

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Дмитриев Николай Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 09.06.2026 07:03:55
Уникальный программный ключ:
f7c6227919e4cdbfb4d7b68299245b3b37eafda

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И
РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского

Колледж автомобильного транспорта и агротехнологий

Т.Д. Кривобок

**Практикум
по технической механике
Расчет механических передач в APM WinTrans**

Учебно-методическое пособие

Иркутск– 2021

УДК

Кривобок Т.Д. Практикум по технической механике
Расчет механических передач в АРМ WinTrans: Учеб.-метод.
пособие . – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2021 . - 64 с.

Рекомендовано к печати предметно-цикловой комиссией колледжа автомобильного транспорта и агротехнологий Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского (протокол № от 2021 г.).

Рецензент: Косарева А.В. к.т.н., доцент кафедры ТС и ОД Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского

Практикум включает в себя практические работы по расчету основных видов механических передач в АРМ WinTrans: цилиндрических, конических, червячных, ременных, цепных, контрольные вопросы для текущей аттестации.

Учебно-методическое пособие подготовлено на основе требований Федерального государственного образовательного стандарта и программы дисциплины «Техническая механика», предназначено для студентов специальности 23.02.03 – «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта» и 35.02.07 – «Механизация сельского хозяйства» очного обучения в качестве пособия к выполнению практических работ и подготовки к текущей аттестации.

© Кривобок Т.Д., 2021
© Издательство Иркутский ГАУ, 2021

Введение

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

С помощью APM WinTrans Вы можете:

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

С помощью APM 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, APM 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 расчеты, по варианту выданному преподавателем:

1. расчет цилиндрической прямозубой передачи
2. расчет цилиндрической косозубой передачи
3. расчет конической передачи с прямыми зубьями
4. расчет конической передачи с круговыми зубьями
5. расчет червячной передачи
6. расчет клиноременной передачи
7. расчет цепной передачи

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Расчет цилиндрических зубчатых передач

Цель работы: научиться рассчитывать передачу в АРМ Trans, оценивать полученные результаты, выполнять рабочий чертеж зубчатого колеса.

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

Таблица 1.1 **Варианты исходных данных**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$T_{2,Н*М}$	250	200	250	150	120	240	270	300	160	100	200	180	90	180
$n_{2,об/м}$ ин	380	518	300	400	240	160	190	260	210	380	300	520	380	350
u	2.5	2.8	3.15	3.5 5	4	4.5	5	5.6	4.5	4	3.15	2.8	2.5	4
Располо- жение колеса	Си м- мет р	Неси м- метр.	Конс о- льно	Си м- мет р	Неси м- метр.	Конс о- льно	Си м- мет р	Неси м- метр.	Конс о- льно	Си м- мет р	Неси м- метр.	Конс о- льно	Си м- мет р	Неси м- метр.
Срок служб ы, тыс. час	15	18	20	25	30	25	20	15	20	25	30	35	40	45
Термоо б- работк а 1*	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Термоо б- работк а 2*	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4
Режим работы	Тяж .	Сред	Легк	Пос - тоя н	Тяж.	Сред .	Лег к.	Пос- тоян	Тяж.	Тяж .	Сред .	Легк.	Пос - тоя н	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.

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. [APM Book глава 7.1 Цилиндрические зубчатые передачи]

Порядок выполнения

1. Расчет цилиндрических передач

Расчет передачи в программе APM Trans следует проводить следующим образом:

1. Выбрать тип передачи рисунок 1.

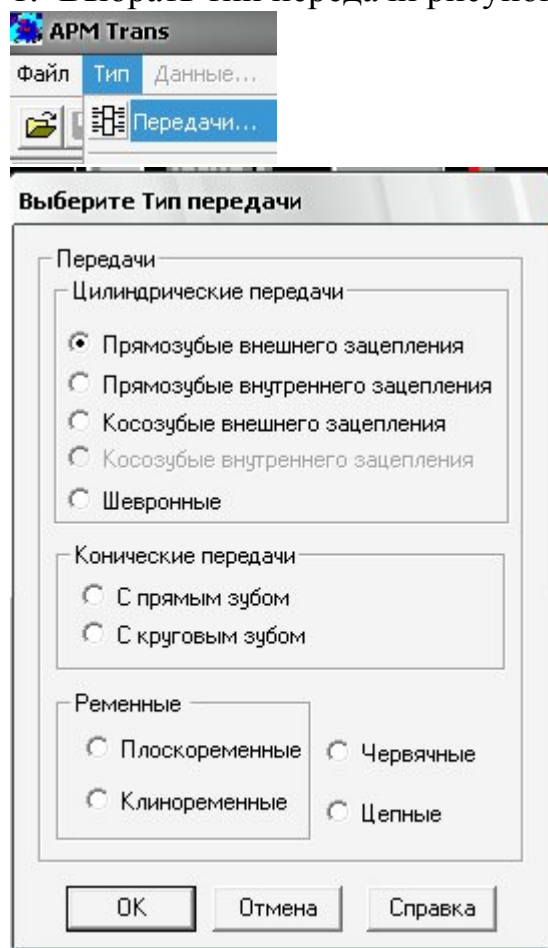


рисунок 1 – Меню выбора типа передачи

2. Указать тип расчета – (проектировочный) рисунок 2.

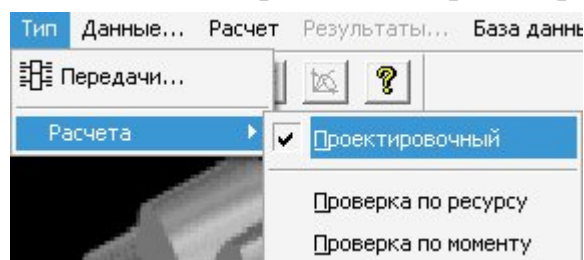


Рисунок 2 – Вкладка для выбора вида расчета

3. Установить стандарт – ГОСТ (меню «База данных» / «Установить стандарт») рисунок 3.
4. Проверить установку параметров исходного контура (по умолчанию в меню «База данных» / «Исходный контур» установлен ГОСТ 13755-81 –исходный контур зубчатых цилиндрических колес эвольвентного зацепления) рисунок 3.

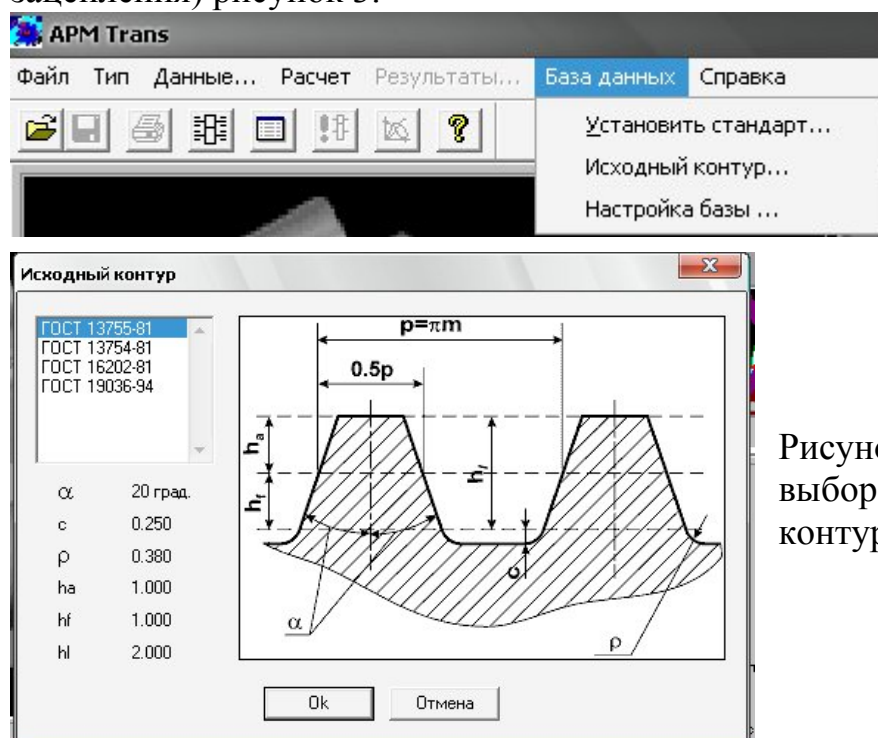


Рисунок 3 – Меню для выбора ГОСТ и исходного контура

5. Задать основные исходные данные (см.таблицу1.1) в полях ввода диалогового окна «Основные данные» рисунок 4.

The image shows two dialog boxes from the software. The left dialog box is titled 'Основные данные' (Main data) and contains the following fields and options:

- Момент на выходе [Нм]: 180
- Обороты на выходе [об/мин]: 350
- Передаточное число [-]: 4
- Требуемый ресурс [час]: 45000
- Число зацеплений: Шестерня 1, Колесо 1
- Термообработка: Шестерня (Закалка), Колесо (Улучшение)
- Режим работы: Тяжелый
- Крепление шестерни на валу: Несимметрично
- Buttons: Продолжить, Прервать, Справка, Еще...

The right dialog box is titled 'Дополнительные данные' (Additional data) and contains the following fields and options:

- Межосевое расстояние [мм]: 0.0
- Коэффициент ширины колеса [-]: 0.315
- Модуль [мм]: 0.0
- Угол наклона зубьев [град]: 0.0
- Коэффициент смещения: Шестерня 0.0, Колесо 0.0
- ☒ Задать материал шестерни (Выбрать...)
- ☐ Задать материал колеса (Выбрать...)
- Твердость поверхности зубьев HRC: Шестерня 0.0, Колесо 0.0
- Твердость сердцевины зубьев HRC: Шестерня 0.0, Колесо 0.0
- Число зубьев: Шестерня 0, Колесо 0
- ☐ Возможен реверс
- ☒ Стандартное межосевое расстояние
- Buttons: Продолжить, Прервать, Справка

Рисунок 4 – Окна основных и дополнительных исходных данных.

Число зацеплений для обычной передачи принять равным 1.

6. Нажав в нижней части диалогового окна «**Основные данные**» кнопку «**Ещё**», ввести в соответствующие поля ввода открывающегося диалогового окна «**Дополнительные данные**» необходимые значения рисунок 4.

7. 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.

По ряду Ra40

Можно задать материал шестерни и колеса или точное значение твердости поверхности зубьев – иначе для каждого вида термообработки программой будет принято по умолчанию среднее значение (рисунок 5).

Твердость задается в единицах HRC. Поэтому для незакаленных сталей нужно твердость HB перевести в HRC

Задать значение коэффициента ширины y_{ba} из ряда стандартных чисел: 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,315; 0,5; 0,5; 0,63 в зависимости от положения колес относительно опор:

при симметричном расположении 0,315 – 0,5;

при несимметричном 0,25 – 0,4;

при консольном расположении одного или обоих колес 0,2 – 0,25.

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

Меньшие значения y_{ba} – для передач с твердостью 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 силовых 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 $z_{min}=17$.

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

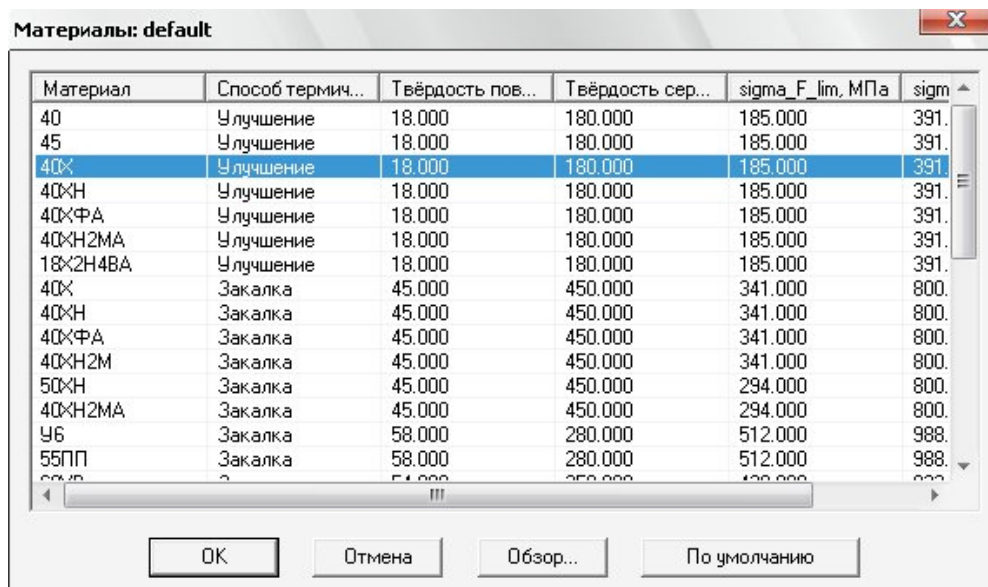
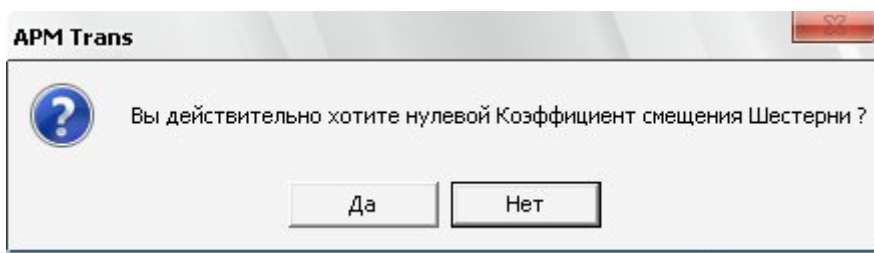


Рисунок 5 – Выбрать материал колес из базы данных (БД)

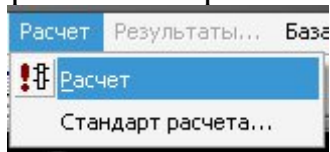
После нажатия кнопки «Продолжить» программа выдаст запросы о



том, действительно ли коэффициент смещения шестерни и колеса должны иметь нулевые значения рисунок 6, возможны оба варианта ответов.

Рисунок 6.

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



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

Результаты

Проверочный расчет

☐ Ресурс

☐ Максимальный момент

☒ Основные результаты

☒ Параметры материала

☒ Силы в зацеплении

☐ Параметры инструмента

☒ Чертеж...

Параметры контроля

☒ Торцевого контура

☒ По хорде

☒ По общей нормали

☒ По толщине хорды

☒ По роликам

☒ Расположение зубьев

☒ Качество передачи

Профиль зубьев

Продолжить Выделить все Справка

Прервать Отменить все Допуски...

Основные геометрические параметры

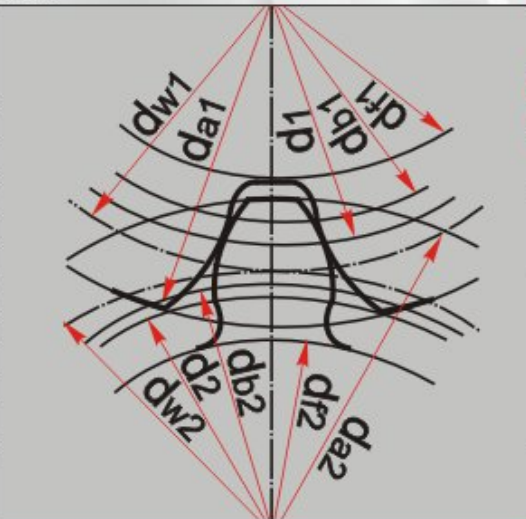
a_w 189.75 [мм]

m 1.5 [мм]

β 0.0 [град]

Параметр	Шестерня	Колесо
d [мм]	76.5	303.0
d_b [мм]	71.886	284.727
d_w [мм]	76.5	303.0
d_a [мм]	79.5	306.0
d_f [мм]	72.75	299.25
x [-]	0.0	0.0
h [мм]	3.375	3.375
b_w [мм]	66.0	61.0
z [-]	51	202

Продолжить Прервать



Для уменьшения числа зубьев колес необходимо увеличить модуль.

Параметры материалов

Допускаемые напряжения по контакту 391.0 [МПа]

Допускаемые напряжения изгиба:

Шестерни.....	341.0 [МПа]
Колеса.....	185.0 [МПа]

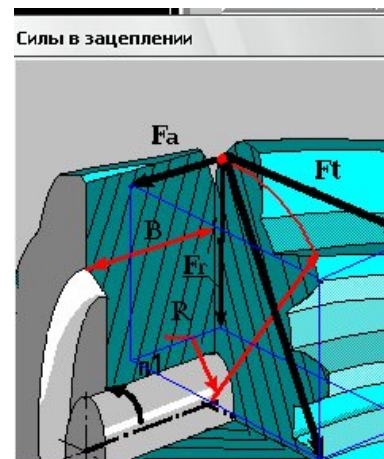
Твердость поверхности

Шестерни.....	45.0 [HRC]
Колеса.....	18.0 [HRC]

Действующие напряжения

Контактное	390.539 [МПа]
Изгибные	
Шестерни.....	169.26 [МПа]
Колеса.....	167.26 [МПа]

Продолжить Прервать

Качество передачи

z_{min} 17.097 [-]

α_{tw} 20.0 [град]

ϵ_a 1.835 [-]

ϵ_p 0.0 [-]

ϵ_{γ} 1.835 [-]

Параметр	Шестерня	Колесо
β_f [град]	0.0	0.0
s_{na} [мм]	1.165	1.237
c [мм]	0.375	0.375

Продолжить Прервать

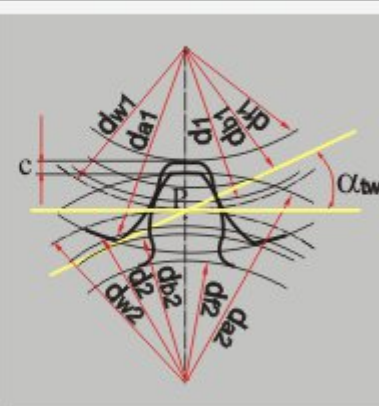


Рисунок 7 – Результаты расчета

При анализе результатов обратите внимание полученное межосевое расстояние, модуль зуба и число зубьев шестерни 1. Если эти параметры не соответствуют рекомендуемым см.П.7. прервем просмотр результатов и уточним дополнительные и исходные данные, повторив расчет.

2. По результатам расчета заполнить таблицы для прямозубой и для косозубой передачи для вариантов термообработки 1 и 2.

3. Сравнить результаты расчета цилиндрической прямозубой и косозубой передачи, сделать вывод – как влияет угол наклона зубьев и твердость материала на габариты передачи.

4. Подготовить рабочий чертеж зубчатого колеса и сохранить в своей папке.

В диалоговом окне «Результаты» флажком отмечаем пункт «Чертеж...». После нажатия кнопки «Продолжить» выбираем, какой из элементов передачи (ведущий или ведомый) требуется начертить рисунок 8.

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

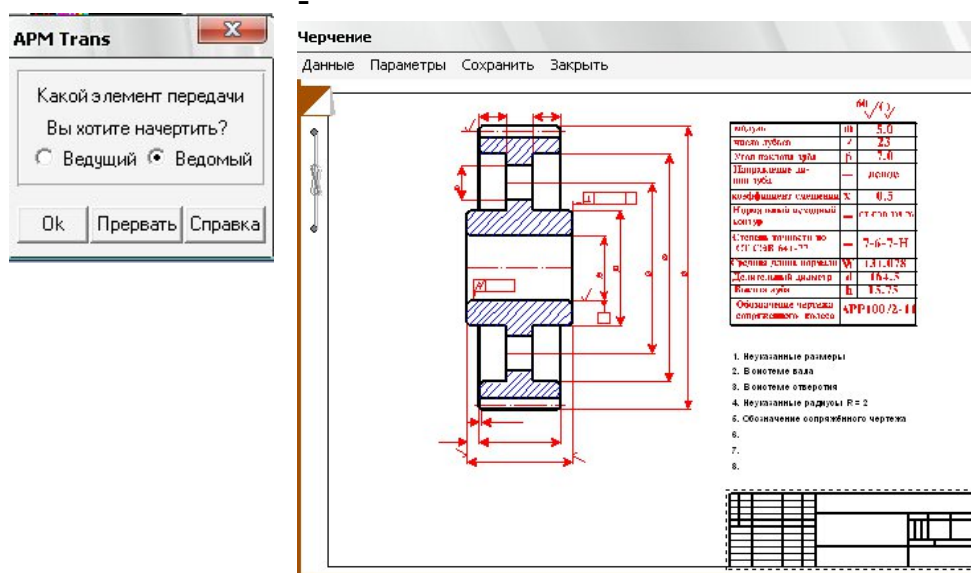


рисунок 8

1. Заполнение штампа.

В меню **Данные** выберем «Штамп», либо двойным щелчком левой кнопкой мыши в области штампа чертежа рисунок 9 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. -

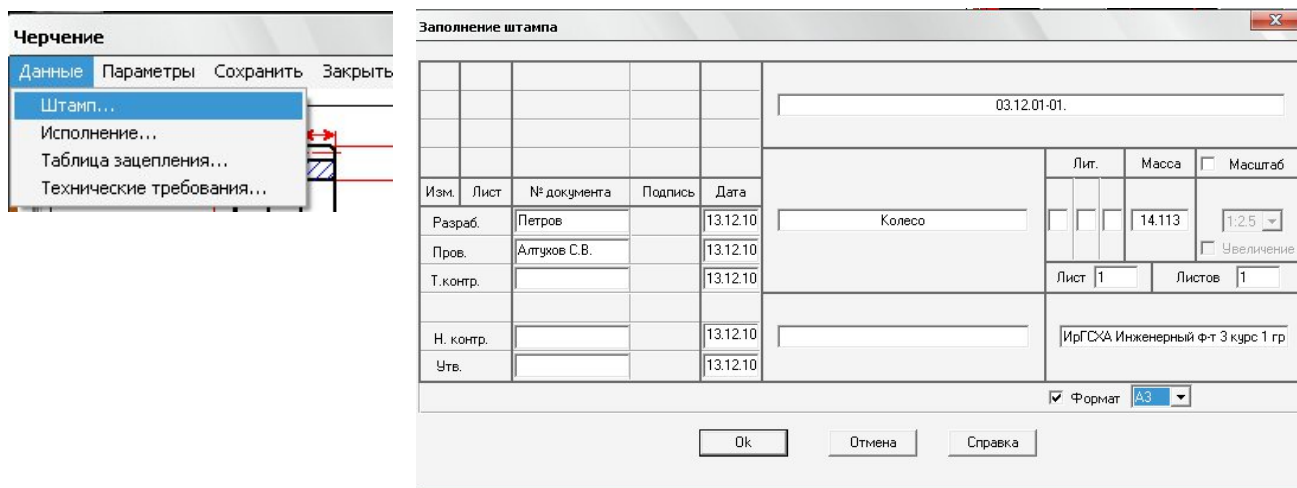
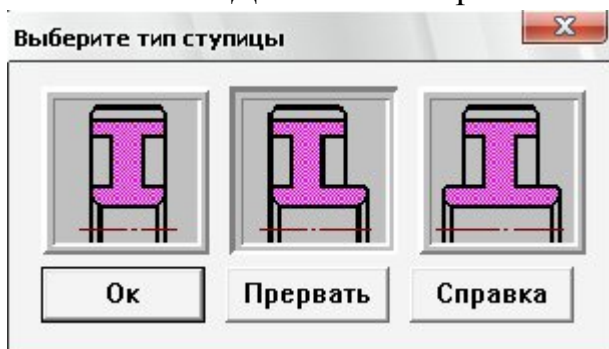


Рис.9 – Заполнение штампа

2. Выбор типа ступицы.

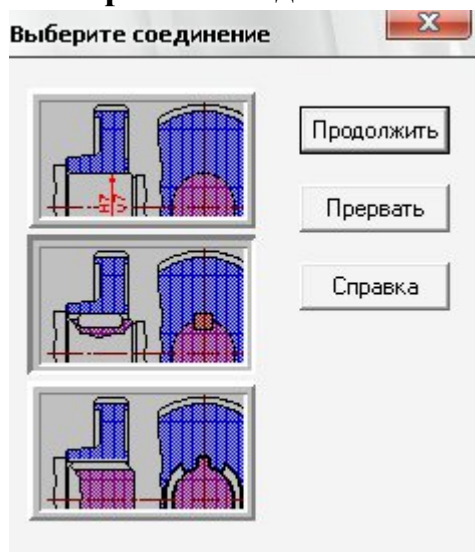
В меню **Данные** выберем **«исполнение»**, либо двойной щелчок левой



кнопкой мыши в области изображения колеса рис.9, вызывается открытие диалогового окна **«Выберите тип ступицы»** рисунок 10. Тип ступицы зубчатого колеса выбираем щелчком на одной из трех кнопок этого окна **«Тип ступицы»**

Рисунок 10 – тип ступицы

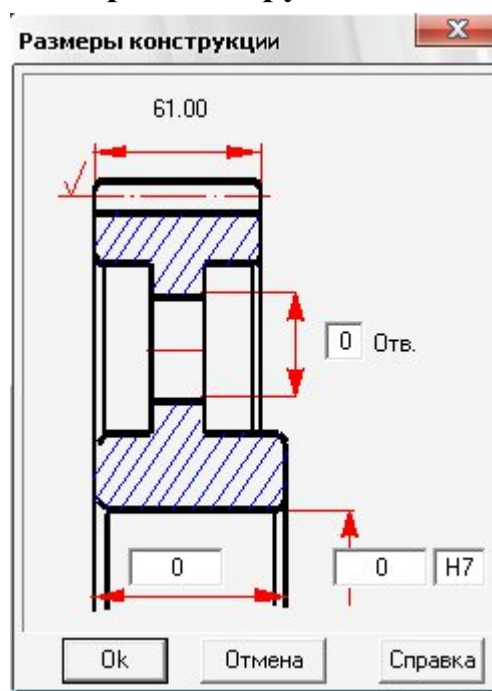
3. Выбор типа соединения-



а)

Рисунок 11 – Конструкция колеса

4. «Размеры конструкции».



б)

Рекомендации: диаметр отверстия в ступице колеса $d_{\text{вал}} = (6 \dots 7) \sqrt[3]{T_2}$; длина ступицы $l_{\text{ст}} = (1,0 \dots 1,8) d_{\text{вал}}$, число отверстий на диске 2, 3, 4, 6, выбирается с учетом диаметра колеса рисунок 11(б).

5. 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.

6. 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.

7. 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 **APM Graph**, в окне которого и будет показан чертеж рассчитанного зубчатого колеса. Полученный чертеж можно редактировать в **APM Graph** и распечатать рисунок 12.

Рисунок 12 – Рабочий чертеж колеса.

8. Вывод результатов расчета 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

1. Заданные параметры:

Передача:

1) *прямозубая*, 2) *косозубая*

Зацепления:

внешнего

Тип расчета:

проектировочный

Основные данные

		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 ⁻¹			
Передаточное число, u			
Ресурс, срок службы передачи L_h час			

Дополнительные данные(могут быть заданы для уточнения расчета)

Межосевое расстояние a_w , мм		
Коэффициент ширины, ψ_{ba}		
Модуль m , мм		
Угол наклона зубьев β , град		
Коэффициент смещения x_1, x_2		
Твердость рабочих поверхностей HRC ₁ , HRC ₂		
Число зубьев, z_1, z_2		
Учесть реверс передачи (да, нет)		
Стандартное межосевое расстояние (да, нет)		

2. Результаты расчета APM Trans

2.1 Результаты расчета **цилиндрической прямозубой передачи** для вариантов термообработки 1 и 2.

Основная геометрия	ТЕРМОБРАБОТКА 1		ТЕРМОБРАБОТКА 2	
Описание, символ, единицы	Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо
Термообработка				
Межосевое расстояние				
Модуль m , мм				
Угол наклона зубьев b ,				
Делительный диаметр d ,				
Основной диаметр d_b ,				
Начальный диаметр d_w ,				
Диаметр вершин зубьев $d_{\text{мм}}$				
Диаметр впадин d_f , мм				
Коэффициент смещения				
Высота зубьев h , мм				
Ширина зубчатого венца				
Число зубьев z				

Свойства материала	ТЕРМОБРАБОТКА 1		ТЕРМОБРАБОТКА 2	
параметр	Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо
Допускаемые напряжения изгиба, $[S_F]$,				
Допускаемые контактные				
Твердость рабочих поверхностей, HRC				
Действующие напряжения изгиба, S_F ,				
Расчетные контактные напряжения,				

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

Параметры качества зацепления		ТЕРМОБРАБ ОТКА 1	ТЕРМОБРАБ ОТКА 2
Угол наклона линии вершин зубьев	β_a		
Минимальное число зубьев, нарезаемых без подреза при данном смещении	$Z_{\min}$		
Нормальная толщина зуба на поверхности вершин колеса -шестерни	S_{na}		
Радиальный зазор в зацеплении	c		
Коэффициент торцевого перекрытия	ε_a		
Коэффициент осевого перекрытия	ε_β		
Коэффициент перекрытия	ε		
Угол зацепления	a_{tw}		

2.2 Результаты расчета **цилиндрической косозубой передачи** для вариантов термообработки 1 и 2.

Основная геометрия	ТЕРМОБРАБОТКА 1		ТЕРМОБРАБОТКА 2	
Описание, символ, единицы	Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо
Термообработка				
Межосевое расстояние				
Модуль m , мм				
Угол наклона зубьев b ,				
Делительный диаметр d ,				
Основной диаметр d_b ,				
Начальный диаметр d_w ,				
Диаметр вершин зубьев				
Диаметр впадин d_f , мм				
Коэффициент смещения				
Высота зубьев h , мм				
Ширина зубчатого венца				
Число зубьев z				

Свойства материалов	ТЕРМОБРАБОТКА 1		ТЕРМОБРАБОТКА 2	
параметр	Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо
Допускаемые напряжения изгиба, $[S_F]$,				
Допускаемые контактные				
Твердость рабочих поверхностей, HRC				

Действующие напряжения изгиба, S_F ,				
Расчетные контактные напряжения,				

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

Параметры качества зацепления

Параметры качества зацепления		ТЕРМОБРАБОТКА 1	ТЕРМОБРАБОТКА 2
Угол наклона линии вершин зубьев	β_a		
Минимальное число зубьев, нарезаемых без подреза при данном смещении	$z_{\min}$		
Нормальная толщина зуба на поверхности вершин колеса -шестерни	s_{na}		
Радиальный зазор в зацеплении	c		
Коэффициент торцевого перекрытия	ϵ_a		
Коэффициент осевого перекрытия	ϵ_β		
Коэффициент перекрытия	ϵ		
Угол зацепления	a_{tw}		

3. Сравнить результаты расчета, сделать вывод.

4. Подготовить рабочий чертеж зубчатого колеса, сохранить в своей папке.

5. Ответить на контрольные вопросы.

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 методами расчетов зубчатых передач.
7. Силы в зацеплении их величина и направление.
8. Понятие коррекция зубьев, коэффициент смещения.
9. Коэффициент перекрытия
10. Как можно уменьшить величину контактных напряжений при заданной нагрузке?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Расчет конических зубчатых передач

Цель работы: научиться рассчитывать конические передачи в АРМ Trans, 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.

Таблица 2.1 Варианты исходных данных

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$T_{2, H \cdot M}$	250	400	300	150	290	380	320	550	220	380	280	440	590	280
$n_{2, об/мин}$	380	518	300	400	240	160	190	260	210	380	300	520	380	350
u	2.5	2.8	3.15	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 13755-81, для передач с круговыми зубьями по ГОСТ 16202-81.

Теоретическая часть

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. [АРМ Book глава 7.1 Цилиндрические зубчатые передачи; глава 7.2 Передачи коническими зубчатыми колесами]

Порядок выполнения

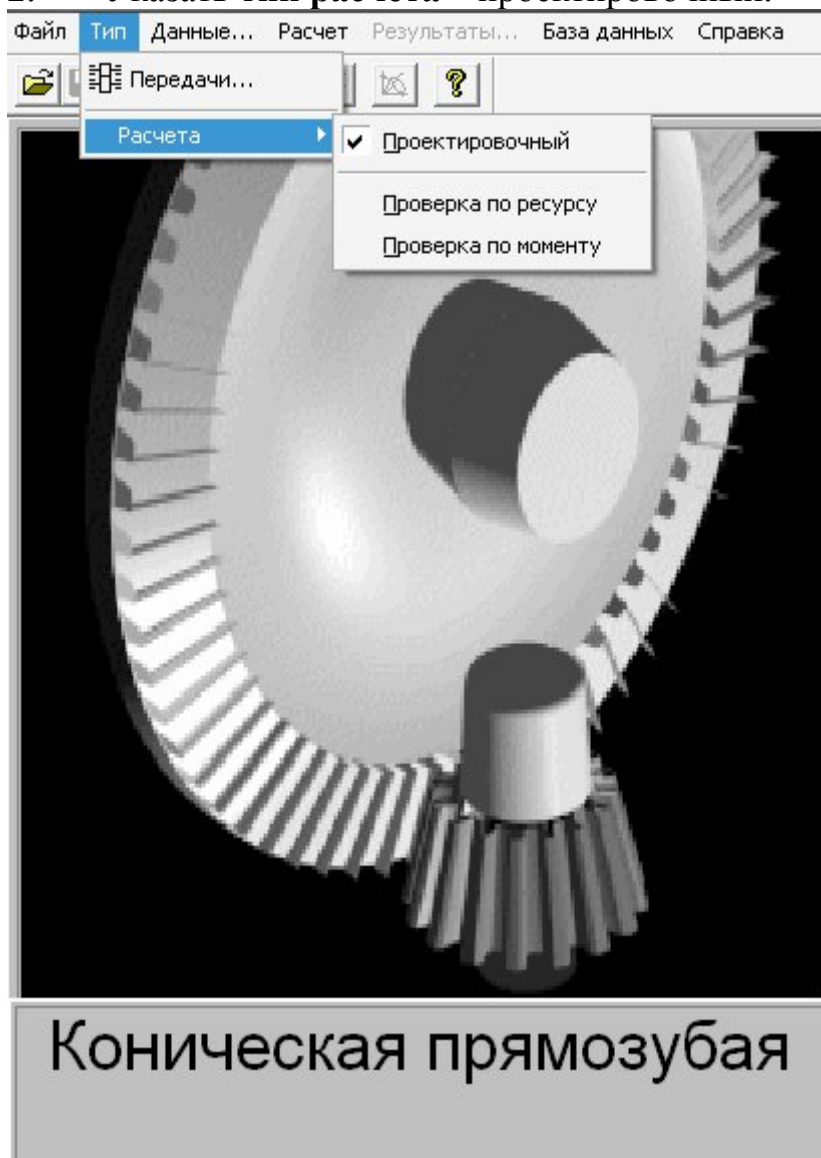
1. Расчет конических передач

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.

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. таблицу 2.1)

The screenshot shows a dialog box titled 'Основные параметры'. It contains the following fields and controls:

- Момент на ведомом валу [Нм]: 280
- Обороты ведомого вала [об/мин]: 350
- Передаточное число [-]: 4
- Ресурс передачи [час]: 45000
- Термообработка колес:
 - Шестерни: Закалка
 - Колеса: Улучшение
- Режим работы передачи: Тяжелый
- Buttons: Продолжить, Прервать, Справка, Еще...

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

Дополнительные параметры

Угол наклона зуба [град] 0.0

Ширина шестерни [мм] 0.0

Внешний модуль [мм] 0.0

☐ Задать материал шестерни Выбрать... Не выбран

☐ Задать материал колеса Выбрать... Не выбран

Твердость поверхности зуба HRC

Шестерня 0.0 Колесо 0.0

Твердость сердцевины зуба HRC

Шестерня 0.0 Колесо 0.0

 Тип опоры вала шестерни Не выбран

☐ 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

Продолжить Прервать Справка

☒ Задать материал шестерни Выбрать... Не выбран

☒ Задать материал колеса Выбрать... Не выбран

Тип опоры вала шестерни

Не выбран

Не выбран

Шарикоподшипник

Роликоподшипник

Для корректного проведения расчета необходимо указать точное значение твердости поверхности зубьев.

После нажатия кнопки «**Продолжить**» программа выдаст запросы о том, действительно ли коэффициент смещения шестерни x_1 и коэффициент изменения толщины зуба x_t должны иметь нулевые значения. Следует ответить «Да», так как коэффициент изменения толщины зуба при проведении расчета не

учитывался, т.е. было принято $x_t = 0$.

6. Проверить установку параметров исходного контура (по умолчанию в меню «**База данных**» / «**Исходный контур**» установлен ГОСТ 13754-81 – исходный контур зубчатых конических колес с прямыми зубьями).

Исходный контур

ГОСТ 13755-81

ГОСТ 13754-81

ГОСТ 16202-81

ГОСТ 19036-94

α 20 град.

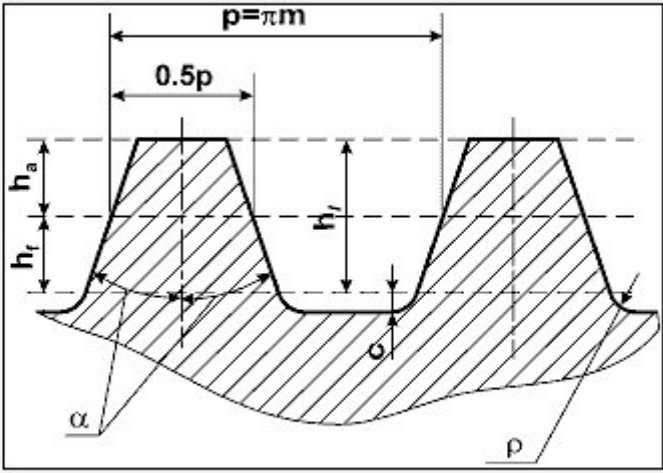
c 0.200

ρ 0.380

h_a 1.000

h_f 1.000

h_l 2.000



Ok Отмена

7. Произвести расчет передачи (пункт «Расчет» главного меню).
8. Открыть диалоговое окно «Результаты» и отметить флажками интересные результаты расчета.

Результаты расчета конической передачи

☒ Основные параметры
☒ Параметры материала
☒ Силы в зацеплении
☐ Параметры инструмента
☒ Геометрические параметры
☒ Чертеж ...

Проверочный расчет
☐ Ресурс
☐ Максимальный момент

Параметры контроля
☐ Параметры качества
☐ Основной контроль

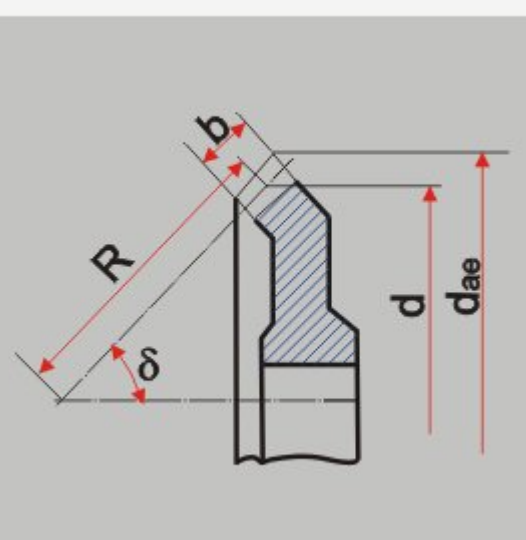
Продолжить Отметить все Справка
 Прервать Отменить все Допуски...

Основные параметры

β	0.0	[град]
m	3.004	[мм]
m_e	3.5	[мм]
R_e	165.955	[мм]
R	142.455	[мм]
b	47.0	[мм]

Параметр	Шестерня	Колесо
d_e [мм]	80.5	322.0
d [мм]	69.101	276.403
δ_w [град]	14.036	75.964
x [-]	0.0	-0.0
z [-]	23	92

Продолжить Прервать



Параметры материалов

Допускаемые напряжения по контакту 554.545 [МПа]
 Допускаемые напряжения изгиба:

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

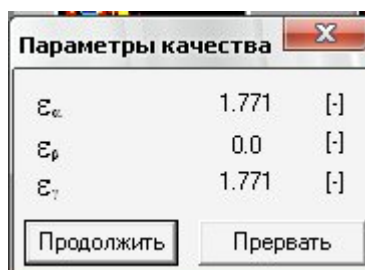
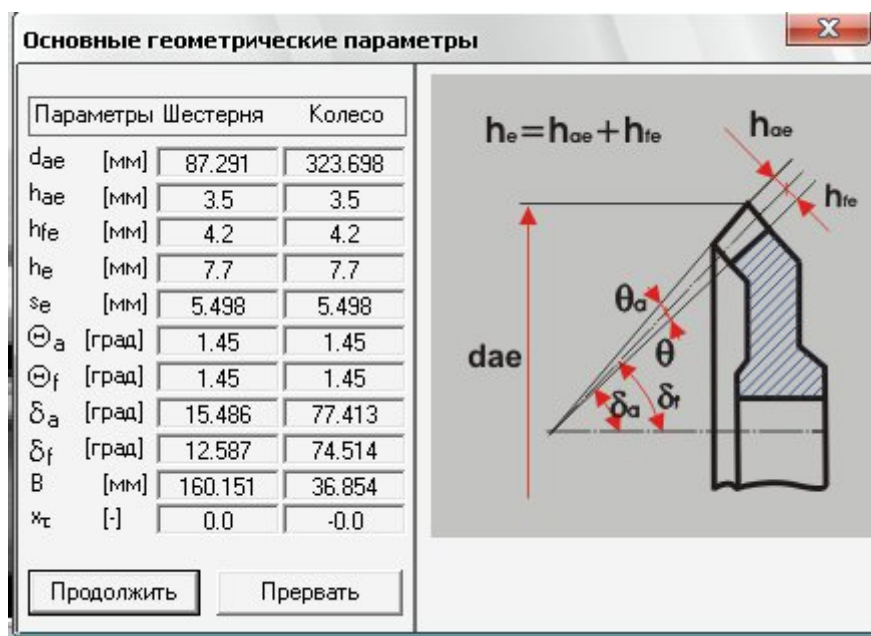
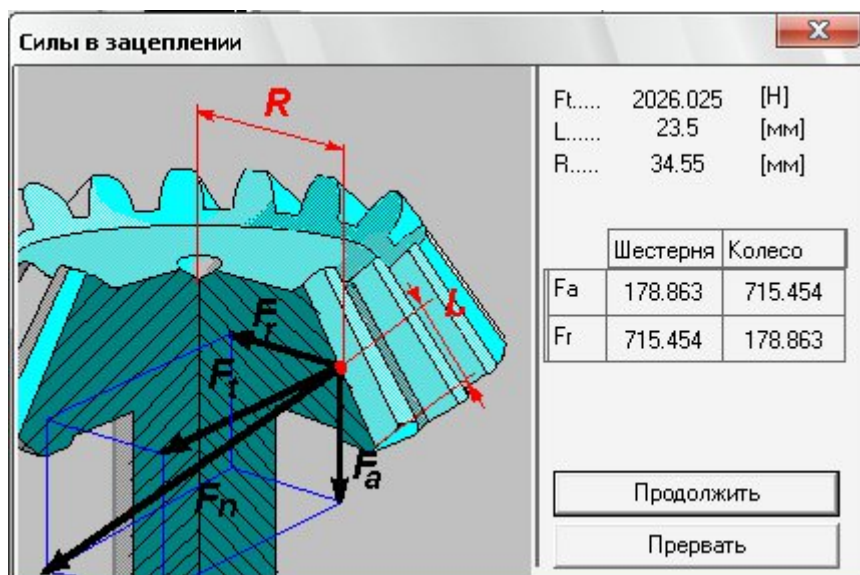
Твердость поверхности

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

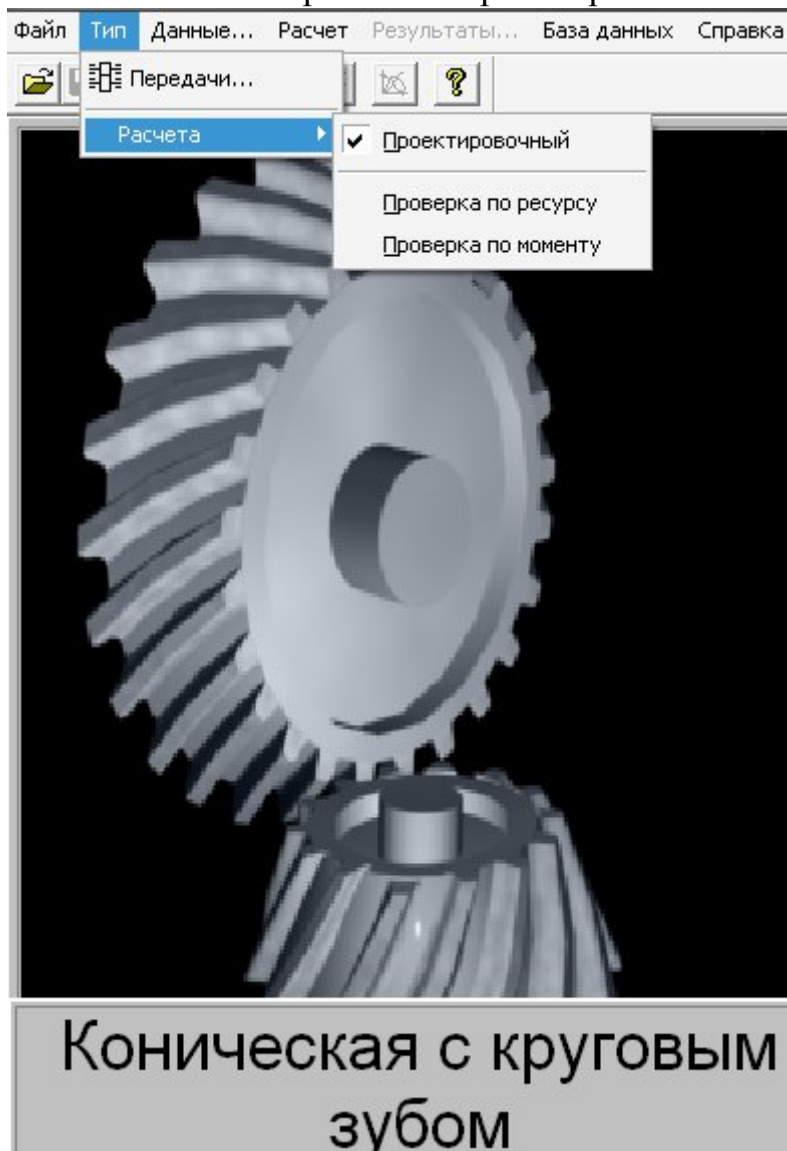


1.2 Расчет конической передачи с круговыми зубьями

Расчет передачи в программе APM 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. таблицу 2.1)

Основные параметры [X]

Момент на ведомом валу [Нм]

Обороты ведомого вала [об/мин]

Передаточное число [-]

Ресурс передачи [час]

Термообработка колес

Шестерни

Колеса

Режим работы передачи

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]

Ширина шестерни [мм]

Внешний модуль [мм]

☐ Задать материал шестерни Не выбран

☐ Задать материал колеса Не выбран

Твердость поверхности зуба HRC

Шестерня Колесо

Твердость сердцевины зуба HRC

Шестерня Колесо

 Тип опоры вала шестерни

☐ Возможен реверс

Коэффициент смещения шестерни

Коэффициент изменения толщины зубьев шестерни

Параметры инструмента

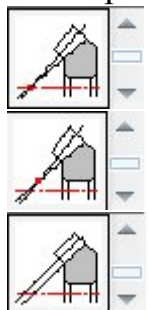
Диаметр зуборезной головки, мм

Развод резцов зуборезной головки

Дополнительные параметры

Угол наклона зуба	[град]	0.0
Ширина шестерни	[мм]	0.0
Внешний модуль	[мм]	0.0
☒ Задать материал шестерни	Выбрать...	40X
☒ Задать материал колеса	Выбрать...	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 Роликоподшипник		
☐ 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.



2. Тип опоры вала шестерни.

Тип опоры вала шестерни

Шарикоподшипник

Не выбран

Шарикоподшипник

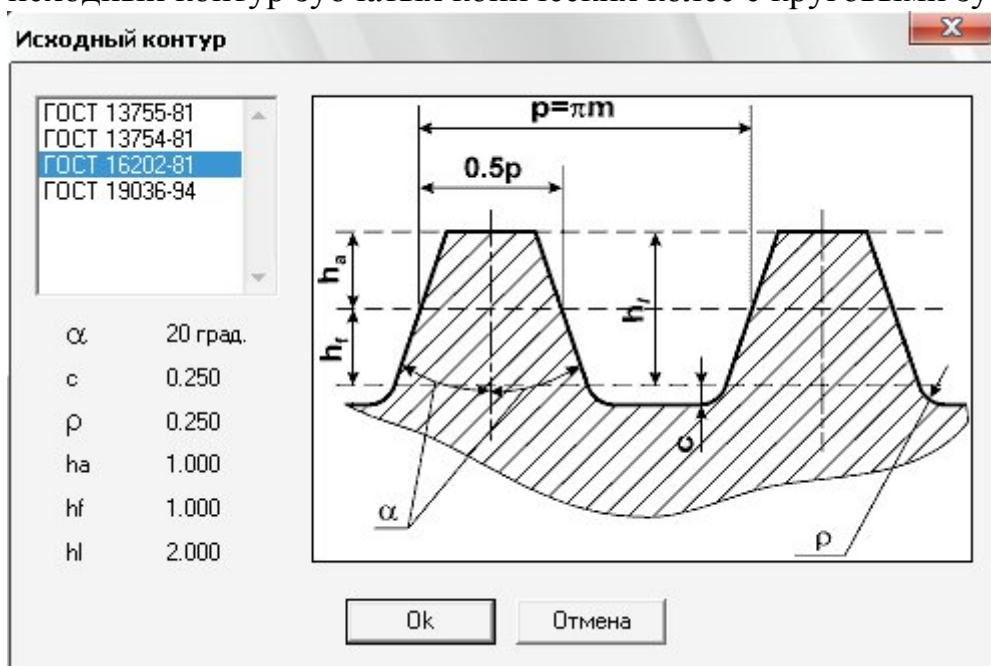
Роликоподшипник

3. Возможность реверса (да, нет).

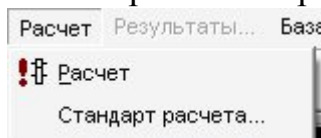
4. Для корректного проведения расчета необходимо указать точное значение твердости поверхности зубьев, использованное при расчете.

После нажатия кнопки «Продолжить» программа выдаст запросы о том, действительно ли коэффициент смещения шестерни x_1 и коэффициент изменения толщины зуба x_t должны иметь нулевые значения. Следует ответить «Да», так как коэффициент изменения толщины зуба при проведении расчета не учитывался, т.е. было принято $x_t = 0$.

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 интересные результаты расчета.



Минимальный возможный зазор $j_{\min}$, [мкм]

39.000

Максимально возможный зазор $j_{\max}$, [мкм]

Среднее конусное расстояние R , [мм]

119.155

Отклонение межосевого угла передачи E_{Sum_γ} , [мкм]

$\pm$ 19.000

Вид сопряжения

D

Класс точности

8

Пересчёт

Класс отклонений межосевого расстояния

Допуски колеса и шестерни

	Обозначе...	Размерн...	Шестерня	Колесо
Средний делительный диаметр	d	мм	57.799	231.194
Допуск на радиальное биение зубчатого венца	F_r	мм	0.045	0.063
Наименьшее отклонение средней постоянной хорды зуба	E_{sc}	мм	-0.044	-0.066
Допуск на среднюю постоянную хорду зуба	T_{sc}	мм	0.065	0.090
Нижнее отклонение средней постоянной хорды зуба	EI_{Sc}	мм	-0.109	-0.156
Верхнее отклонение средней постоянной хорды зуба	ES_{Sc}	мм	-0.044	-0.066

OK

Отмена

Справка...

Основные параметры

β

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
δ_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]

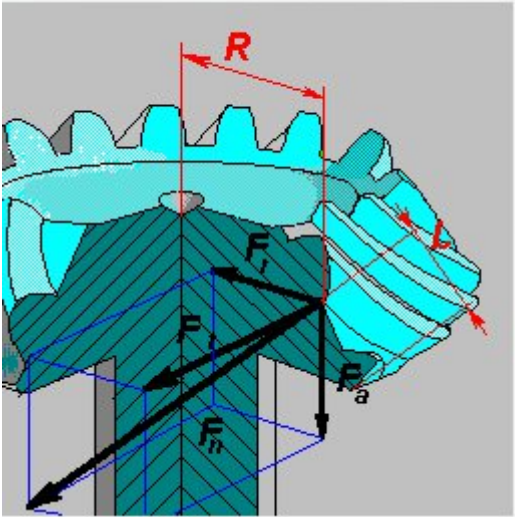
Изгибные

Шестерни.....	146.592 [МПа]
Колеса.....	138.492 [МПа]

Продолжить

Прервать

Силы в зацеплении



Ft..... 2717.853 [Н]

L..... 17.5 [мм]

R..... 25.756 [мм]

Направление линии зуба

	Правое	Левое
Fa	2138.367	-1553.019
Fr	709.274	1632.12

Продолжить

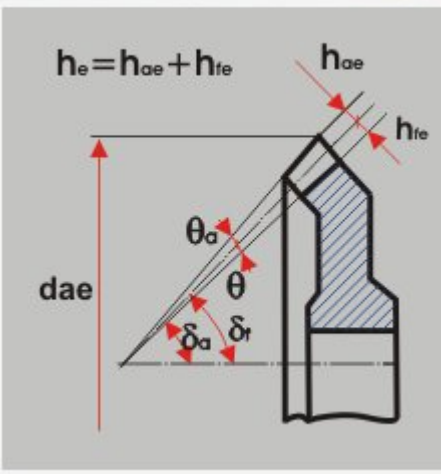
Прервать

Основные геометрические параметры

Параметры	Шестерня	Колесо
dae [мм]	66.582	241.646
hae [мм]	3.393	3.393
hfe [мм]	4.096	4.096
he [мм]	7.488	7.488
sn [мм]	4.36	4.478
Θa [град]	1.896	1.896
Θf [град]	1.896	1.896
δa [град]	15.933	77.86
δf [град]	12.14	74.067
B [мм]	119.177	26.709

Продолжить

Прервать



Параметры качества

ε_{α}	1.49	[-]
ε_{β}	2.272	[-]
ε_{γ}	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».

Черчение

Данные Параметры Сохранить Закреть

Штамп...
Исполнение...
Таблица зацепления...
Технические требования...

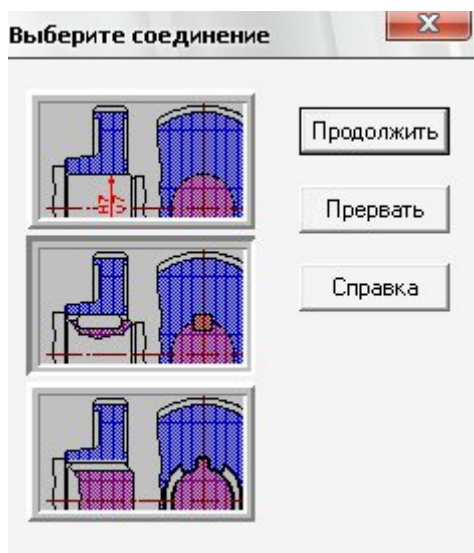
модуль	m	5.0
число зубьев	z	23
Угол наклона зуба	β	9.0
Поправка на смещение	x	0.5
Материал		Ст 40
Степень точности по ГОСТ 1641-77		7-6-7-H
Угловая длина профиля	α_n	131.078
Внешний диаметр	d	164.5
Внутренний диаметр	d_i	13.75
Обозначение чертежа		APP100/2-11

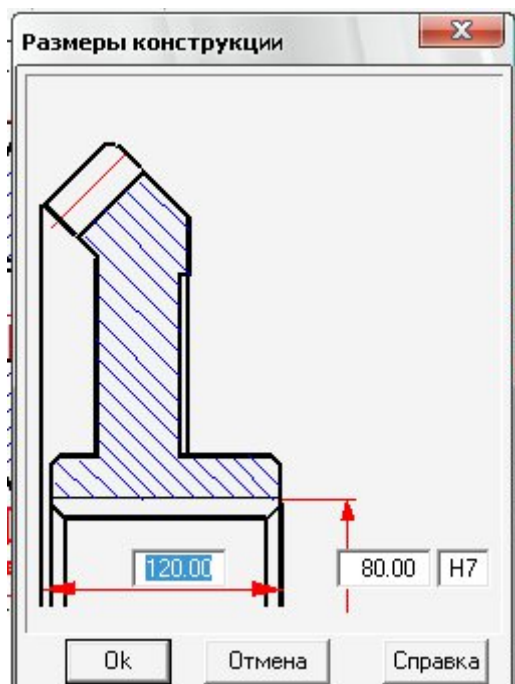
1. Не указанные размеры
2. В системе вала
3. В системе отверстия
4. Не указанные радиусы R = 2
5. Обозначение сопряженного чертежа
- 6.
- 7.
- 8.

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.

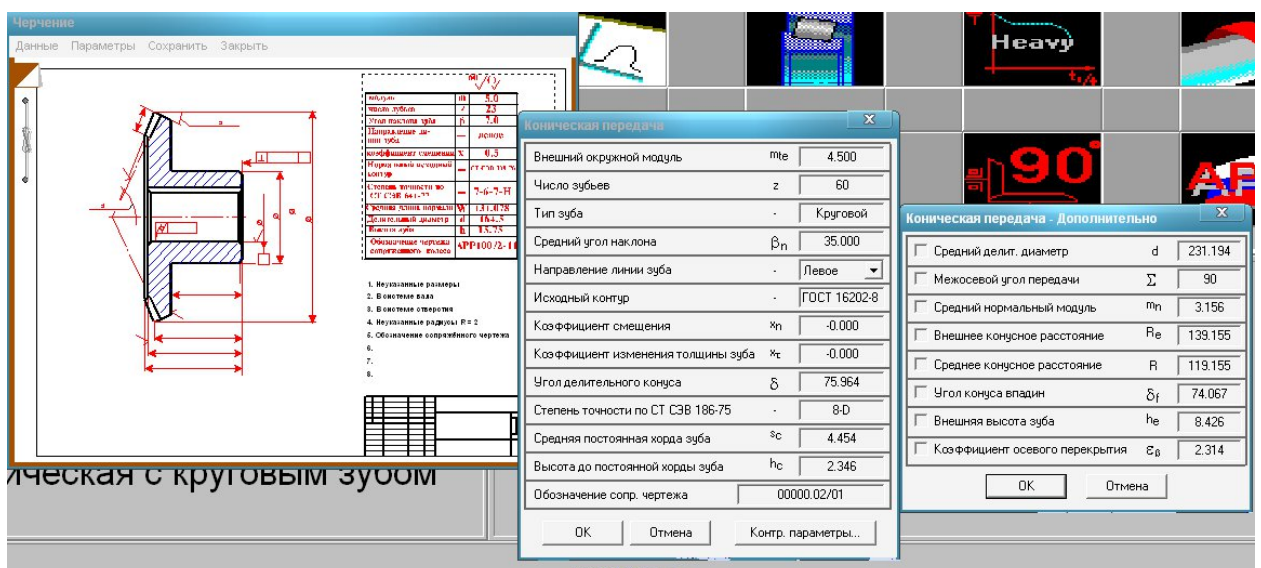




Рекомендации: диаметр отверстия в ступице колеса $d_{\text{вал}} = (6 \dots 7) \sqrt[3]{T_2}$; длина ступицы $l_{\text{ст}} = (0,8 \dots 1,5) d_{\text{вал}}$

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.



Коническая передача - Дополнительно		
☐ Средний делит. диаметр	d	231.194
☐ Межосевой угол передачи	Σ	90
☐ Средний нормальный модуль	m_n	3.156
☐ Внешнее конусное расстояние	R_e	139.155
☐ Среднее конусное расстояние	R	119.155
☐ Угол конуса впадин	δ_f	74.067
☐ Внешняя высота зуба	h_e	8.426
☐ Коэффициент осевого перекрытия	ε_β	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 **APM Graph**, в окне которого и будет показан чертеж рассчитанного зубчатого колеса.

Момент вращения на ведомом валу T_2 , Нм	
Частота вращения ведомого вала n_2 , мин ⁻¹	
Передаточное число u	
Ресурс L_h , час	

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	d				
Внешний окружной модуль	m_e , мм				
Внешнее конусное расстояние	R_e , мм				
Ширина зубчатого венца	b , мм				
Допускаемые напряжения изгиба	$[s_F]$, МПа				
Допускаемые контактные напряжения	$[s_H]$, МПа				
Твердость рабочих поверхностей	- , HRC				
Действующие напряжения изгиба	s_F , МПа				
Действующие контактные напряжения	s_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:

Коническая с круговыми зубьями

Тип расчета:

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 ⁻¹		
Передаточное число u		
Ресурс L_h , час		

4. Результаты расчета конической передачи с круговыми зубьями 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	d				
Внешний окружной модуль	m_e , мм				
Внешнее конусное расстояние	R_e , мм				
Ширина зубчатого венца	b , мм				
Допускаемые напряжения изгиба	$[s_F]$, МПа				
Допускаемые контактные напряжения	$[s_H]$, МПа				

Твердость рабочих поверхностей	- , HRC				
Действующие напряжения изгиба	s_F , МПа				
Действующие контактные напряжения	s_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

5. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Как влияет вид зубьев на размеры передачи и на коэффициент перекрытия?
2. Как влияет твердость материала зубчатых колес на размеры передачи?
3. Как изменяются параметры передачи при учете возможности реверса?
4. Влияет ли на параметры передачи вид используемых подшипников?
5. В каких случаях применяют конические зубчатые передачи?
6. Какими достоинствами обладают конические колеса с круговыми зубьями по сравнению с прямозубыми?
7. Является ли модуль зацепления постоянной величиной для конических зубчатых колес?
8. По какому сечению зуба производят расчет на изгиб конических колес? Какой модуль характеризует размеры этого сечения?
9. Как направлены осевые силы, действующие в зацеплении конических передач?
10. Что понимают под эквивалентным цилиндрическим колесом?
11. Что такое осевая форма зубьев конических колес?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Расчет червячных передач

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

Задание: Задание: рассчитать червячную передачу, подготовить рабочий чертеж червячного колеса и червяка.

Варианты исходных данных

Таблица 3.1

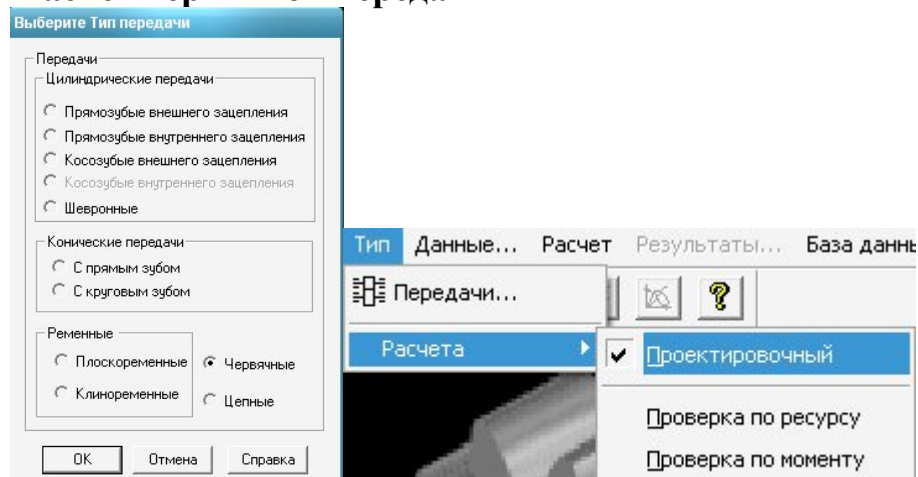
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$T_2, \text{Н*М}$	250	200	280	380	490	580	420	500	620	800	680	540	390	780
$n_2, \text{об/мин}$	180	50	100	80	80	50	70	40	20	40	27	50	42	30
u	16	20	25	28	31,5	35,5	40	45	50	40	31,5	28	25	40
Срок службы, тыс. час	15	18	20	15	20	12	20	15	20	15	16	14	12	15
Режим работы	тяж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

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.[APM Book глава 7.3 Червячные передачи]

Порядок выполнения

Расчет червячной передачи



Расчет червячной передачи в модуле APM Trans 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

$$V_s = 0.45 \times 10^{-3} \times i_2 \times \sqrt[3]{T_2}$$

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.

При необходимости можно также задать дополнительные данные

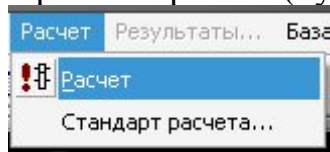
(кнопка «**Ещё**»), среди которых:

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

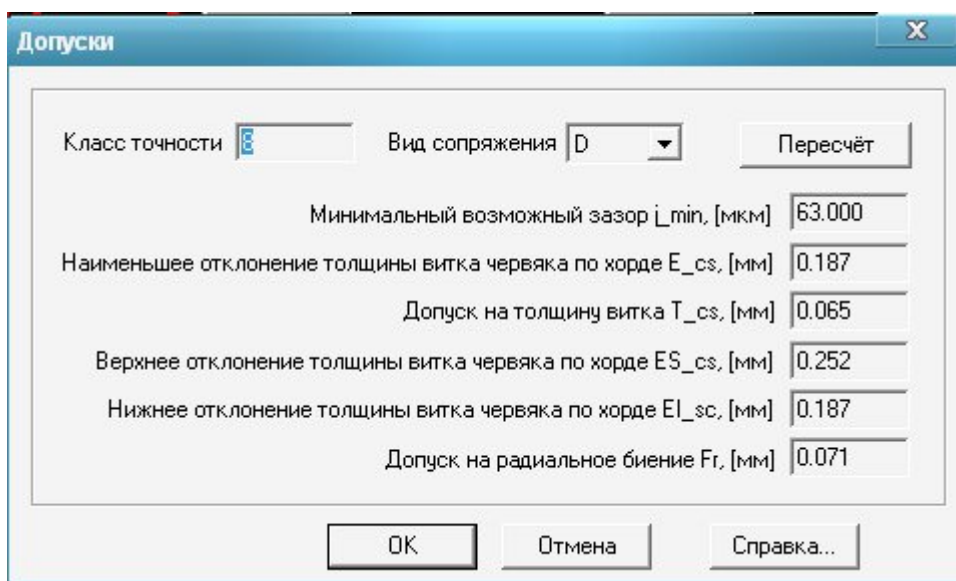
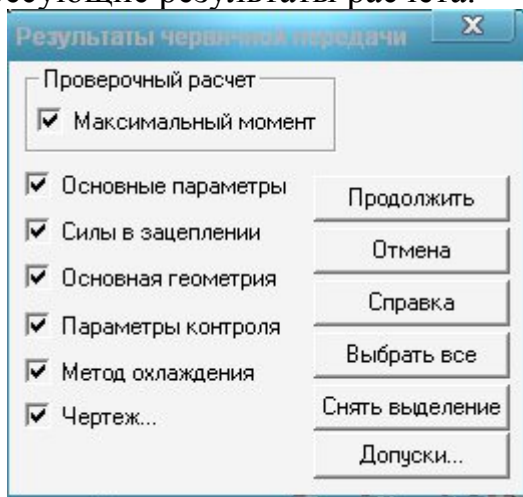
Для расчета заданной передачи достаточно указать лишь основные параметры. В списке дополнительных параметров можно включить флажок

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

3. Провести расчет (пункт «**Расчет**» главного меню).

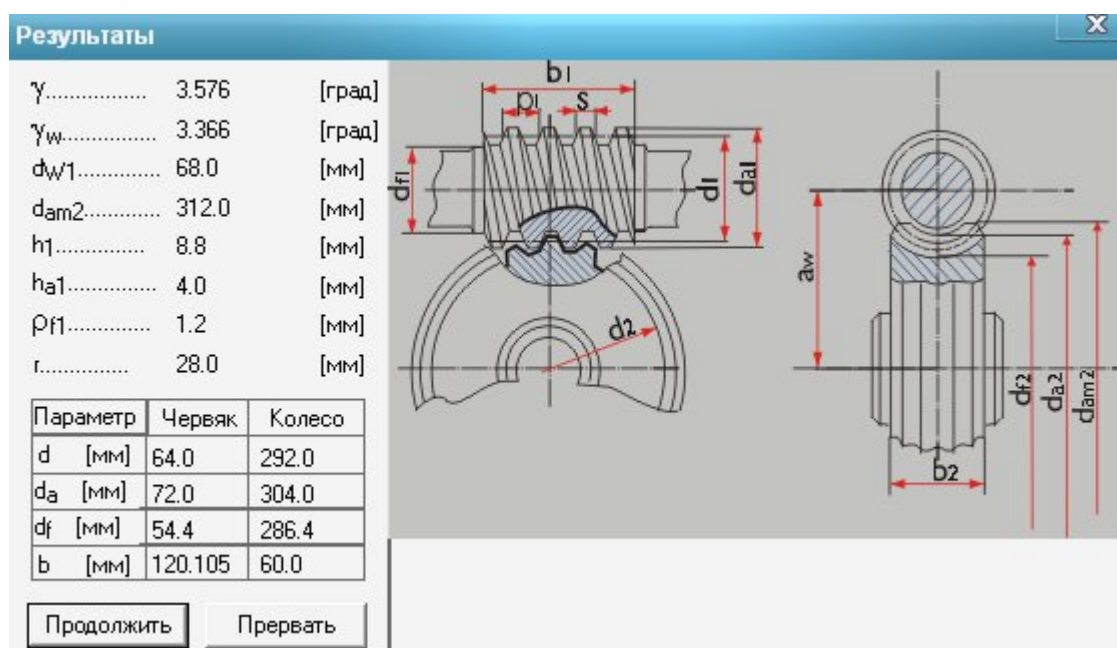
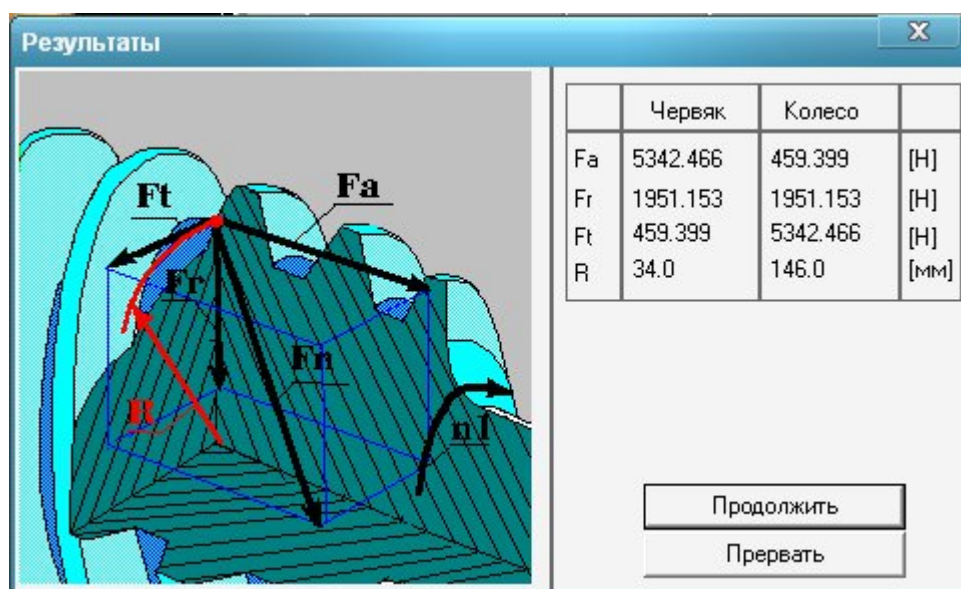


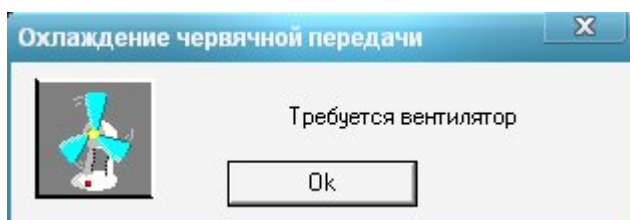
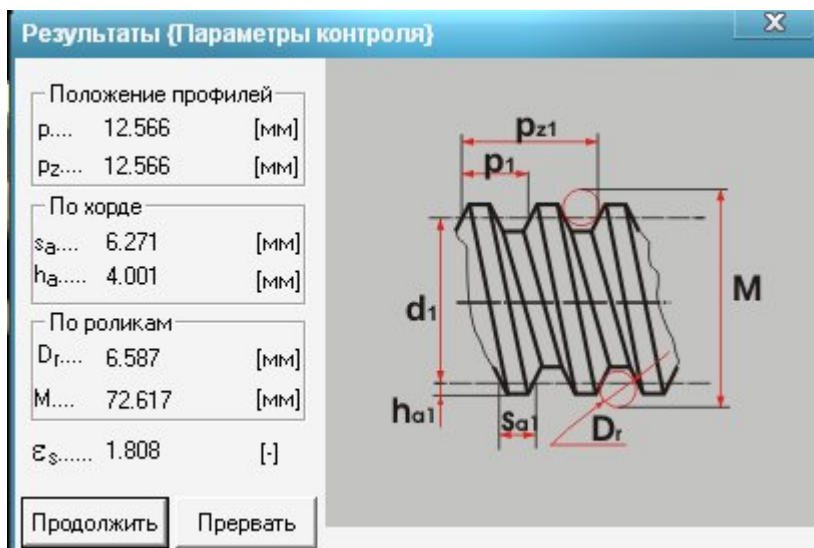
Открыть диалоговое окно «**Результаты**» и отметить флажками интересные результаты расчета.



Результаты

Геометрические параметры			Параметры работы		
a_w	180.0	[мм]	P	3.371	[кВт]
m	4.0	[мм]	η	0.727	[-]
q	16.0	[-]			
x	0.5	[-]			
Число зубьев колеса			73		[-]
Число заходов червяка			1		[-]





2. Заполнить таблицы результатов расчета передачи.

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

$$v_s = \frac{p \times d_1 \times \omega_1}{60000 \times \cos \alpha_w}$$

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 $d_{\text{вал}} = (6 \dots 7) \sqrt[3]{T_2}$; длина ступицы $l_{\text{ст}} = (1,0 \dots 1,8) d_{\text{вал}}$, число отверстий на диске 2, 3, 4, 6.

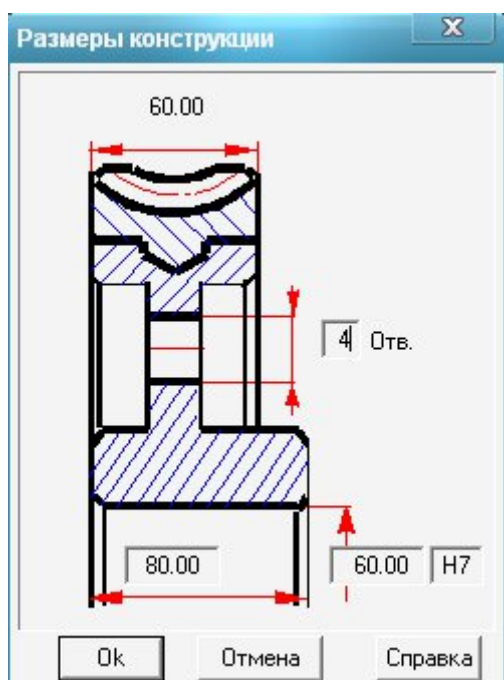
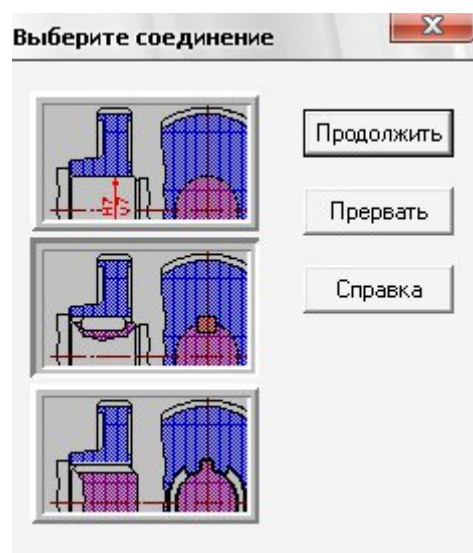
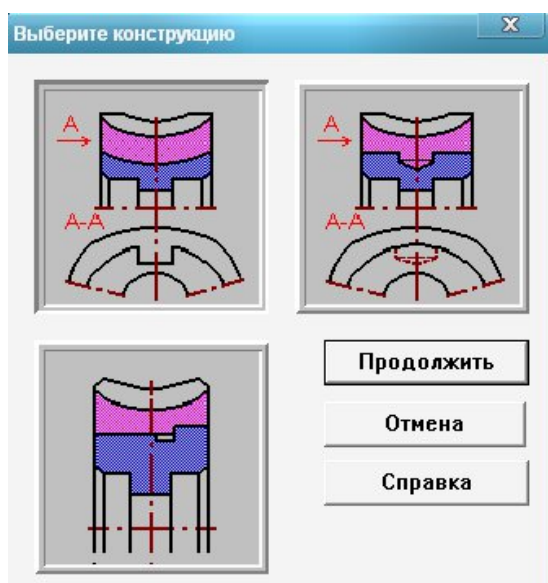


Таблица параметров зацепления		
Модуль	m	4.00
Число зубьев	z	73
Направление зубьев	-	Винтовой
Нормальный иск. контур	-	ГОСТ 19036-8
Коэффициент смещения	x	0.50
Степень точности	-	8-D
Межосевое расстояние	-	180.000
Делительный диаметр	d	292.0000
Тип сопряженного червяка		ZN1
Число заходов червяка	z ^m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

Ok Отмена

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. Ответить на контрольные вопросы

Форма отчета

1. Заданные параметры:

Передача: *Червячная*

Тип расчета: *проектировочный*

Основные данные

Момент вращения на ведомом валу T_2 , Нм	
Частота вращения ведомого вала n_2 , мин ⁻¹	
Передаточное число u	
Возможен реверс (да/нет)	
Ресурс L_h , час	
Рабочий режим передачи	
Скорость скольжения V_s , м/с	
Материал венца колеса	

2. Результаты APM Trans

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	h		

Силы

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

Геометрические параметры

Описание	Символ, единицы	Червяка	Колесо
Делительный угол подъема витков	g , град		
Начальный угол подъема витков	g_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_a , мм		
Наибольший диаметр червячного колеса	d_{wM2} , мм		
Радиус кривизны переходной кривой червяка	r_{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. Расчетная скорость скольжения:

$$V_S = \frac{p \times d_1 \times n_1}{60000 \times \cos g_w}$$

4. Заключение о нагреве передачи, необходимости и способе охлаждения.

5. 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».

- диаметр отверстия в ступице колеса $d_{\text{вал}} = (6 \dots 7) \sqrt[3]{T_2} =$

- длина ступицы $l_{\text{ст}} = (1,0 \dots 1,8) d_{\text{вал}} =$
число отверстий на диске 2, 3, 4, 6.

6. Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Почему червячные передачи не рекомендуют применять при больших мощностях?
2. Из каких соображений выбирают число заходов червяка?
3. Из каких материалов изготавливают червяки и зубчатые венцы червячных колес? Какие факторы определяют выбор материала?
4. Как вычисляют КПД червячной передачи?
5. В чем сущность теплового расчета червячной передачи?
6. Назовите способы охлаждения червячных передач?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Расчет ременных передач

Цель работы: Научиться рассчитывать передачу в APM Trans, оценивать полученные результаты, выполнять рабочий чертеж шкива.

Задание: рассчитать клиноременную передачу, выбрать несколько вариантов, для одного из вариантов, обосновав свой выбор, подготовить рабочий чертеж шкива.

Варианты исходных данных

Таблица 4.1

	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
$n_1, об/ми$ н	950	145 0	285 0	145 0	960	72 0	94 0	145 0	285 0	145 0	950	145 0	287 0	144 0
и	2,5	2,8	3,15	3,55	2,2 4	2,5	2,8	3,15	3,55	4	3,1 5	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

Теоретическая часть

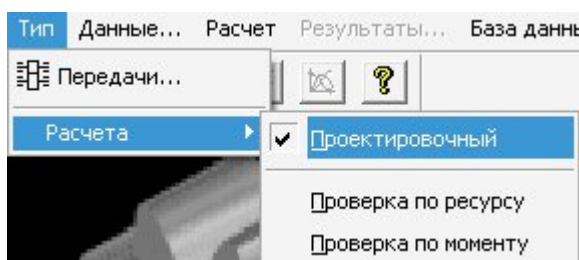
Общие сведения. Кинематика передачи и скольжение ремня. Напряженное состояние ремня передачи. Геометрические соотношения в ременных передачах. Силы, действующие на валы ременных передач. Расчет клиноременной передачи.[АРМ Book глава 8.1 Ременные передачи]

Порядок выполнения

1. Расчет ременной передачи в модуле АРМ Trans начинается:

1. Выбрать «**Тип передачи**» - (клиноременная)

4. «**Тип расчета**» -(проектировочный)



5. Задать основные параметры передачи по заданному варианту (табл.4.1). Диалоговое окно «**Данные**» - «Основные параметры ременной передачи»:

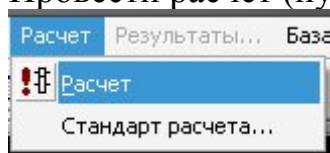
- мощность на ведущем валу;
- число оборотов ведущего вала;
- передаточное число;
- коэффициент динамичности нагрузки.

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

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

необходимые значения (число ремней, угол наклона передачи, межосевое расстояние). По умолчанию максимально допустимое число ремней – 12, расположение передачи – горизонтальное.

6. Провести расчет (пункт «**Расчет**» главного меню).



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

2. Результаты расчета клиноременной передачи.

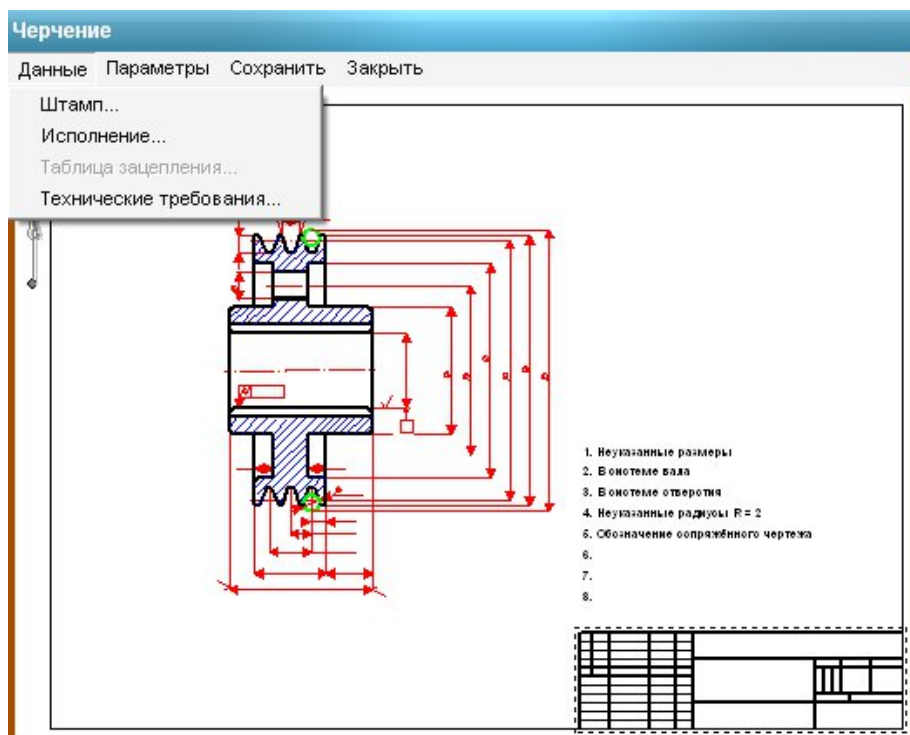
Заполнить таблицу результатов расчета :

Номер, сечение, число ремней, диаметр ведущего шкива, диаметр ведомого шкива, длина ремня, передаточное отношение, межосевое расстояние, сила предварительного натяжения ремня, сила действующая на вал, ширина сечения, высота сечения (выпишите 3, 4 варианта с разными сечениями ремня: учитывая число ремней, диаметры шкивов, передаточное отношение, силы действующие на вал)

Результаты расчета ременной передачи				
Номер	Сечение	Число ремней	Диаметр веду...	Диаметр ведо..
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

3. Выбрать один из вариантов, сохранить результаты расчета.

4. Подготовить и сохранить чертеж ведомого шкива,



выбирая вкладки:

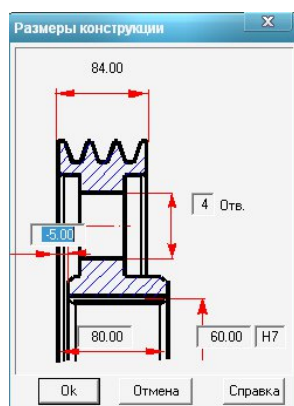
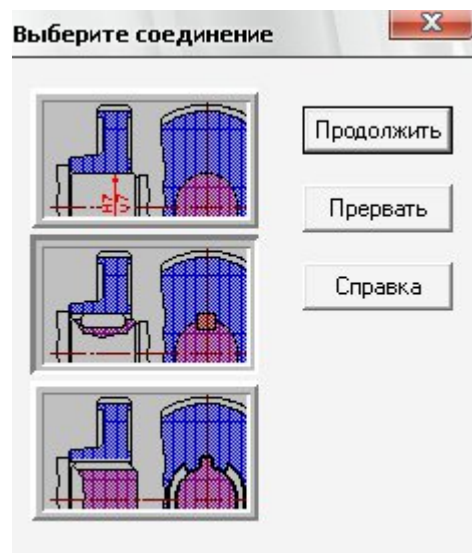
«Чертеж» - «Данные»- «Штамп» - «Исполнение»- «Тип ступицы» - «Соединение»- «Размеры конструкции».

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

Заполнение штампа

					03.12.02-10				
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	ведомый шкив	Лит.	Масса	☐ Масштаб	
Разраб.		Петров И.		14.12.10		☐	☐	110.615	1:2
Пров.		Алтухов С.В.		14.12.10		☐	☐		☐ Увеличение
Т.контр.				14.12.10		Лист	1	Листов	1
Н. контр.				14.12.10		ИрГСХА Инженерный Ф-т			
Утв.				14.12.10	☐ Формат A0				

Ok Отмена Справка



Рекомендации: диаметр отверстия в ступице $d_{\text{вал}} = (7 \dots 8) \sqrt[3]{T_2}$; длина ступицы $l_{\text{ст}} = (0,8 \dots 1,5) d_{\text{вал}}$, число отверстий на диске 2, 3, 4, 6.

5. Ответить на контрольные вопросы

Форма отчета

1. Заданные параметры

Передача:

клиноременная

Тип расчета:

проектировочный

Основные данные:

Тип натяжного устройства	
Мощность передачи P_1 , кВт	
Частота вращения ведущего вала n_1 , мин ⁻¹	
Передаточное число u	
Коэффициент динамичности нагрузки K_d	
Максимально допустимое количество ремней z	

Дополнительные данные

Межосевое расстояние a , мм	
-------------------------------	--

7. Результаты расчета APM Trans

№	сечение	Z	d_1 , (мм)	d_2 , (мм) ₂	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

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

3. Выбрать один из вариантов, сохранить результаты расчета

4. Подготовить и сохранить чертеж ведомого (ведущего) шкива

5. Ответить на контрольные вопросы

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, описывающие ременную передачу?
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 ременной передачи непостоянно?
9. Что такое тяговая способность ременной передачи?
10. В чем сущность усталостного разрушения ремней?
11. От чего зависит срок службы ремней?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Расчет цепных передач

Цель работы: научиться рассчитывать передачу в АРМ Trans, оценивать полученные результаты, выполнять рабочий чертеж звездочки.

Задание: рассчитать цепную передачу роликовой цепью, подготовить рабочий чертеж звездочки, недостающие данные принять самостоятельно.

Варианты исходных данных

Таблица 5.1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T_1 ,	30	70	100	12	15	17	28	35	405	51	62	73	850	95
$H^*_{\text{м}}$				0	0	5	5	0		5	5	5		0
$n_1, \text{об/м}$	150	20	250	300	450	500	395	245	200	140	105	160	280	340

ин		0												
и	2,5	2,8	3,0	3,5	2,4	2,5	2,8	3,2	3,8	4	3,4	2,8	4,5	4
Срок службы, тыс. час	5	6	7	8	9	10	8	5	3	6	8	10	9	7
Режим работы	Плав.	Сп.	Сред.	Лег.	Плав.	Тяж.	Сред.	Лег.	Плав.	Тяж.	Сред.	Лег.	Плав.	Тяж.
			уда р.	уда р.		уда р.	уда р.	уда р.		уда р.	уда р.	уда р.		уда р.

Теоретическая часть

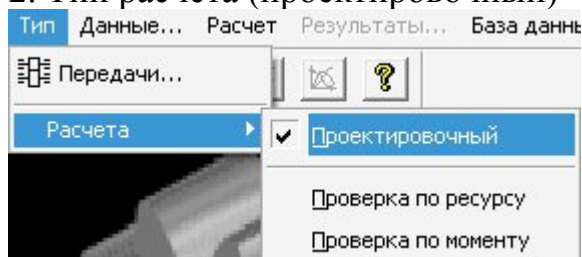
Общие сведения. Кинематика цепной передачи. Геометрические параметры цепных передач. Основные энергетические и силовые характеристики цепных передач. Причины потери работоспособности цепных передач и методы их проектировочного расчета.[АРМ Book глава 8.2 Цепные передачи]

Порядок выполнения

1. Расчет цепной передачи в модуле АРМ Trans начинается:

1. Выбрать тип передачи (цепная)

2. Тип расчета (проектировочный)



3. Задать основные параметры передачи по заданному варианту (табл.5.1).

Диалоговое окно «Данные цепной Передачи»

Данные Цепной Передачи

Момент на ведущей звездочке [Н*м] 950

Обороты ведущей звездочки [об/мин] 340

Передаточное отношение [-] 4

Требуемый ресурс [час] 7000

Рядность цепи [-] 2

Тип звездочки:

Тип смазки: Периодическая смазка

Тип цепи: Роликовая нормальной т

Критерий расчёта: По износостойкос

Режим работы: Тяжело ударная

Ok Прервать Справка Еще...

Примечание:

Частота вращения ведомого вала $n_2 = n_1/u$;

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

Рядность цепи принять поочередно N=1,2,3,4.

Дополнительные данные

Число зубьев звездочек

Малая 0 Большая 0

Межосевое расстояние [мм] 0.0

Продолжить Прервать Справка

4. Провести расчет (пункт «**Расчет**» главного меню).

Расчет Результаты... База

Расчет

Стандарт расчета...

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

Результаты Цепной передачи

Проверочный расчет

☐ Ресурс

☐ Максимальный момент

☒ Параметры цепи

☒ Параметры Звездочек

☒ Нагрузка на вал

☒ Чертеж ...

Отменить все

Выделить все

Продолжить Прервать Справка

Результаты расчета цепной передачи

Параметры передачи

Межосевое расстояние [мм] 2032.98

Параметры цепи

t [мм]	50.8	b [мм]	130.0
D ₁ [мм]	28.58	h [мм]	48.3
B [мм]	31.75	A [мм]	58.55
d [мм]	14.27	N _r [-]	2
b ₁ [мм]	38.0		

Продолжить

Прервать

Параметры звездочек

Параметры контура

	Звездочка			
	Малая	Большая		
Z [-]	9	36	e [мм]	1.524
t _z [мм]	50.8	50.8	r [мм]	14.411
τ [град]	20.0	5.0	r ₁ [мм]	37.275
d _c [мм]	139.572	580.647	O ₁ O ₂ [мм]	35.439
D _d [мм]	148.529	582.865	h _t [мм]	12.7
D _e [мм]	164.972	606.047		
D _i [мм]	119.706	554.042		
L _x [мм]	117.193	553.424		
r ₂ [мм]	20.055	18.862		
α [град]	48.333	53.333		
β [град]	11.333	16.333		
Ψ [град]	9.889	15.222		
FG [мм]	1.593	2.875		
O _{1x} [мм]	17.08	18.34		
O _{1y} [мм]	15.2	13.653		
O _{2x} [мм]	33.302	35.304		
O _{2y} [мм]	12.121	3.089		

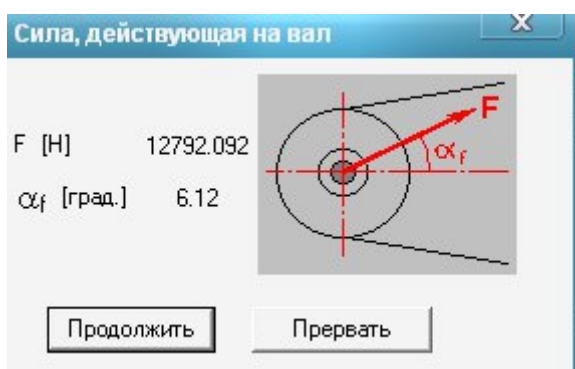
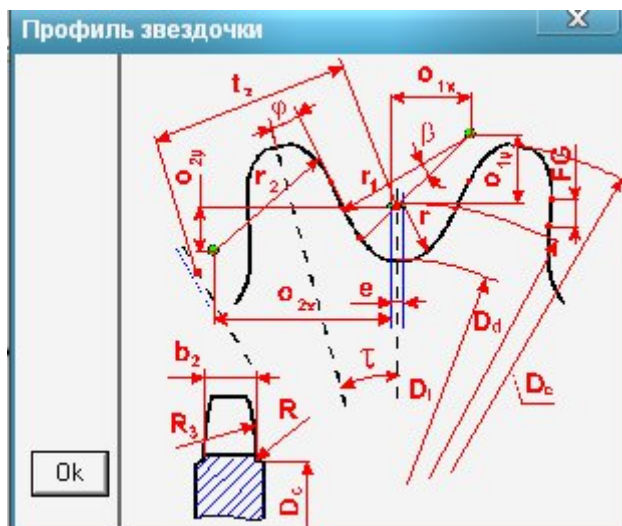
Параметры поперечных сечений

	Звездочка	
	Малая	Большая
D _c [-]	76.782	517.857
b ₂ [мм]	28.425	
B [мм]	86.975	
R [мм]	2.5	
R ₃ [мм]	48.586	

Показать профиль

Продолжить

Прервать



2. Результаты расчета в APM Trans.

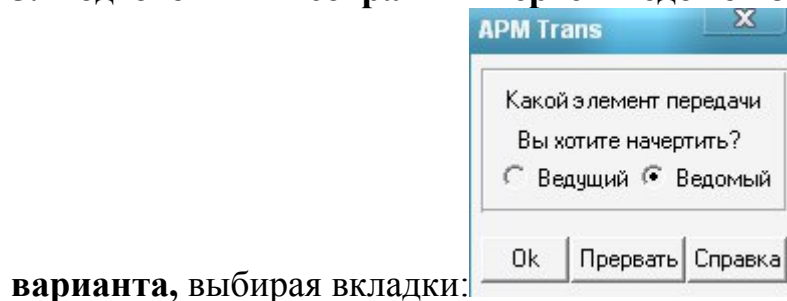
Заполнить таблицу результатов расчета.

3. Сравнить полученные результаты по диаметрам звездочек, шагу цепи, межосевому расстоянию и силе давления на вал.

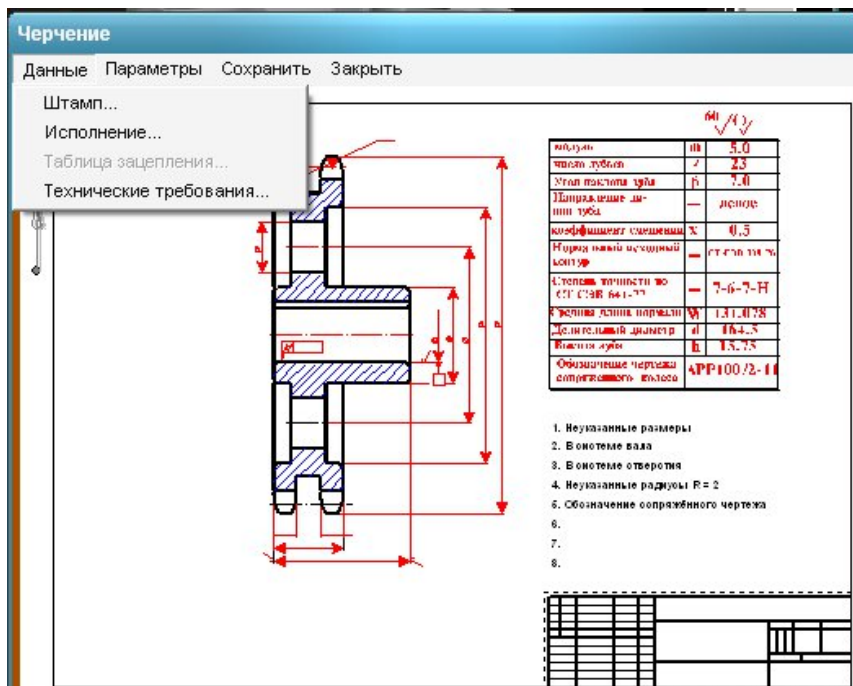
4. Для выбранного варианта заполнить таблицы:

- параметры цепи;
- параметры звездочек;
- сила, действующая на вал;

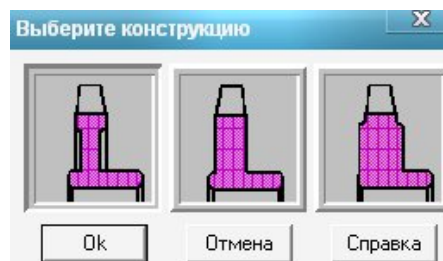
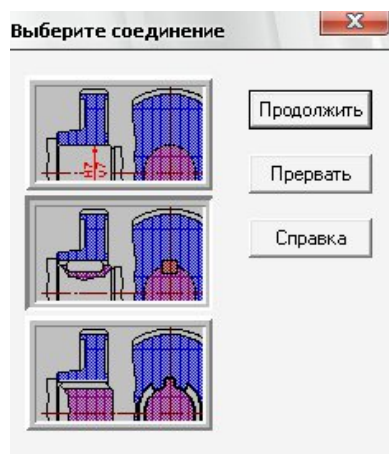
5. Подготовить и сохранить чертеж ведомой звездочки для выбранного

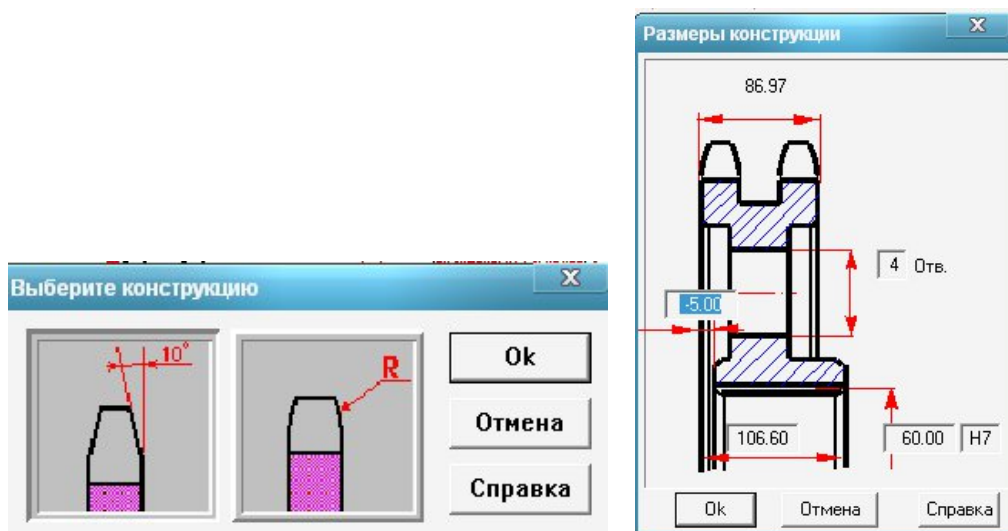


варианта, выбирая вкладки:



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





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

Рекомендации: диаметр отверстия в ступице $d_{\text{вал}} = (5 \dots 6) \sqrt[3]{T_2}$; длина ступицы $l_{\text{ст}} = (0,8 \dots 1,5) d_{\text{вал}}$, число отверстий на диске 2, 3, 4, 6.

6. Ответить на контрольные вопросы

Форма отчета

1. Заданные параметры

Передача: Цепная

Тип расчета: Проектировочный

Основные данные;

Тип цепи	
Вид рабочей нагрузки /режим работы/	
Тип смазки	
Момент вращения на ведомом валу T_2 , Н.м	
Частота вращения ведомого вала n_2 , об/мин	
Передаточное число u	
Ресурс /срок службы/ L_h , час	

2. Результаты расчета в APM Trans.

Цепь				
Рядность цепи n	1	2	3	4

Шаг t , мм								
Межосевое расстояние передачи a , мм								
Сила давления на вал F , Н								
Параметры звездочек	1	2	1	2	1	2	1	2
Число зубьев, Z								
Делительный диаметр d , мм								
Диаметр вершин d_a , мм								
Диаметр впадин d_f , мм								

3. Вывод: выбор одного из вариантов.

4. Для выбранного варианта заполнить следующие таблицы (2.2-2.4):

Таблица 2.2. *Параметры цепи*

Описание	Символ	Звездочка ведущая	Звездочка ведомая	Единицы
Межосевое расстояние	a			мм
Шаг цепи	t			мм
Диаметр ролика цепи	d_t			мм
Расстояние между пластинами	B			мм
Диаметр оси цепи	d			мм
Максимальная ширина цепи	b			мм
Высота пластины цепи	h			мм
Расстояние между осями рядов многорядных цепей	A			мм
Расстояние от края цепи до оси	b_1			мм
Рядность цепи	n			—

Таблица 2.3. *Параметры звездочек*

Описание	Символ	ведущая	ведомая	Единицы
Число зубьев	z			—
Шаг звёздочки	t_z			мм
Половина углового шаг	t			град
Диаметр окружности, вписанной в шаговый многоугольник	d_c			мм
Высота зубьев, измеренная от шаговой линии	h_t			мм
Диаметр делительной	d			мм
Диаметр окружности вершин	d_a			мм
Диаметр окружности впадин	d_f			мм
Наибольшая хорда	L_x			мм
Смещение центров дуг впадин	e			мм
Радиус впадины	r			мм
Радиус профиля головки зубьев	r_2			мм
Половина угла впадины	r_2			град
Половина угла зуба	g			град
Половина угла зуба	g_m			град
(для многорядных цепей)				
Длина прямого участка профиля	h_r			мм
Толщина зуба	b_2			мм
Толщина вершин зубьев	b_3			мм
Опорная длина впадины зуба	c			мм
Радиус закругления	R_2			мм
Ширина многорядной звёздочки	B			мм
Диаметр окружности заплечика	D_c			мм
Радиус скругления вершины	R_3			мм

Таблица 2.4. Сила, действующая на вал

Описание	Символ	ведущая	ведомая	Единицы
Модуль силы				H
Угол между вектором силы и линией центров				град

5. Подготовить и сохранить чертеж ведомой звёздочки для выбранного варианта.

6. Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Какова конструкция 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 звездочки и максимального числа зубьев большой звездочки?
6. Что является основным критерием работоспособности цепных передач?
7. Что такое коэффициент эксплуатации, от чего он зависит?
8. Какие способы смазывания применяют в цепных передачах?

Используемая литература

1. Детали машин: Краткий курс, практ. занятия и тестовые задания: Учебное пособие /Олофинская В.П. ИНФРА-М, ФОРУМ, 2013. – 208 с.
2. Дунаев П.Ф. 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.
3. Курмаз Л.В., Скойбеда А.Т. Детали машин. Конструирование: Учеб.пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2001.
4. Основы технической механики [Текст]: учеб.для студентов учреждений сред. проф. образования / И. С. Опарин. - 5-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 142 с.
5. Шелофаст В.В, Чугунова Т.В. Основы проектирования машин.. Примеры решения задач. – М.: Изд-во АПМ.2008 – 240 с.

Содержание

Введение	3
- Практическая работа № 1. Расчет цилиндрических зубчатых передач	4

- Практическая работа № 2. Расчет конических зубчатых передач	17
- Практическая работа № 3. Расчет червячных передач	38
- Практическая работа №4. Расчет ременных передач	49
- Практическая работа №5. Расчет цепных передач	55
Используемая литература	64
Содержание	