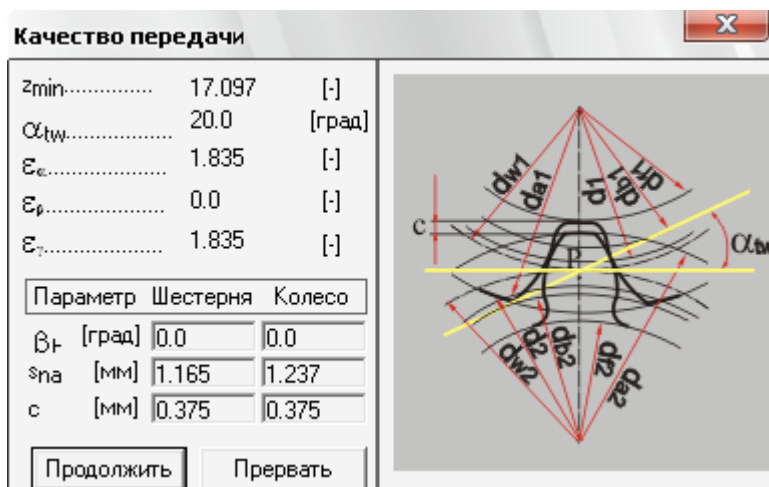
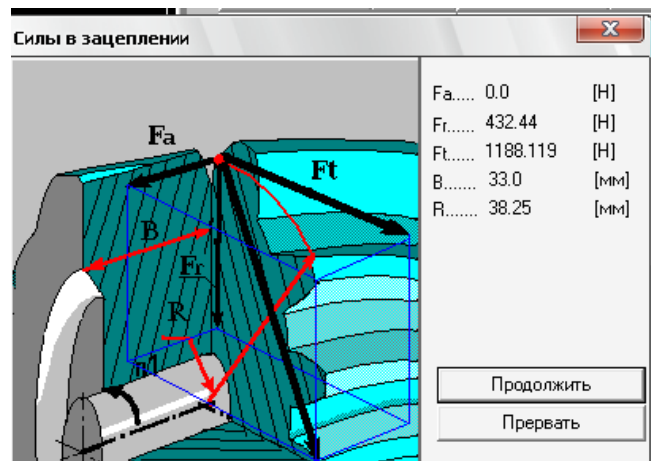
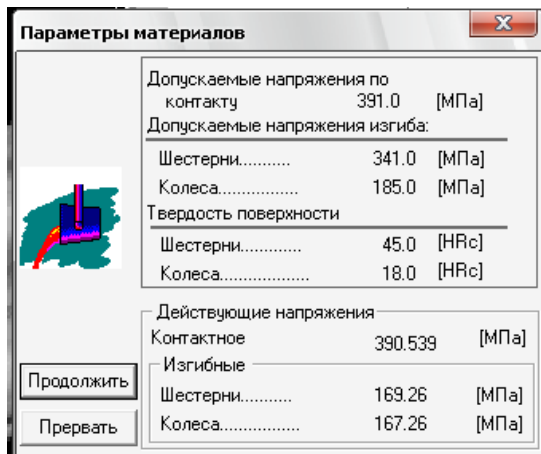
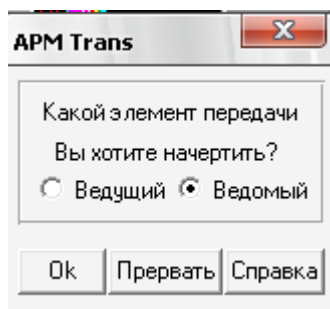


Рис. 3.10 Результаты расчёта напряжений, сил и других параметров передачи.

3.2.9. По результатам расчёта заполнить таблицы для прямозубой или косозубой передачи для вариантов термообработки 1 и 2.

3.2.10 Подготовить рабочий чертёж зубчатого колеса и сохранить в своей папке.



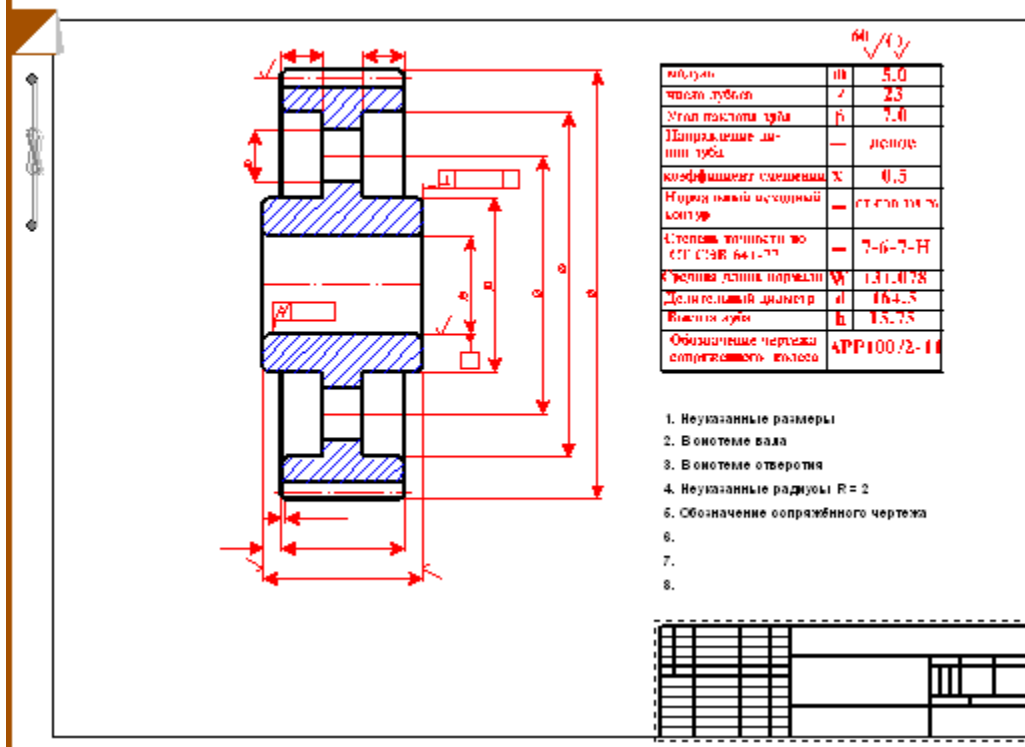
В диалоговом окне «Результаты» флажком отмечаем пункт «Чертёж...». После нажатия кнопки «Продолжить» выбираем, какой из элементов передачи (ведущий или ведомый) требуется начертить.

Рис. 3.11 Выбор колеса для изготовления чертежа.

В открывшемся при этом диалоговом окне «Черчение» необходимо сделать некоторые настройки

## Черчение

Данные Параметры Сохранить Закрыть



## Черчение

Данные Параметры Сохранить Закрыть

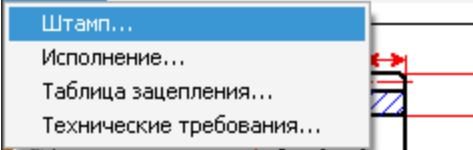


Рис. 3.12 Заполнение штампа.

3.2.11 Двойным щелчком левой кнопкой мыши в области штампа чертежа (или меню **Данные/Штамп...**) открываем диалоговое окно «**Заполнение штампа**», в полях ввода указать фамилии исполнителя и проверяющего, дату, а также выбрать масштаб чертежа, формат чертежа и т.п.

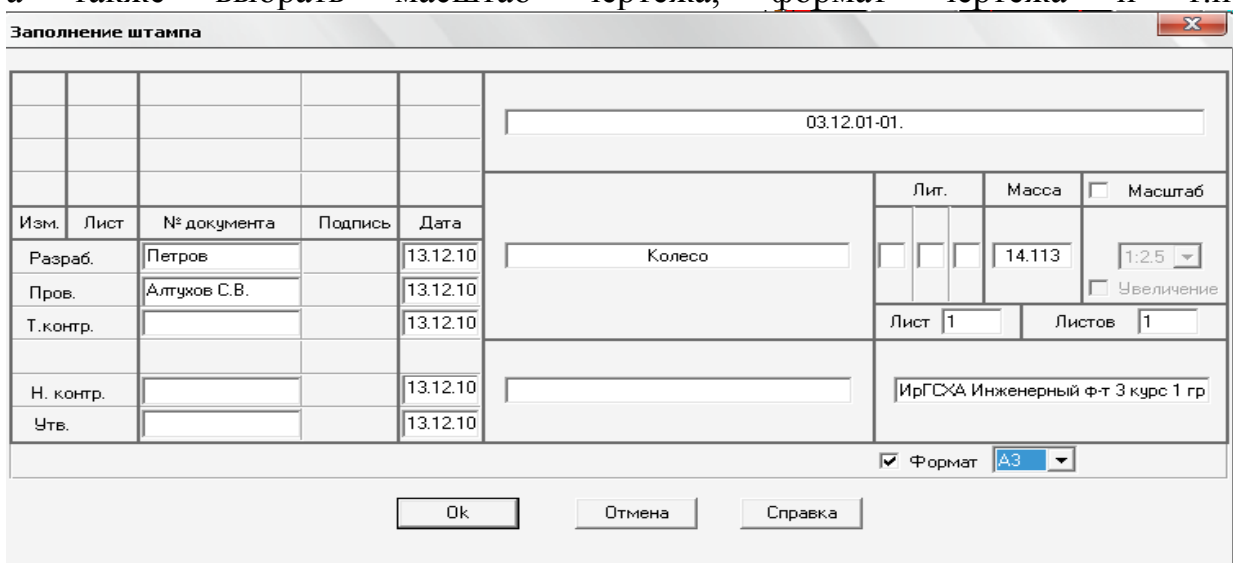


Рис. 3.13 Заполнение основной надписи.

3.2.12 Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области изображения колеса (или меню **Данные/Исполнение...**) вызывает открытие диалогового окна «**Выберите тип ступицы**». Тип ступицы зубчатого колеса выбираем щелчком на одной из трех кнопок этого окна «**Тип ступицы**»

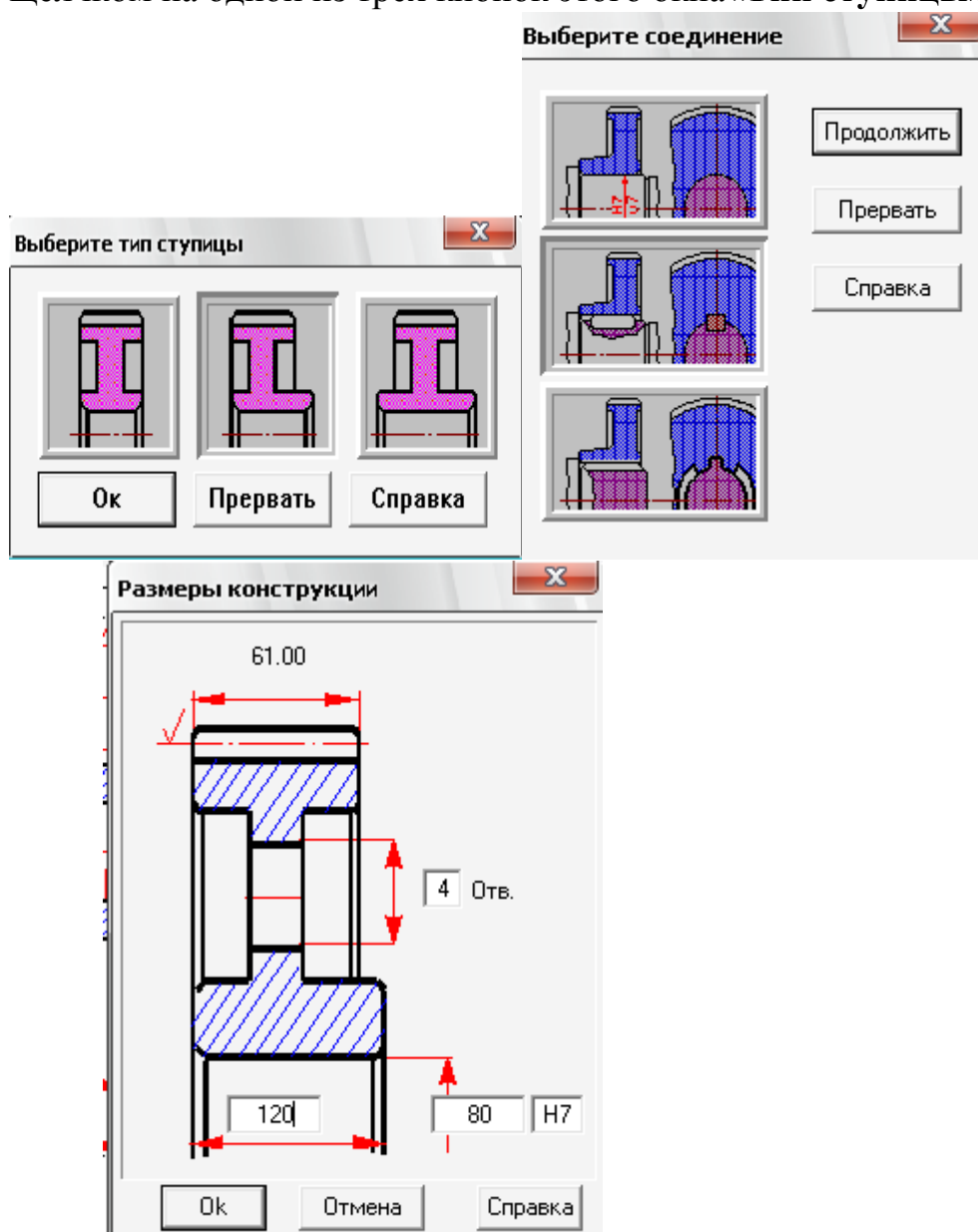


Рис. 3.14 Выбор типа соединения, размеров и конструкции.

**Рекомендации:** диаметр отверстия в ступице колеса  $d_o=(6...7) \sqrt[3]{T}$ ; длина ступицы  $l_{ст}=(1,0...1,8) d_o$ , число отверстий на диске 2, 3, 4, 6.

### 3.2.13 Задание параметров зацепления.

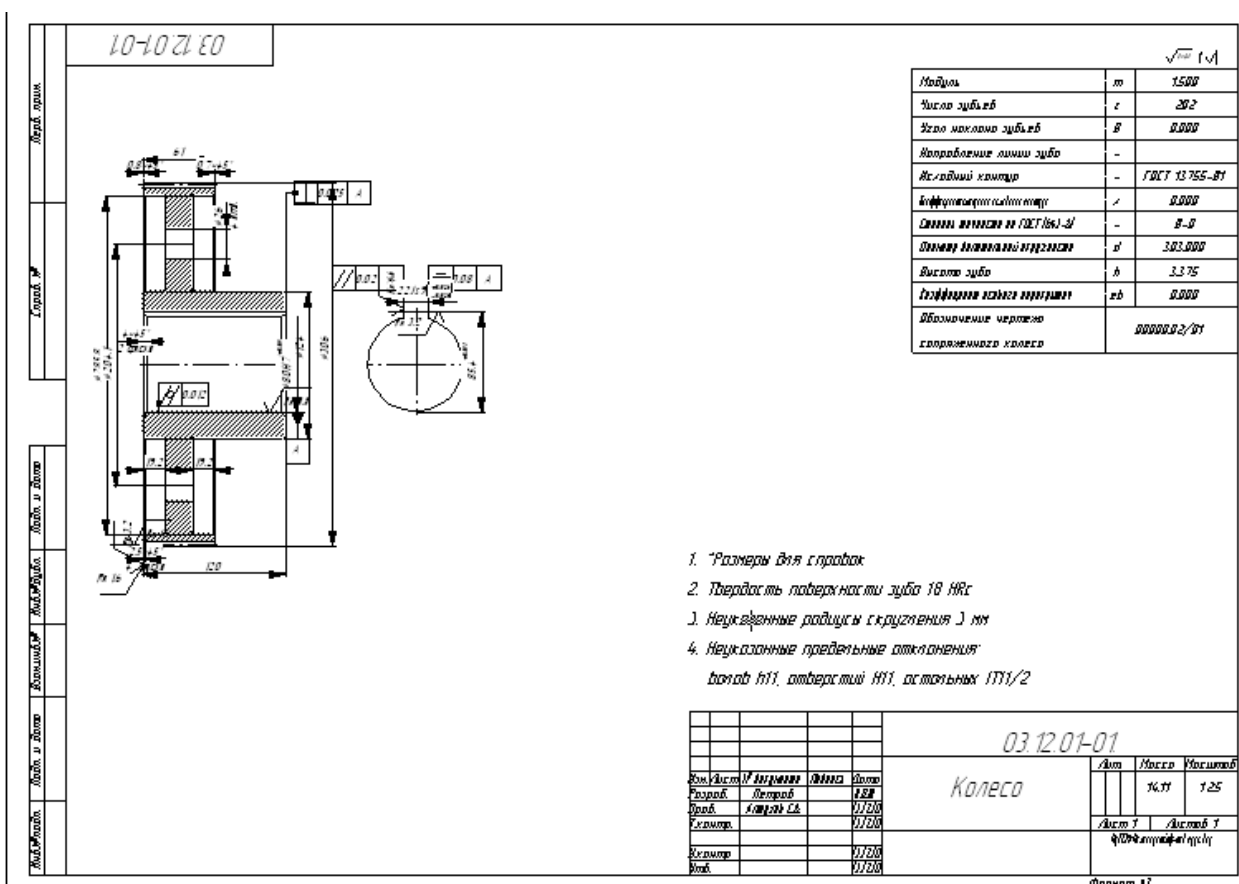
Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области таблицы параметров (меню **Данные/Таблица зацепления...**) вызывает открытие диалогового окна «**Таблица зацепления**». Пользователь может изменить значения параметров, записанные в полях с белым фоном. Нажатием кнопки «**Контр. Параметры**» можно добавить в таблицу соответствующие контрольные параметры колеса.

### 3.2.14 Задание технических требований.

Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области списка с техническими требованиями (или меню **Данные/Технические требования...**) вызывает открытие диалогового окна «**Технические требования**». Пользователь может изменить параметры, записанные в полях с белым фоном.

### 3.2.15 Сохранение чертежа.

Для завершения генерации чертежа необходимо в окне «**Черчение**» (меню **Сохранить...**) сохранить этот чертеж как файл с расширением **\*.agr**. После этого произойдет запуск плоского графического редактора **ARM Graph**, в окне которого и будет показан чертеж рассчитанного зубчатого колеса.



### 3.2.16 Сохранение результатов расчета и при необходимости вывод на печать.

Для вывода результатов расчета на печать нужно нажать в основном окне программы кнопку «**Печать**» (меню **Файл/Печать**) и в открывшемся диалоговом окне «**Выбор результатов для печати**» отметить флажками те результаты, которые требуется вывести на печать.

## Форма отчета

### Заданные параметры:

Передача: 1) прямозубая, ( косозубая)  
 Зацепление: внешнее (внутреннее)  
 Тип расчета: проектировочный (проверочный)

**Основные данные** таблица 3.2

		шестерня	колесо
Термообработка	1		
	2		
Число зацеплений		1	1
Расположение шестерни относительно опор			
Режим работы передачи			
Момент на ведомом колесе, $T_2$ Н·м			
Частота вращения ведомого колеса, $n_2$ мин <sup>-1</sup>			
Передаточное число, $i$			
Ресурс, срок службы передачи $L_H$ час			

**Дополнительные данные**(могут быть заданы) таблица 3.3

	Термообработка 1	Термообработка 2
Межосевое расстояние $a_w$ , мм		
Коэффициент ширины, $\psi_{ba}$		
Модуль $m$ , мм		
Угол наклона зубьев $\beta$ , град		
Коэффициент смещения $x_1, x_2$		
Твердость рабочих поверхностей $HRC_1, HRC_2$		
Число зубьев, $z_1, z_2$		
Реверс передачи (да, нет)		
Стандартное межосевое расстояние (да, нет)		

### Результаты расчета цилиндрической передачи

**Основная геометрия** таблица 3.4

Описание, символ, единицы	ТЕРМООБРАБОТКА 1		ТЕРМООБРАБОТКА 2	
	Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо
Термообработка				
Межосевое расстояние $a_w$ , мм				
Модуль $m$ , мм				
Угол наклона зубьев $\beta$ , град				
Делительный диаметр $d$ , мм				

Основной диаметр $d_b$ , мм				
Начальный диаметр $d_w$ , мм				
Диаметр вершин зубьев $d_a$ , мм				
Диаметр впадин $d_f$ , мм				
Коэффициент смещения $x$				
Высота зубьев $h$ , мм				
Ширина зубчатого венца $b$ , мм				
Число зубьев $z$				

**Свойства материалов таблица 3.5**

параметр	ТЕРМООБРАБОТКА 1		ТЕРМООБРАБОТКА 2	
	Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо
Допускаемые напряжения изгиба, $[\sigma_F]$ , МПа				
Действующие напряжения изгиба, $\sigma_F$ , МПа				
Твердость рабочих поверхностей, HRC				
Допускаемые контактные напряжения, $[\sigma_H]$ , МПа				
Расчетные контактные напряжения, $\sigma_H$ , МПа				

**Силы таблица 3.6**

Описание, символ, единицы	ТЕРМООБРАБОТКА 1		ТЕРМООБРАБОТКА 2	
	Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо
Тангенциальная сила $F_t$ , Н				
Радиальная сила $F_r$ , Н				
Осевая сила $F_a$ , Н				

**Параметры качества зацепления таблица 3.7**

Параметр		ТЕРМООБ- РАБОТКА 1	ТЕРМООБ- РАБОТКА 2
		1	2
Угол наклона линии вершин зубьев	$\beta_a$		
Минимальное число зубьев, нарезаемых без подреза	$z_{min}$		
Нормальная толщина зуба на поверхности вершин колеса -шестерни	$s_{na}$		
Радиальный зазор в зацеплении	$c$		
Коэффициент торцевого перекрытия	$\epsilon_\alpha$		
Коэффициент осевого перекрытия	$\epsilon_\beta$		
Коэффициент перекрытия	$\epsilon$		
Угол зацепления	$\alpha_{tw}$		

**Контрольные вопросы.**

1. Виды зубчатых передач.
2. Особенности и достоинства косозубых передач.
3. Как влияет твердость материалов зубчатых колес на габариты передачи.
4. Понятие модуль зуба. Модуль нормальный, окружной.
5. Понятие начальный и делительный диаметр зубчатых колес.
6. Виды разрушений зубьев и связь их с расчётами зубчатых передач.
7. Силы в зацеплении их величина и направление.
8. Понятие коррекция зубьев, коэффициент смещения.
9. Коэффициент перекрытия зубьев.
10. Как можно уменьшить величину действующих контактных напряжений при заданной нагрузке?

## 4. Проектирование конических зубчатых передач

### Лабораторная работа № 4

**Цель работы:** научиться проектировать конические передачи в APMTrans, оценивать полученные результаты, выполнять рабочий чертеж конического колеса.

**Задание:** Задание: рассчитать коническую передачу с прямыми и круговыми зубьями для двух вариантов термообработки, подготовить рабочий чертеж конического зубчатого колеса.

**Варианты исходных данных**

**Таблица 4.1**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$T_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	350	400	500	650	790	880	920	550	720	380	280	440	690	980
$n_2, \text{об/мин}$	380	518	300	400	240	160	190	260	210	380	300	520	380	350
$u$	2.5	2.8	3.15	2.24	4	4.5	2.5	2.8	4.5	4	3.15	2.8	2.5	4
Ресурс, тыс. час	15	18	20	25	30	25	20	15	20	25	30	35	40	45
Термооб- работка 1*	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Термооб- работка 2*	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4
Режим работы	Тяж.	Сред.	Легк.	Пос- тоян	Тяж.	Сред.	Легк.	Пос- тоян	Тяж.	Тяж.	Сред.	Легк.	Пос- тоян	Тяж.

**\* - Варианты термообработки зубчатых колес:**

1. Оба колеса из улучшенной стали.
2. Шестерня – закалка ТВЧ, колесо улучшенное.
3. Шестерня и колесо – закалка ТВЧ.
4. Шестерня и колесо – цементация
5. Шестерня и колесо – азотирование.

**Примечание:** при вводе исходных данных самостоятельно выбрать вид подшипников и возможность реверса, для передачи с круговыми зубьями выбрать осевую форму зубьев. Из базы данных установить исходный контур;



для прямозубых по ГОСТ 13754-81, для передач с круговыми зубьями по ГОСТ 16202-81.

#### 4.1 Теоретическая часть

Изучить следующие вопросы: Общие сведения. Геометрия конических зубчатых передач. Силовой расчет конических зубчатых передач. Причины разрушения и критерии расчета зубчатых передач. Внешняя нагрузка и ее характеристика, Режимы работы зубчатой передачи. Материалы, термообработка и допускаемые напряжения для зубчатых колес. [АРМBookглава 7.1Цилиндрические зубчатые передачи; глава 7.2Передачи коническими зубчатыми колесами]

### Порядок выполнения

#### 1. Расчет конических передач

##### 1.1 Расчет конической передачи с прямыми зубьями

Расчет передачи в программе АРМ Trans следует проводить следующим образом:

1. Выбрать **тип передачи** – коническая с прямым зубом рис.1а.

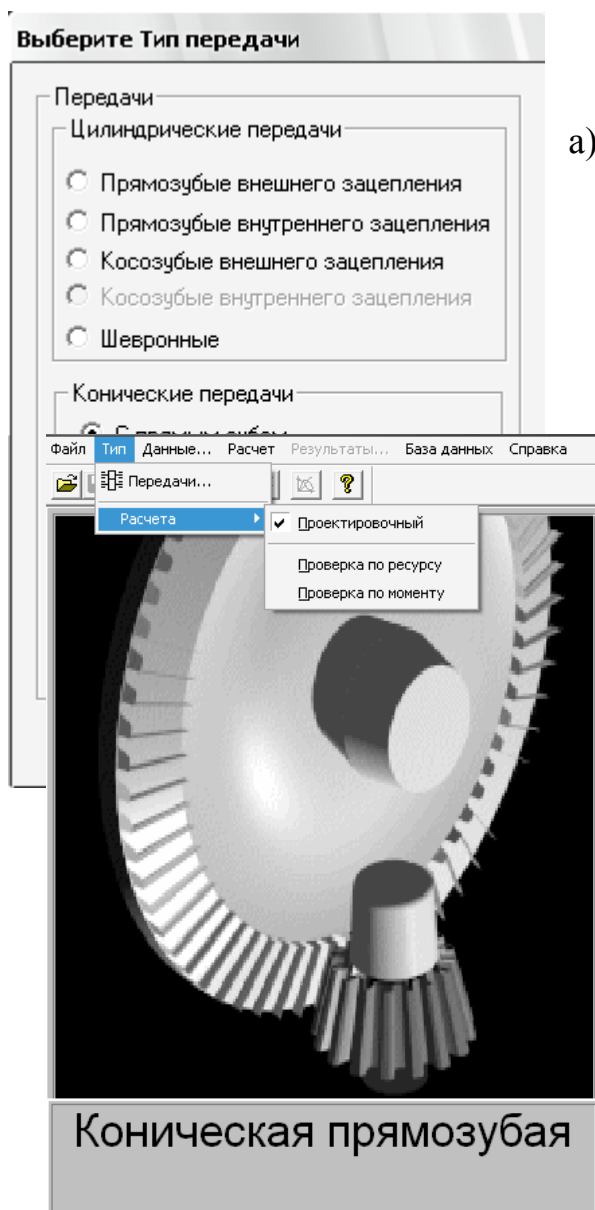


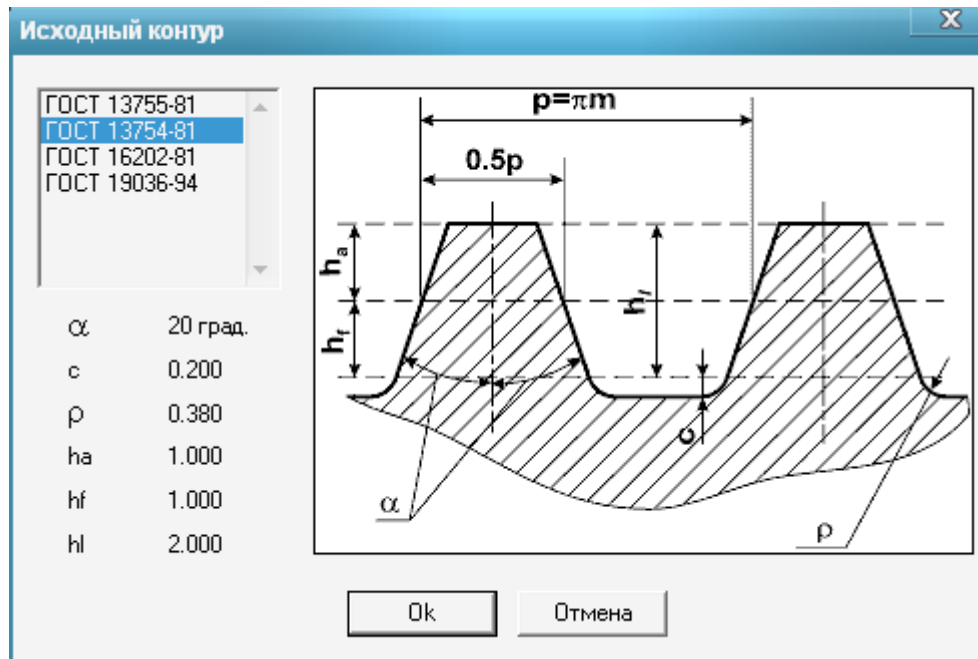
Рис. 1

а) Меню выбора типа передачи

б) Вкладка для выбора типа расчета

б)

2. Указать тип расчета – проектировочный рис.1б.
3. Установить стандарт – ГОСТ (меню «База данных» / «Установить стандарт»), проверить исходный контур рис.3.



4. Задать основные исходные данные в полях ввода диалогового окна «Основные данные», (см. табл.2.1)

Рис. 4 Окна основных и дополнительных данных.

5. Нажав в нижней части диалогового окна «**Основные данные**» кнопку «**Ещё**», ввести в соответствующие поля ввода открывающегося диалогового окна «**Дополнительные данные**».

Для корректного проведения расчета необходимо указать точное значение твердости поверхности зубьев (см. П7 Лабораторная работа 1).

После нажатия кнопки «**Продолжить**» программа выдаст запросы о том, действительно ли коэффициент смещения шестерни  $x_1$  и коэффициент изменения толщины зуба  $x_\tau$  должны иметь нулевые значения. Следует

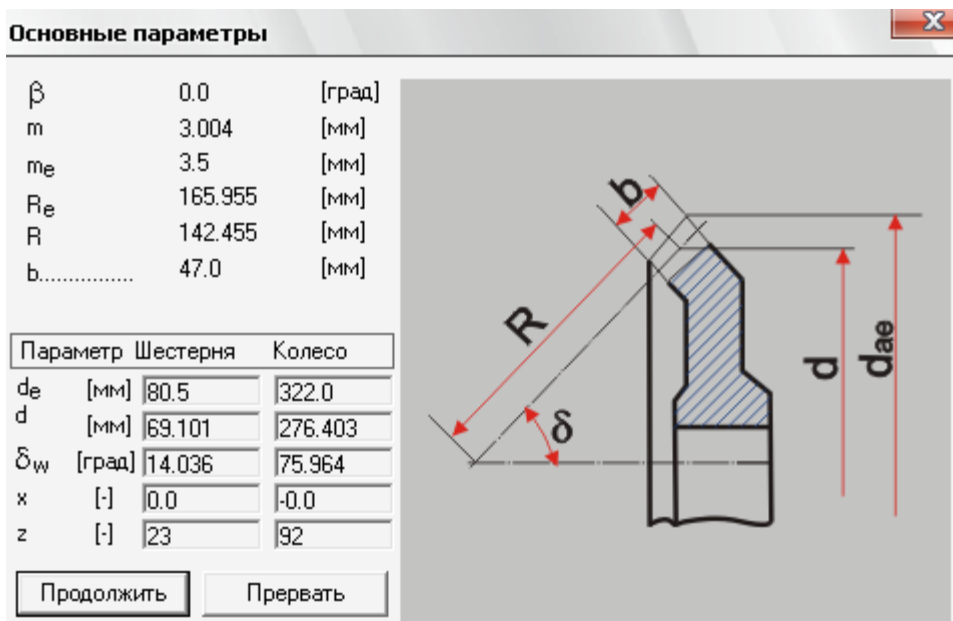
ответить «Да», так как коэффициент изменения толщины зуба при проведении расчета не учитывался, т.е. было принято  $x_{\tau} = 0$ .

6. Произвести расчет передачи (пункт «Расчет» главного меню).


7. Открыть диалоговое окно «Результаты» и отметить флажками интересующие результаты расчета.



Нажав «Продолжить» просмотрим результат, оценим их. При необходимости прервем просмотр, уточним исходные данные и повторим расчет.



### Параметры материалов



Допускаемые напряжения по контакту 554.545 [МПа]

Допускаемые напряжения изгиба:

Шестерни.....	352.941 [МПа]
Колеса.....	285.882 [МПа]

Твердость поверхности

Шестерни.....	50.0 [HRC]
Колеса.....	27.0 [HRC]

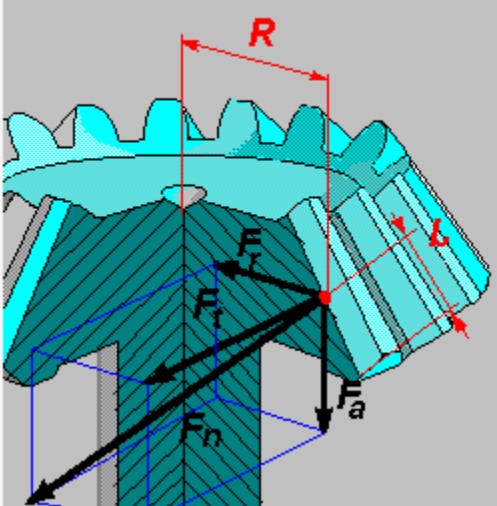
Действующие напряжения

Контактное	552.09 [МПа]
Изгибные	
Шестерни.....	144.89 [МПа]
Колеса.....	133.021 [МПа]

Продолжить

Прервать

### Силы в зацеплении



Ft.... 2026.025 [Н]  
L..... 23.5 [мм]  
R..... 34.55 [мм]

	Шестерня	Колесо
Fa	178.863	715.454
Fr	715.454	178.863

Продолжить

Прервать

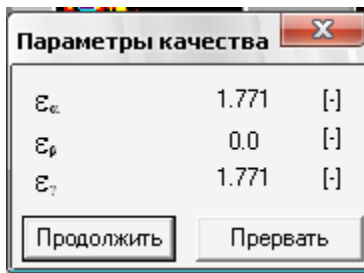
### Основные геометрические параметры

Параметры	Шестерня	Колесо
d <sub>ae</sub> [мм]	87.291	323.698
h <sub>ae</sub> [мм]	3.5	3.5
h <sub>fe</sub> [мм]	4.2	4.2
h <sub>e</sub> [мм]	7.7	7.7
s <sub>e</sub> [мм]	5.498	5.498
⊙ <sub>a</sub> [град]	1.45	1.45
⊙ <sub>f</sub> [град]	1.45	1.45
δ <sub>a</sub> [град]	15.486	77.413
δ <sub>f</sub> [град]	12.587	74.514
B [мм]	160.151	36.854
x <sub>т</sub> [-]	0.0	-0.0



Продолжить

Прервать



## 1.2 Расчет конической передачи с круговыми зубьями

Расчет передачи в программе ARM Trans следует проводить следующим образом:



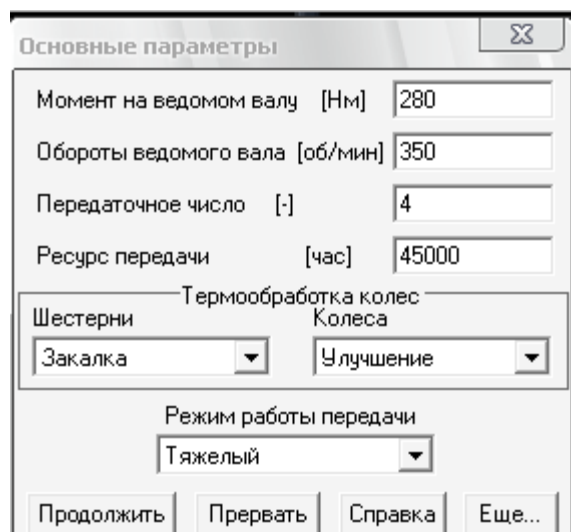
1. Выбрать тип передачи – коническая с круговыми зубьями.

2. Указать тип расчета – проектировочный.

3. Установить стандарт – ГОСТ (меню «База данных» / «Установить стандарт»).

4. Задать основные исходные данные в полях ввода диалогового окна «Основные данные». (см. табл.2.1)

Рис.



5. Нажав в нижней части диалогового окна «Основные данные» кнопку «Ещё», ввести в соответствующие поля ввода открывающегося диалогового окна «Дополнительные данные».

**Дополнительные параметры** [X]

Угол наклона зуба [град] 0.0

Ширина шестерни [мм] 0.0

Внешний модуль [мм] 0.0

Задать материал шестерни  40X

Задать материал колеса  40X

Твердость поверхности зуба HRC

Шестерня 0.0 Колесо 0.0

Твердость сердцевины зуба HRC

Шестерня 0.0 Колесо 0.0

Тип опоры вала шестерни  
Роликподшипник

Возможен реверс

Коэффициент смещения шестерни 0.0

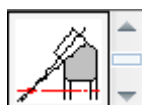
Коэффициент изменения толщины зубьев шестерни 0.0

Параметры инструмента

Диаметр зуборезной головки, мм 0.0

Развод резцов зуборезной головки 0.0

1. Выбрать осевую форму зуба.



при  $z_{\Sigma} = \sqrt{z_1^2 + z_2^2} = 20 \dots 100$ ,  $m = 2 \dots 2,5$ ;



при массовом или крупносерийном изготовлении;



при  $z_{\Sigma} = \sqrt{z_1^2 + z_2^2} \geq 40$ ,  $Re = 75 \dots 750$

3. Тип опоры вала шестерни.

Тип опоры вала шестерни

Шарикоподшипник

Не выбран

Шарикоподшипник

Роликподшипник

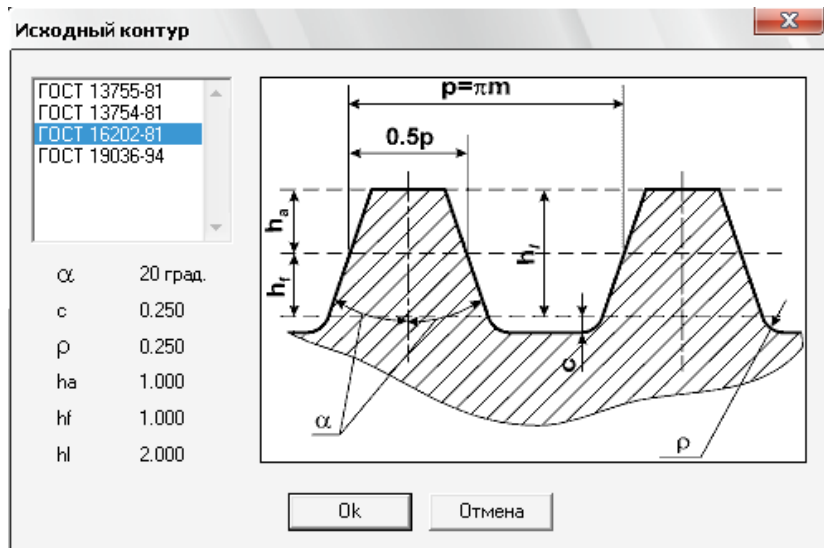
3. Возможность реверса (да, нет).

4. Для корректного проведения расчета необходимо указать точное значение твердости поверхности зубьев, использованное при расчете.

После нажатия кнопки «**Продолжить**» программа выдаст запросы о том, действительно ли коэффициент смещения шестерни  $x_1$  и коэффициент изменения толщины зуба  $x_r$  должны иметь нулевые значения.

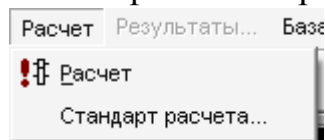
Рекомендуется на первый вопрос ответить «**Нет**» (это способствует повышению сопротивляемости заеданию, если  $x_1 > 0$ ) на второй ответить «**Да**», так как коэффициент изменения толщины зуба при проведении расчета не учитывался, т.е. было принято  $x_r = 0$ .

6. Проверить установку параметров исходного контура (по умолчанию в

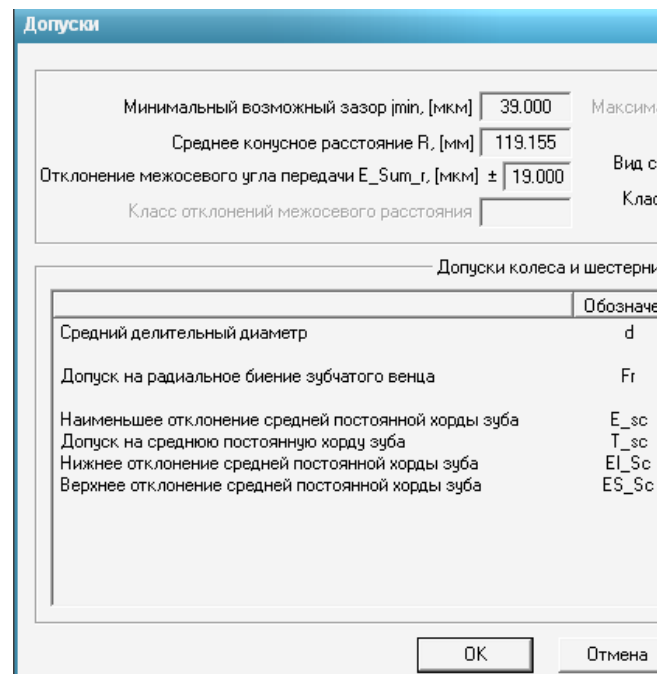


меню «База данных» / «Исходный контур» установлен ГОСТ 16202-81 – исходный контур зубчатых конических колес с круговыми зубьями).

7. Произвести расчет передачи (пункт «Расчет» главного меню).



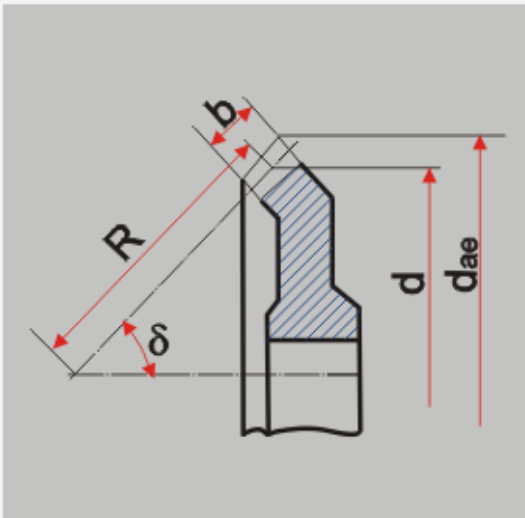
8. Открыть диалоговое окно «Результаты» и отметить флажками интересующие результаты расчета.





### Основные параметры

$\beta$	35.0	[град]
$m_n$	2.813	[мм]
$m_e$	4.0	[мм]
$R_e$	123.693	[мм]
$R$	106.193	[мм]
$b$ .....	35.0	[мм]



Параметр	Шестерня	Колесо
$d_e$ [мм]	60.0	240.0
$d$ [мм]	51.511	206.045
$\delta_w$ [град]	14.036	75.964
$x_n$ [-]	0.0	-0.0
$z$ [-]	15	60

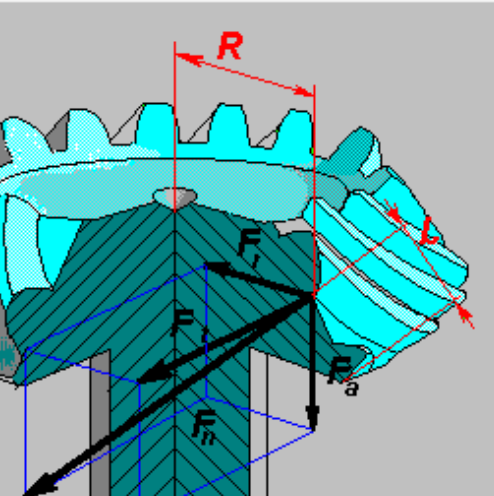
Продолжить    Прервать

### Параметры материалов

Допускаемые напряжения по контакту		643.295 [МПа]
Допускаемые напряжения изгиба:		
Шестерни.....	352.941 [МПа]	
Колеса.....	285.882 [МПа]	
Твердость поверхности		
Шестерни.....	50.0 [HRc]	
Колеса.....	27.0 [HRc]	
Действующие напряжения		
Контактное	576.798 [МПа]	
Изгибные		
Шестерни.....	146.592 [МПа]	
Колеса.....	138.492 [МПа]	

Продолжить    Прервать

### Силы в зацеплении



$F_t$ .....	2717.853 [Н]
$L$ .....	17.5 [мм]
$R$ .....	25.756 [мм]

Направление линии зуба

	Правое	Левое
$F_a$	2138.367	-1553.019
$F_r$	709.274	1632.12

Продолжить    Прервать

Обратите внимание: если осевая сила  $F_a < 0$ , то соответствующее направление наклона зубьев не рекомендуется для использования.

**Основные геометрические параметры**

Параметры Шестерня		Колесо
$d_{ae}$	[мм]	66.582
$h_{ae}$	[мм]	3.393
$h_{fe}$	[мм]	4.096
$h_e$	[мм]	7.488
$s_n$	[мм]	4.36
$\Theta_a$	[град]	1.896
$\Theta_f$	[град]	1.896
$\delta_a$	[град]	15.933
$\delta_f$	[град]	77.86
$B$	[мм]	119.177

Продолжить      Прервать

**Параметры качества**

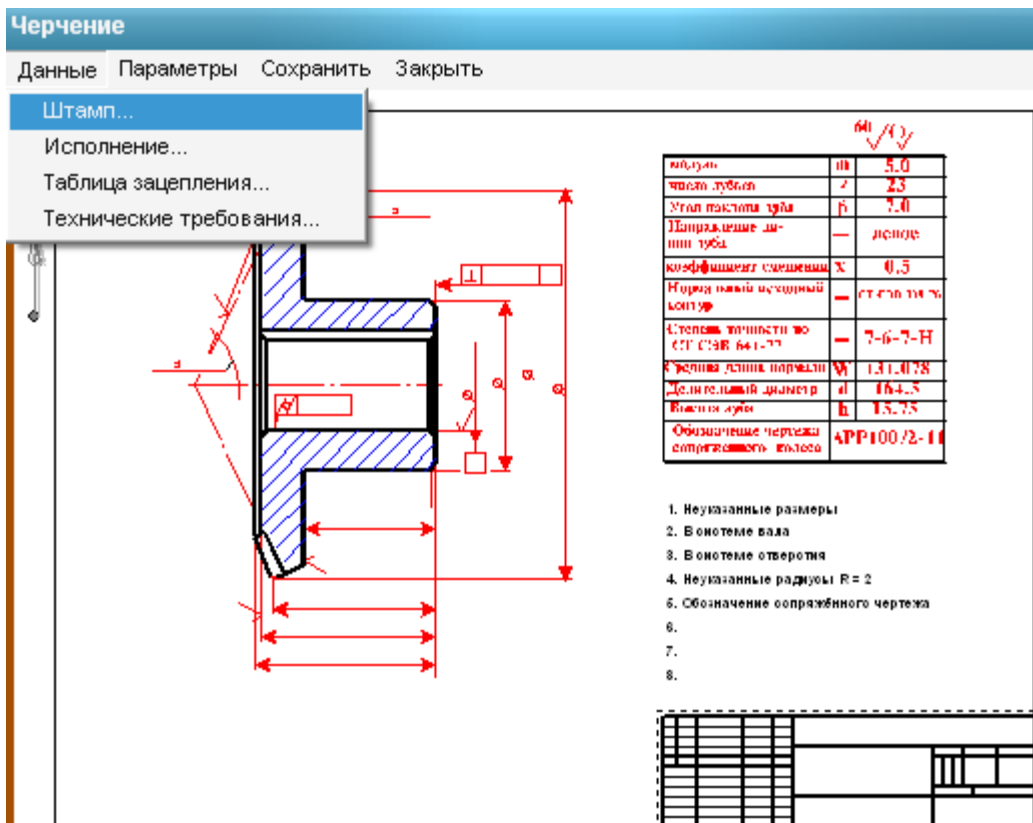
$\epsilon_\alpha$	1.49	[-]
$\epsilon_\beta$	2.272	[-]
$\epsilon_\gamma$	3.761	[-]

Продолжить      Прервать

2. По результатам расчета заполнить таблицы для конической прямозубой передачи и для конической передачи с круговыми зубьями (для вариантов термообработки 1 и 2).

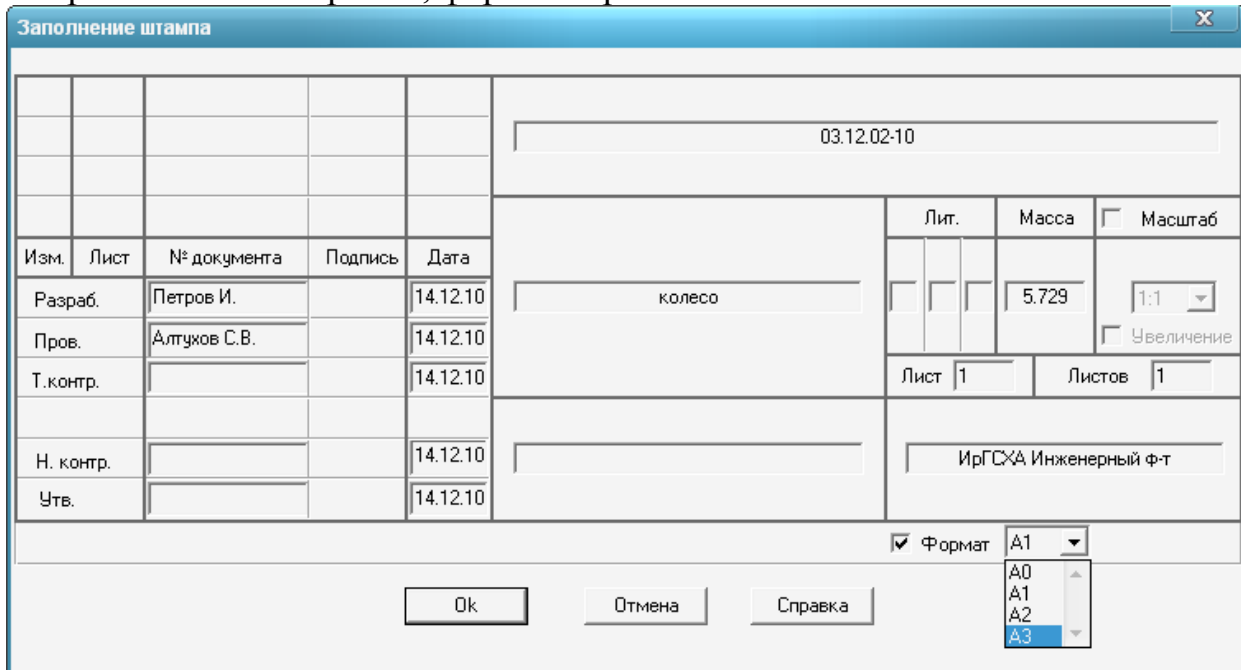
3. Сравнить результаты расчета, сделать выводы.

4. Подготовить и сохранить чертеж конического колеса, выбирая вкладки: «Чертеж» - «Данные»- «Штамп» - «Исполнение»- «Тип ступицы» - «Соединение»- «Размеры конструкции».

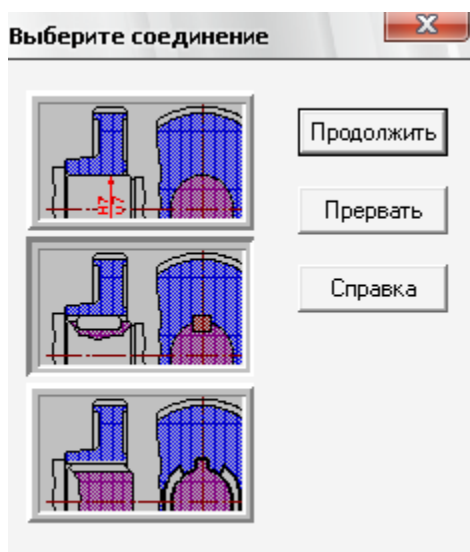


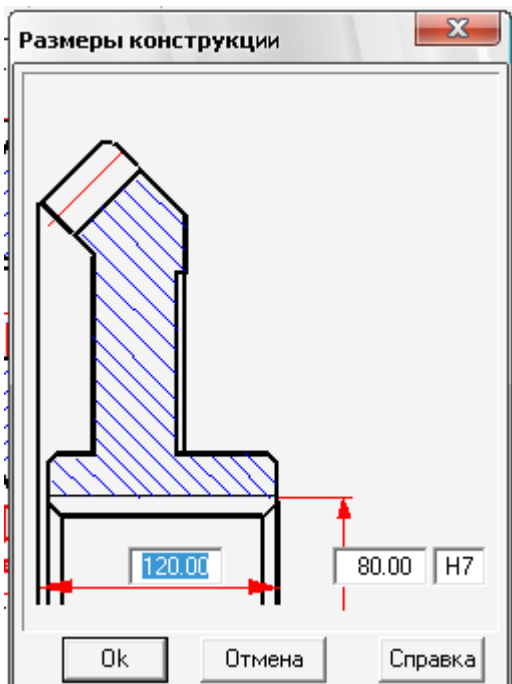
## 1. Заполнение штампа.

Двойным щелчком левой кнопкой мыши в области штампа чертежа (меню **Данные/Штамп...**) открываем диалоговое окно «**Заполнение штампа**», в полях ввода которого можно указать фамилии исполнителей и дату, а также выбрать масштаб чертежа, формат чертежа и т.п. -



2. При этом конструируя колесо самостоятельно выбрать исполнение, тип ступицы, вид соединения и размеры отдельных элементов.





**Рекомендации:** диаметр отверстия в ступице колеса  $d_{\text{вал}} = (6 \dots 7) \sqrt[3]{T_2}$ ; длина ступицы  $l_{\text{ст}} = (0,8 \dots 1,5) d_{\text{вал}}$

### 3. Задание параметров зацепления.

Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области таблицы параметров (меню **Данные/Таблица зацепления...**) вызывает открытие диалогового окна «**Таблица зацепления**». Пользователь может изменить значения параметров, записанные в полях с белым фоном. Нажатием кнопки «**Контр. Параметры**» можно добавить в таблицу соответствующие контрольные параметры колеса.

модуль	m	5.0
число зубьев	z	23
Угол наклона зуба	$\beta$	35.0
Тип профиля дуги зуба		договор
коэффициент смещения	$x$	0.5
Нормальный исходный контур		ГОСТ 16202-8
Степень точности по СТ СЭВ 186-75		7-6-7-Н
Угловая длина парцила	$\delta$	131.078
Средний делительный диаметр	$d$	116.5
Высота зуба	$h$	15.75
Обозначение передачи сопряженного колеса		APP100/2-11

1. Неуказанные размеры
2. В системе вала
3. В системе отверстия
4. Неуказанные радиусы R = 2
5. Обозначение сопряженного чертежа
- 6.
- 7.
- 8.

### Коническая передача

Внешний окружной модуль	$m_e$	4.500
Число зубьев	$z$	60
Тип зуба		Круговой
Средний угол наклона	$\beta_n$	35.000
Направление линии зуба		Левое
Исходный контур		ГОСТ 16202-8
Кoeffициент смещения	$x_n$	-0.000
Кoeffициент изменения толщины зуба	$x_t$	-0.000
Угол делительного конуса	$\delta$	75.964
Степень точности по СТ СЭВ 186-75		8-D
Средняя постоянная хорда зуба	$s_c$	4.454
Высота до постоянной хорды зуба	$h_c$	2.346
Обозначение сопр. чертежа		00000.02/01

Черчение
Данные
Параметры
Сохранить
Закрыть

модуль	m	5.0
число зубьев	z	23
Угол наклона зуба	$\beta$	35.0
Тип профиля дуги зуба		договор
коэффициент смещения	$x$	0.5
Нормальный исходный контур		ГОСТ 16202-8
Степень точности по СТ СЭВ 186-75		7-6-7-Н
Угловая длина парцила	$\delta$	131.078
Средний делительный диаметр	$d$	116.5
Высота зуба	$h$	15.75
Обозначение передачи сопряженного колеса		APP100/2-11

1. Неуказанные размеры
2. В системе вала
3. В системе отверстия
4. Неуказанные радиусы R = 2
5. Обозначение сопряженного чертежа
- 6.
- 7.
- 8.

### Коническая передача

Внешний окружной модуль	$m_e$	4.500
Число зубьев	$z$	60
Тип зуба		Круговой
Средний угол наклона	$\beta_n$	35.000
Направление линии зуба		Левое
Исходный контур		ГОСТ 16202-8
Кoeffициент смещения	$x_n$	-0.000
Кoeffициент изменения толщины зуба	$x_t$	-0.000
Угол делительного конуса	$\delta$	75.964
Степень точности по СТ СЭВ 186-75		8-D
Средняя постоянная хорда зуба	$s_c$	4.454
Высота до постоянной хорды зуба	$h_c$	2.346
Обозначение сопр. чертежа		00000.02/01

### Коническая передача - Дополнительно

<input type="checkbox"/>	Средний делит. диаметр	$d$	231.194
<input type="checkbox"/>	Межосевой угол передачи	$\Sigma$	90
<input type="checkbox"/>	Средний нормальный модуль	$m_n$	3.156
<input type="checkbox"/>	Внешнее конусное расстояние	$R_e$	139.155
<input type="checkbox"/>	Среднее конусное расстояние	$R$	119.155
<input type="checkbox"/>	Угол конуса впадин	$\delta_f$	74.067
<input type="checkbox"/>	Внешняя высота зуба	$h_e$	8.426
<input type="checkbox"/>	Кoeffициент осевого перекрытия	$\epsilon_d$	2.314

Коническая передача - Дополнительно		
<input type="checkbox"/>	Средний делит. диаметр	d 231.194
<input type="checkbox"/>	Межосевой угол передачи	$\Sigma$ 90
<input type="checkbox"/>	Средний нормальный модуль	$m_n$ 3.156
<input type="checkbox"/>	Внешнее конусное расстояние	$R_e$ 139.155
<input type="checkbox"/>	Среднее конусное расстояние	R 119.155
<input type="checkbox"/>	Угол конуса впадин	$\delta_f$ 74.067
<input type="checkbox"/>	Внешняя высота зуба	$h_e$ 8.426
<input type="checkbox"/>	Коэффициент осевого перекрытия	$\epsilon_\beta$ 2.314

OK Отмена

#### 4. Задание технических требований.

Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области списка с техническими требованиями (меню **Данные/Технические требования...**) вызывает открытие диалогового окна **«Технические требования»**. Пользователь может изменить параметры, записанные в полях с белым фоном.

Технические требования	
1. *Размеры для справок	
2. Твердость поверхности зуба	18.00 HRc
3. Радиусы скругления R =	3.00 мм.
4. Неуказанные предельные отклонения:	
Валов	h11
Отверстий:	H11
Остальных:	IT11/2

OK Отмена

#### 5. Сохранение чертежа.

Для завершения генерации чертежа необходимо в окне **«Черчение»** (меню **Сохранить...**) сохранить этот чертеж как файл с расширением **\*.agr**. После этого произойдет запуск плоского графического редактора **АРМ Graph**, в окне которого и будет показан чертеж рассчитанного зубчатого колеса.





## 2. Результаты расчета конической прямозубой передачи в APM Trans

Описание	Символ единицы	1 вариант т.о		2 вариант т.о	
		Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо
Число зубьев	$z$				
Внешний делительный диаметр	$d_e$ , мм				
Угол делительного конуса	$\delta$				
Внешний окружной модуль	$m_e$ , мм				
Внешнее конусное расстояние	$R_e$ , мм				
Ширина зубчатого венца	$b$ , мм				
Допускаемые напряжения изгиба	$[\sigma_F]$ , МПа				
Допускаемые контактные напряжения	$[\sigma_H]$ , МПа				
Твердость рабочих поверхностей	-, HRC				
Действующие напряжения изгиба	$\sigma_F$ , МПа				
Действующие контактные напряжения	$\sigma_H$ , МПа				
Тангенциальная сила	$F_t$ , Н				
Радиальная сила	$F_r$ , Н				
Осевая сила	$F_a$ , Н				

## 3. Заданные параметры расчета конической передачи с круговыми зубьями в APM Trans

Передача:  
Тип расчета:

*Коническая с круговыми зубьями  
проектировочный*

## Основные данные

Стандарт	ГОСТ	
Исходный контур	ГОСТ 16202-81	
Рабочий режим передачи		
Термообработка колес	1	2
Шестерня		
Колесо		
Тип опоры вала шестерни		
Возможен реверс (да/нет)		
Момент вращения на ведомом валу $T_2$ , Нм		
Частота вращения ведомого вала $n_2$ , мин <sup>-1</sup>		
Передаточное число $u$		
Ресурс $L_h$ , час		

### 4. Результаты расчета конической передачи с круговыми зубьями в АРМ Trans

Описание	Символ единицы	1 вариант т.о		2 вариант т.о	
		Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо
Число зубьев	$z$				
Внешний делительный диаметр	$d_e$ , мм				
Угол делительного конуса	$\delta$				
Внешний окружной модуль	$m_e$ , мм				
Внешнее конусное расстояние	$R_e$ , мм				
Ширина зубчатого венца	$b$ , мм				
Допускаемые напряжения изгиба	$[\sigma_F]$ , МПа				
Допускаемые контактные напряжения	$[\sigma_H]$ , МПа				
Твердость рабочих поверхностей	-, HRC				
Действующие напряжения изгиба	$\sigma_F$ , МПа				
Действующие контактные напряжения	$\sigma_H$ , МПа				
Тангенциальная сила	$F_t$ , Н				
Радиальная сила	$F_r$ , Н				
Осевая сила	$F_a$ , Н				

### 5. Сравнить результаты расчета, сделать выводы.

## **6. Подготовить и сохранить чертеж конического колеса**

## **7. Ответить на контрольные вопросы.**

### **Контрольные вопросы:**

1. Достоинства и недостатки конических передач?
2. Перечислите виды зубьев конических колес, укажите их достоинства.
3. Что такое ортогональная коническая передача?
4. Назовите главный параметр конической передачи.
5. Перечислите основные параметры конических передач.
6. Как влияет вид зубьев и их твердость на размеры колес?
7. Как влияет вид зубьев на размеры передачи и на коэффициент перекрытия?
8. Как влияет твердость материала зубчатых колес на размеры передачи?
9. Как изменяются параметры передачи при учете возможности реверса?
10. Влияет ли на параметры передачи вид используемых подшипников?
11. В каких случаях применяют конические зубчатые передачи?
12. Какими достоинствами обладают конические колеса с круговыми зубьями по сравнению с прямозубыми?
13. Является ли модуль зацепления постоянной величиной для конических зубчатых колес?
14. Как направлены осевые силы, действующие в зацеплении конических передач?
15. Что понимают под эквивалентным цилиндрическим колесом?
16. Что такое осевая форма зубьев конических колес?

## Проектирование червячных передач Лабораторная работа № 5

**Цель работы:** научиться рассчитывать червячную передачу в ARMTans, оценивать полученные результаты, выполнять рабочий чертеж червячного колеса и червяка.

**Задание:** Задание: рассчитать червячную передачу, подготовить рабочие чертежи червячного колеса и червяка.

**Варианты исходных данных**

Таблица 3.1

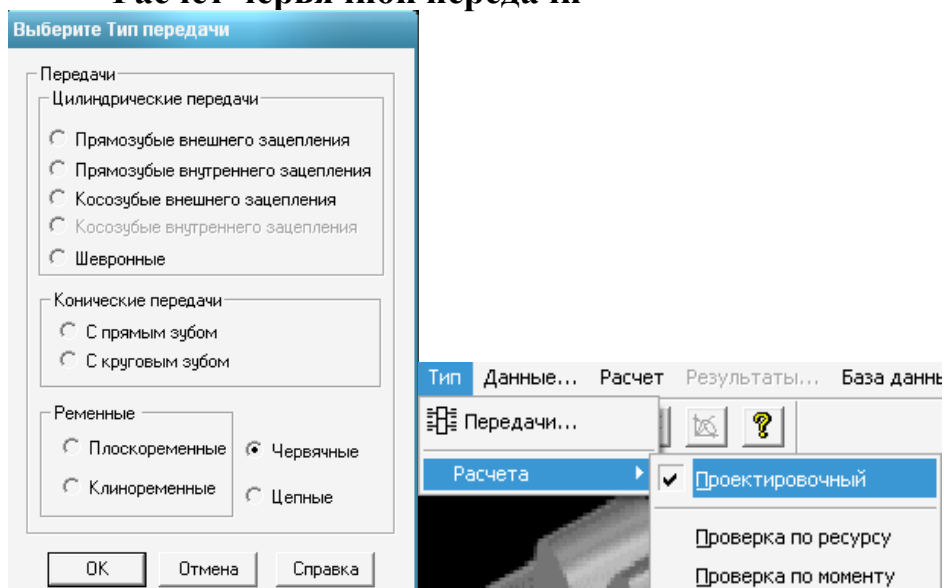
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$T_2, \text{Н}\cdot\text{М}$	250	200	280	380	490	580	420	500	620	800	680	540	390	780
$n_2, \text{об/мин}$	180	50	100	80	80	50	70	40	20	40	27	50	42	30
$u$	16	20	25	28	31,5	35,5	40	45	50	40	31,5	28	25	40
Срок службы, тыс. час	15	18	20	15	20	12	20	15	20	15	16	14	12	15
Режим работы	тяж	пост	Сред. вер	Сред. норм	легк	тяж	пост	Сред. вер	Сред. норм	легк	тяж	тяж	пост	Сред. вер

### 5.1 Теоретическая часть

Общие сведения. Основные геометрические параметры червячной передачи с цилиндрическим червяком. Кинематика червячных передач. Силы в червячном зацеплении. Коэффициент полезного действия червячной передачи. Критерии работоспособности и расчеты червячных передач. [ARMTans глава 7.3 Червячные передачи]

### Порядок выполнения

#### Расчет червячной передачи



Расчет червячной передачи в модуле ARMTans начинается:

1. С задания основных параметров (см. табл. 3.1), которые вводятся с помощью диалогового окна «**Основные данные**».

2. Материал червячного колеса рекомендуется выбрать по ожидаемой скорости скольжения

$$V_s = 0.45 \cdot 10^{-3} \cdot n_2 \cdot u \cdot \sqrt[3]{T_2}$$

При скорости до 2 м/с рекомендуется использовать серый чугун, от 2 до 5 м/с - алюминиево-железистая бронза или латунь, при скорости более 4...5 м/с - оловянно-фосфорная или оловянно-цинковая бронза. Причем, чем больше  $V_s$  тем больше должно быть олова в сплаве.

Обозначение	Плотность	Модуль Юнга	Коэффициент Пуассона
БрО3Ц12С5	8690.000	84000.000	0.350
БрО3Ц12С5	8690.000	84000.000	0.350
БрО3Ц7С5Н1	8700.000	90000.000	0.350
БрО3Ц7С5Н1	8700.000	90000.000	0.350
БрО4Ц7С5	8900.000	84000.000	0.350
БрО4Ц7С5	8900.000	100940.000	0.350
БрО4Ц4С17	9100.000	100940.000	0.350

При необходимости можно также задать дополнительные данные

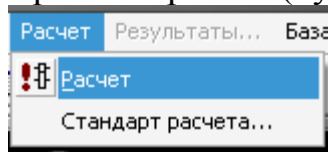
(кнопка «**Ещё**»), среди которых:

- модуль  $m$ ;
- коэффициент диаметра  $q$ ;
- межосевое расстояние  $a$ ;
- коэффициент ширины венца;
- число заходов червяка  $z$ .

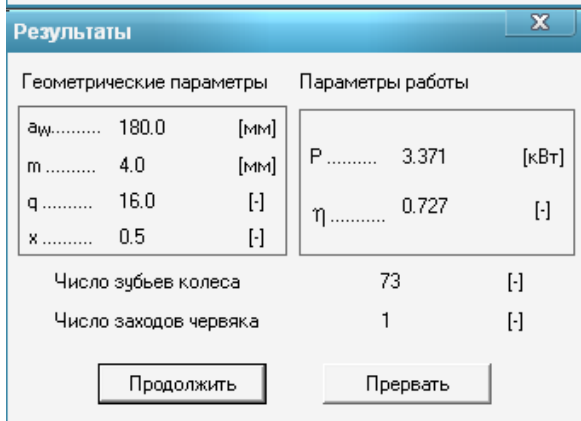
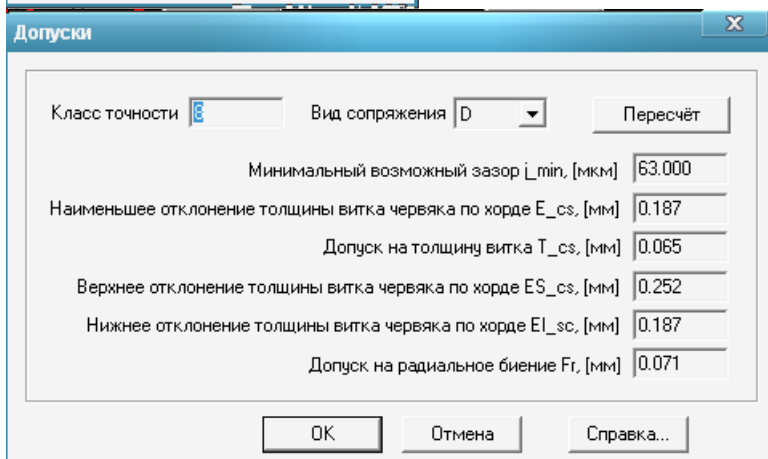
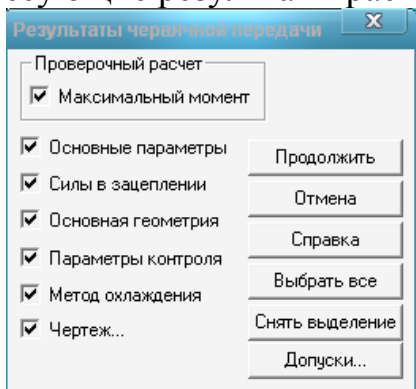
Для расчета заданной передачи достаточно указать лишь основные параметры. В списке дополнительных

параметров можно включить флажок «Взять из базы данных», определив тем самым выбор геометрических параметров передачи из базы рекомендованных значений.

Провести расчет (пункт «Расчет» главного меню).



Открыть диалоговое окно «Результаты» и отметить флажками интересующие результаты расчета.



**Результаты**

	Червяк	Колесо	
Fa	5342.466	459.399	[Н]
Fr	1951.153	1951.153	[Н]
Ft	459.399	5342.466	[Н]
R	34.0	146.0	[мм]

Продолжить  
Прервать

**Результаты**

$\gamma$ ..... 3.576 [град]  
 $\gamma_w$ ..... 3.366 [град]  
 $d_{w1}$ ..... 68.0 [мм]  
 $d_{am2}$ ..... 312.0 [мм]  
 $h_1$ ..... 8.8 [мм]  
 $h_{a1}$ ..... 4.0 [мм]  
 $\rho_{f1}$ ..... 1.2 [мм]  
 $r$ ..... 28.0 [мм]

Параметр	Червяк	Колесо
d [мм]	64.0	292.0
d <sub>a</sub> [мм]	72.0	304.0
d <sub>f</sub> [мм]	54.4	286.4
b [мм]	120.105	60.0

Продолжить    Прервать

**Результаты (Параметры контроля)**

Положение профилей  
 $p_{z1}$ ..... 12.566 [мм]  
 $p_z$ ..... 12.566 [мм]

По хорде  
 $s_a$ ..... 6.271 [мм]  
 $h_a$ ..... 4.001 [мм]

По роликам  
 $D_r$ ..... 6.587 [мм]  
 $M$ ..... 72.617 [мм]

$\epsilon_s$ ..... 1.808 [-]

Продолжить    Прервать

**Охлаждение червячной передачи**

Требуется вентилятор

Ok

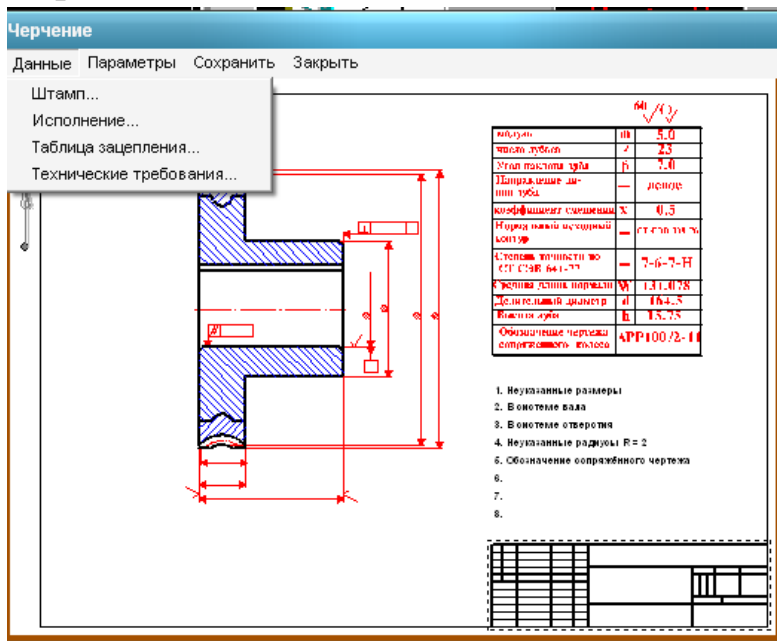
2. Заполнить таблицы результатов расчета передачи.

**3. Определить расчетную скорость скольжения и проверить правильность использования материала червячного колеса, выяснить необходимость охлаждения.**

$$v_s = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60000 \cdot \cos \gamma_w}$$

Расчетная скорость должна соответствовать рекомендациям П.2. При необходимости сменить материал колеса и повторить расчет.

**4. Подготовить рабочий чертеж червячного колеса и червяка, сохранить в своей папке.**

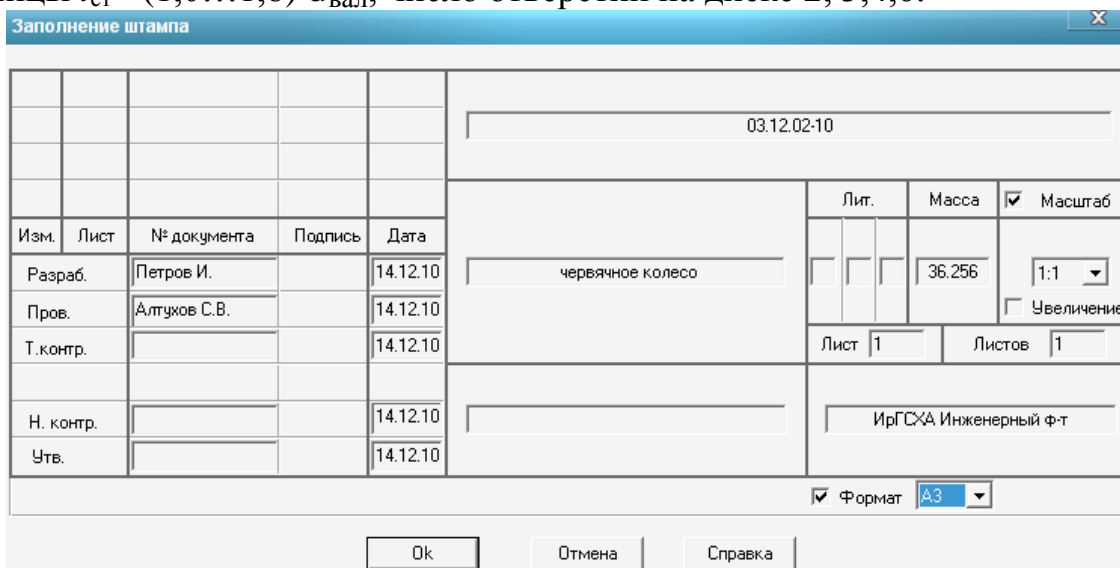


Подготовить и сохранить чертеж червячного колеса, выбирая вкладки: «Чертеж» - «Данные» - «Штамп» - «Исполнение» - «Тип ступицы» - «Выберите конструкцию зубчатого венца» - «Соединение» - «Размеры конструкции».

При этом конструируя колесо самостоятельно выбрать

исполнение, тип ступицы, вид соединения и размеры отдельных элементов.

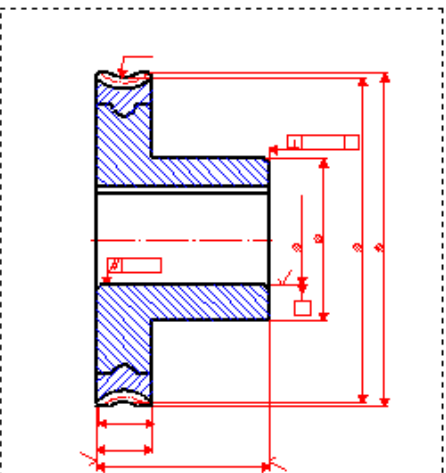
**Рекомендации:** диаметр отверстия в ступице колеса  $d_{вал} = (6...7) \sqrt[3]{T_2}$ ; длина ступицы  $l_{ст} = (1,0...1,8) d_{вал}$ , число отверстий на диске 2, 3, 4, 6.





Выберите тип ступицы

Параметры Сохранить Закрыть

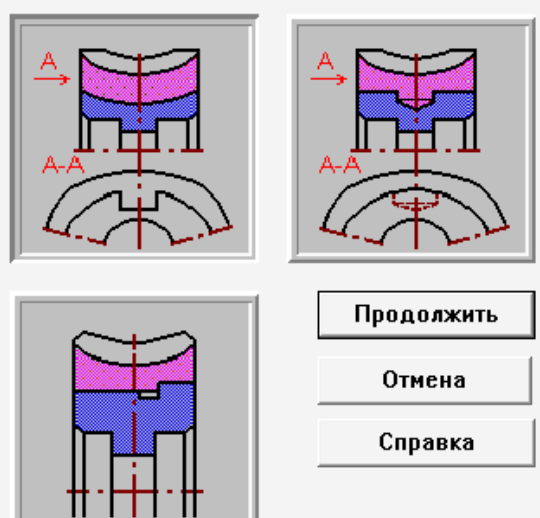


Средняя длина шпунта	M	1.31.0178
Диаметр шпунта	d	164.5
Высота шпунта	H	15.75
Обозначение чертёжа сопряжённого вала		APP100/2-10

1. Неуказанные размеры  
 2. В системе вала  
 3. В системе отверстия  
 4. Неуказанные радиусы R = 2  
 5. Обозначение сопряжённого чертёжа  
 6.  
 7.  
 8.

Межосевое расстояние  
 Коэфф. диаметра

Выберите конструкцию

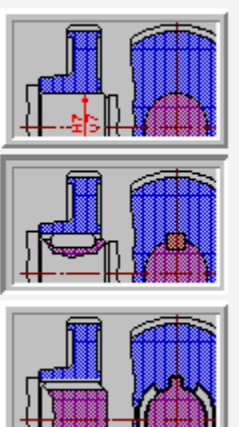


Продолжить

Отмена

Справка

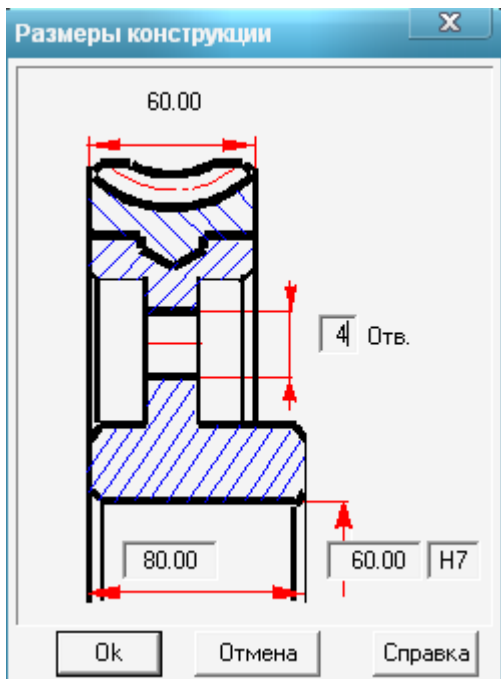
Выберите соединение



Продолжить

Прервать

Справка



03.1202-10

√ 1:4

№	Изм.	Дата	Кто	Что
1				

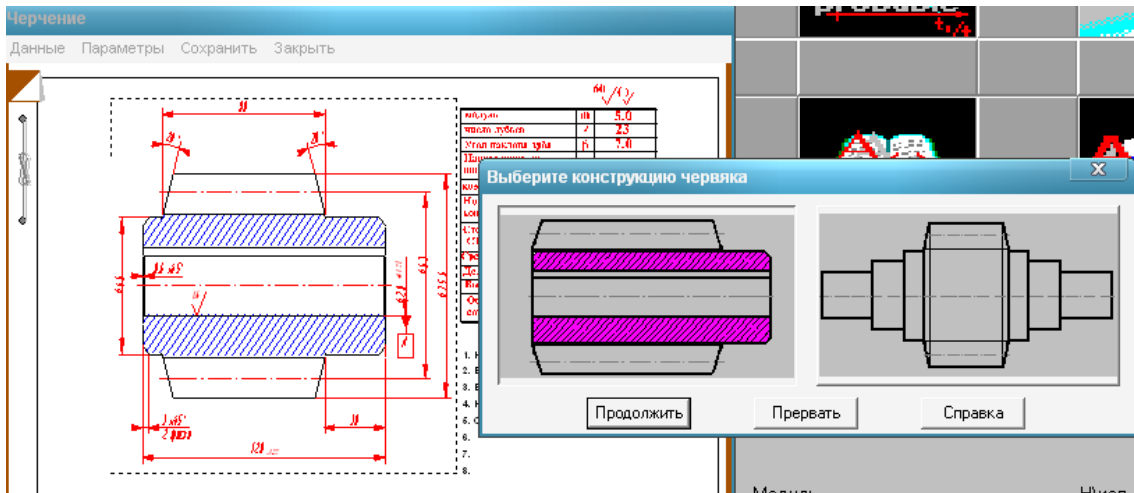
№	Изм.	Дата	Кто	Что
1				

№	Изм.	Дата	Кто	Что
1				

1. Точка А - центр  
 2. Точка В - ось штифта  
 3. Точка С - ось штифта  
 4. Точка D - ось штифта

Изм 01 - чертёж(и) детали (ДТ) 1

		03.1202-10	
		чертежное копирование	
№	Изм.	Дата	Кто
1			



Модуль	m	4.00
Число зубьев	z	73
Направление зубьев	-	Винтовой ▾
Нормальный исх. контур	-	ГОСТ 19036-8
Коэффициент смещения	x	0.50
Степень точности	-	8-D
Межосевое расстояние	-	180.000
Делительный диаметр	d	292.0000
Тип сопряженного червяка	-	ZN1 ▾
Число заходов червяка	$z^{гм}$	1
Обозначение сопр. чертежа	-	00000.02/01

1. *Размеры для справок			
2. Твердость поверхности зуба	18.00 HRC		
3. Радиусы скругления R =	3.00 мм.		
4. Неуказанные предельные отклонения:			
Валов	h11	Отверстий:	H11
Остальных:	IT11/2		

## 5. Ответить на контрольные вопросы

### Форма отчета

#### Заданные параметры:

Передача: Червячная

Тип расчёта: проектировочный

#### Основные данные

Момент вращения на ведомом валу $T_2$ , Нм	
Частота вращения ведомого вала $n_2$ , мин <sup>-1</sup>	
Передаточное число $i$	
Возможен реверс (да/нет)	
Ресурс $L_h$ , час	
Рабочий режим передачи	
Скорость скольжения, м/с	

$V_s = 0.45 \cdot 10^{-3} \cdot n_2 \cdot u \cdot \sqrt[3]{T_2}$	
Материал венца колеса	

### Результаты APMTrans

#### Общие параметры

Описание	Символ, единицы	Червяк	Колесо
Число зубьев (заходов)	$z$		
Межосевое расстояние	$a_w$ , мм		
Модуль	$m$ , мм		
Коэффициент диаметра	$q$		-
Коэффициент смещения	$x$		
Мощность на червяке	$P$ , кВт		
КПД передачи	$\eta$		

#### Силы

Описание	Символ, единицы	Червяк	Колесо
Тангенциальная сила	$F_t$ , Н		
Радиальная сила	$F_r$ , Н		
Осевая сила	$F_w$ , Н		

#### Геометрические параметры

Описание	Символ, единицы	Червяк	Колесо
Делительный угол подъема витков	$\gamma$ , град		
Начальный угол подъема витков	$\gamma_w$ , град		
Делительный диаметр	$d$ , мм		
Начальный диаметр	$d_{w1}$ , мм		
Высота витка червяка	$h_1$ , мм		
Высота головки витка червяка	$h_{a1}$ , мм		
Диаметр вершин	$d_w$ , мм		
Наибольший диаметр червячного колеса	$d_{wM2}$ , мм		
Радиус кривизны переходной кривой червяка	$\rho_{f1}$ , мм		
Длина нарезанной части червяка	$b_1$ , мм		
Ширина венца червячного колеса	$b_2$ , мм		
Радиус выемки поверхности вершин зубьев червячного колеса	$r$ , мм		
Диаметр впадин	$d_f$ , мм		

#### 3. Расчётная скорость скольжения:

$$V_s = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_2 \cdot u}{60000 \cos \varphi_w}$$

4. Подготовить рабочий чертеж червячного колеса и червяка, сохранить в своей папке.

**5. Заключение о нагреве передачи, необходимости и способе охлаждения.**

Подготовить и сохранить чертеж червячного колеса, выбирая вкладки: «Чертеж» - «Данные»- «Штамп» - «Исполнение»- «Тип ступицы» «Выберите конструкцию зубчатого венца»- «Соединение»- «Размеры конструкции».

- диаметр отверстия в ступице колеса  $d_o = (6...7) \sqrt[3]{T_2} =$

- длина ступицы  $l_{cm} = (1,0...1,8) d_o =$   
число отверстий на диске 2, 3, 4, 6.

**6. Ответить на контрольные вопросы**

**Контрольные вопросы**

1. Назовите достоинства и недостатки червячных передач.
2. Почему червячные передачи не рекомендуют применять при большой мощности?
3. Из каких соображений выбирают число заходов червяка?
4. Как определить передаточное отношение червячной передачи, в каком диапазоне оно может быть?
5. Из каких материалов изготавливают червяки и венцы червячных колес?
6. Какие факторы определяют выбор материалов передачи?
7. Как рассчитать делительные диаметры, диаметры вершин червяка и колеса, межосевое расстояние?
8. Как вычисляют КПД червячной передачи, от чего оно зависит?
9. В чем сущность теплового расчёта червячной передачи?
10. Назовите способы охлаждения червячных передач?

## Используемая литература

1. Дунаев П.Ф. (1.08.2000). Конструирование узлов и деталей машин : Учеб. пособие для втузов/ П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. -6-е изд., испр.. -М.: Высш. шк., 2000. -447 с.: ил.
2. Курмаз Л.В., Скойбеда А.Т. Детали машин. Конструирование: Учеб.пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2001.
3. Шелофаст В.В, Чугунова Т.В. Основы проектирования машин.. Примеры решения задач. – М.: Изд-во АПМ. – 240 с.

## Содержание

Проектирование механических передач в АРМ WinTrans	3
Общие указания.	
1. Проектирование ремённых передач,- Лабораторная работа № 1 ..	4
2. Проектирование цепных передач,- Лабораторная работа № 2 ...	11
3. Проектирование цилиндрических зубчатых передач,- Лабораторная работа № 3 .....	19
4. Проектирование конических зубчатых передач, - Лабораторная работа №4 .....	33
5. Проектирование червячных передач,- Лабораторная работа №5 ..	52
Используемая литература .....	62