



APM Trans

Руководство пользователя

APM Trans

Система проектирования механических передач вращения

Версия 17

Руководство пользователя

Научно-технический центр «Автоматизированное Проектирование Машин»
141070, Россия, Московская область, г. Королёв, Октябрьский бульвар 14, оф. 6
тел.: +7 (495) 120-58-10.

Наш адрес в Интернете: <http://www.apm.ru>, e-mail: com@apm.ru

Авторские права © 1989 – 2019 Научно-технический центр «Автоматизированное проектирование машин». Все права защищены. Все программные продукты НТЦ «АПМ» являются зарегистрированными торговыми марками центра. Названия и марки, упомянутые в данном руководстве, являются зарегистрированными торговыми марками их законных владельцев.

Отпечатано в России.

Содержание

Содержание	3
Введение	5
Основные положения	5
Требования к аппаратному и программному обеспечению	5
Краткий путеводитель по руководству	5
Глава 1. Элементы интерфейса APM Trans	6
Информационные окна	7
Окно текущей передачи	7
Окно опций текущей передачи	8
Окно заданных параметров	11
Базы данных	11
Стандарт расчета	13
Глава 2. Задачи и результаты	14
Типы передач	14
Типы расчетов	14
Проектировочный расчет	14
Проверочный расчет	15
Проектирование с ограничениями	15
Допуски	16
Цилиндрические передачи	16
Исходные данные	16
Результаты расчета цилиндрических передач	17
Допуски цилиндрических передач	18
Методы и стандарты	18
Свойства материалов	19
Расчет геометрии цилиндрических передач	20
Расчет размеров для контроля взаимного положения разноименных профилей зубьев	22
Конические передачи	25
Исходные данные	25
Результаты расчета конических передач	26
Допуски конических передач	27
Методы и стандарты	27
Расчет геометрии конических зубчатых передач	28
Червячные передачи	36
Исходные данные	36
Результаты расчета червячных передач	36
Допуски червячных передач	37
Методы и стандарты	37
Цепные передачи	38
Исходные данные	38
Результаты расчета цепных передач	39
Методы и стандарты	40
Ременные передачи	40
Исходные данные	40
Результаты расчета ременных передач	40
Методы и стандарты	41
Глава 3. Как работать с системой APM Trans	42

Запуск программы.....	42
Выбор типа передачи.....	42
Выбор типа расчета.....	43
Ввод исходных данных.....	43
Ввод данных из файла.....	44
Выполнение расчета.....	44
Сохранение данных и результатов в файл.....	44
Просмотр результатов расчетов.....	44
Создание рабочего чертежа.....	47
Ввод параметров, описывающих чертёж.....	48
Команды системы генерации чертежей.....	48
Заполнение штампа.....	48
Ввод конструктивного исполнения.....	49
Ввод табличных параметров.....	51
Ввод технических требований.....	51
Вызов редактора APM Graph.....	52
Экспорт исходных данных и результатов расчета.....	52
Вывод результатов на печать.....	53
Завершение работы с системой.....	54
Глава 4. APM Trans в вопросах и ответах.....	55
Литература.....	55

Введение

Основные положения

Модуль *APM Trans* предназначен для проектирования и расчета механических передач вращения. Название модуля образовано сокращением от английского слова «transmission» (передача).

Система предназначена для расчета и проектирования восьми наиболее часто используемых типов передач вращения:

- прямозубые передачи внешнего и внутреннего зацепления;
- косозубые передачи;
- шевронные передачи;
- конические передачи с круговым и прямым зубом;
- червячные передачи;
- плоскоременные передачи;
- клиноременные передачи;
- цепные передачи.

В системе *APM Trans* можно выполнить следующие виды расчетов:

- проектировочный расчет передачи;
- проверочный расчет передачи по моменту;
- проверочный расчет передачи по ресурсу.

С помощью *APM Trans* можно рассчитать следующие характеристики передач вращения:

- геометрические параметры передач;
- силы, действующие в передаче;
- долговечность;
- максимальную допустимую нагрузку;
- параметры контроля.

Система позволяет получить рабочие чертежи элементов передач в формате *APM Graph* (*.agr), 3D-модели элементов передач в формате *Solid Edge* (*.par). При отсутствии установленных систем *APM Graph* и *Solid Edge* генерация в соответствующих форматах невозможна. *APM Trans* позволяет экспортировать исходные данные и результаты расчета в форматы *.ini, *.txt, *.xls и генерировать файл отчета в формате *.rtf.

Требования к аппаратному и программному обеспечению

Система *APM Trans* предназначена для работы в операционных средах семейства Windows (соответственно MS Windows Vista, 7, 8, 10 и Microsoft Windows Server 2008). Компьютер должен быть с двумя процессорами (ядрами), поддерживающие 64-х разрядную адресацию. Объем оперативной памяти - 4 Гбайта. Размер свободного пространства на жестком диске 500 Гбайт. Видеокарта Radeon или Nvidia с аппаратной поддержкой OpenGL.

Краткий путеводитель по руководству

Введение (настоящий раздел) содержит краткое описание системы *APM Trans* с перечнем типов передач, которые она позволяет рассчитывать; приводятся требования к программному и аппаратному обеспечению, даются рекомендации по установке системы на Ваш компьютер.

Глава 1. Элементы интерфейса APM Trans описывает главные элементы пользовательского интерфейса *APM Trans* – меню, диалоговые окна, управляющие элементы, вспомогательные окна.

Глава 2. Задачи, исходные данные и результаты содержит описание задач решаемых системой *APM Trans*. Приводится список параметров требуемых для расчета каждого типа передач. Описываются выходные данные, получаемые в результате расчетов.

Глава 3. Как работать с системой APM Trans содержит полное руководство по работе с системой. Рассматриваются все режимы работы системы.

Глава 4. **APM Trans в вопросах и ответах** содержит ответы на вопросы, которые могут возникнуть при работе с системой *APM Trans*.

Глава 1. Элементы интерфейса APM Trans

Система *APM Trans* предназначена для работы под управлением операционной системы *MS Windows* всех модификаций. Интерфейс пользователя *APM Trans* прост и понятен. Для изучения системы *APM Trans* и начала работы с ней Вам потребуется не более 1-2 сеансов. В этой главе описаны основные элементы пользовательского интерфейса программы. Общий вид системы *APM Trans* представлен на рис. 1.1.

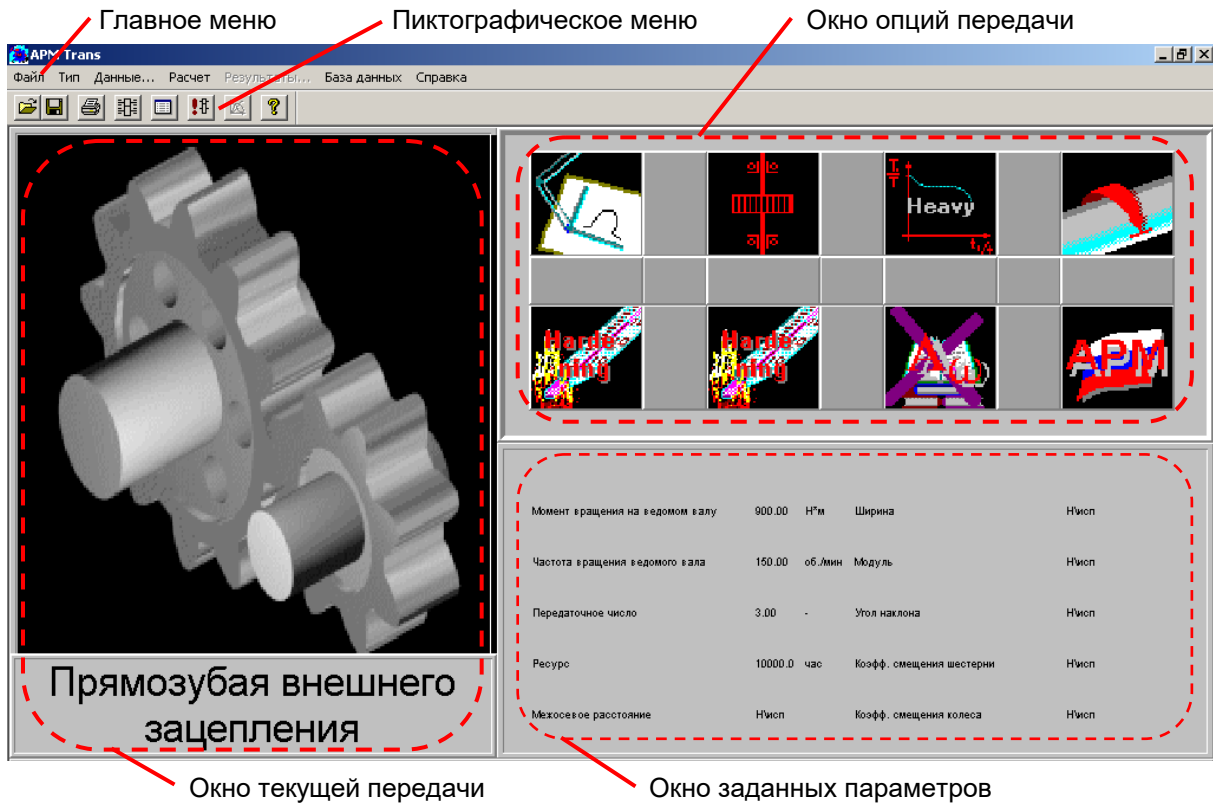


Рис. 1.1 Общий вид программы APM Trans.









Главное меню (рис. 1.2) содержит все команды системы APM Trans.



Рис. 1.2 Структура главного меню APM Trans.

Пиктографическое меню представляет собой группу кнопок расположенных в верхней части главного окна системы (рис. 1.1). Пиктографическое меню позволяет Вам ускорить выбор наиболее часто используемых команд. Краткое описание команд главного меню и соответствующих кнопок пиктографического меню, а также сочетания клавиш ускоренного вызова команд представлены в таблице 1.1. Порядок выполнения расчетов в системе *APM Trans* подробно изложен в главе 3.

Таблица 1.1 – Справочник команд APM Trans

Главное меню	Команда	Сочетание клавиш	Описание команды
Файл	 Открыть...	Ctrl+O	Открыть файл <i>APM Trans</i> (*.wtr)
	 Сохранить	Ctrl+S	Сохранить данные и результаты в файл (*.wtr)
	Сохранить как...	–	Сохранить данные и результаты в файл (*.wtr) под другим именем или как файл отчета формата *.rtf
	 Печать...	Ctrl+P	Вызов диалогового окна печати исходных данных и результатов расчета;
	Установка принтера...	–	Вызов диалогового окна настройки принтера
	Выход	Alt+F4	Выход из программы <i>APM Trans</i>
Тип	 Передачи...	Ctrl+T	Вызов диалогового окна выбора типа передачи
	Расчета – Проектировочный	Ctrl+D	Выбор проектировочного расчета
	Расчета – Проверка по ресурсу	Ctrl+L	Выбор проверочного расчета по ресурсу
	Расчета – Проверка по моменту	Ctrl+Q	Выбор проверочного расчета по моменту
Данные...	 –	–	Вызов диалогового окна ввода исходных данных
Расчет	 Расчет	–	Проведение вычислений
	Стандарт расчета	–	Вызов диалогового окна выбора стандарта расчета
Результаты...	 –	–	Вызов диалогового окна выбора результатов для просмотра
База данных	Установить стандарт...	–	Выбор раздела баз данных
	Исходный контур...	–	Выбор исходного контура
	Настройка базы...	–	Вызов менеджера баз данных
Справка	Содержание	F1	Вызов справки по <i>APM Trans</i>
	 О модуле...	–	Информация об установленной версии <i>APM Trans</i> и разработчике

Информационные окна

Информационные окна составляют «лицо» программы, так как они занимают значительную часть главного окна программы (рис. 1.1). Эти окна предоставляют следующую информацию: *тип текущей передачи, опции текущей передачи и расчёта, заданные числовые параметры текущей передачи*. Каждому типу информации соответствует отдельное окно.

Окно текущей передачи

Окно текущей передачи расположено в верхнем левом углу экрана системы *APM Trans*. В этом окне представлен рисунок текущей передачи и ее наименование.

Окно опций текущей передачи

Данное окно показывает опции текущей передачи в виде пиктограмм (рис. 1.3). Содержание этого окна зависит от текущего выбранного типа передачи. Описание значения пиктограмм для каждого типа передач приводится в таблице 1.2. Следует заметить, что позиция I характеризует тип расчета и не зависит от типа передачи, а позиция VIII не используется для всех типов передач.

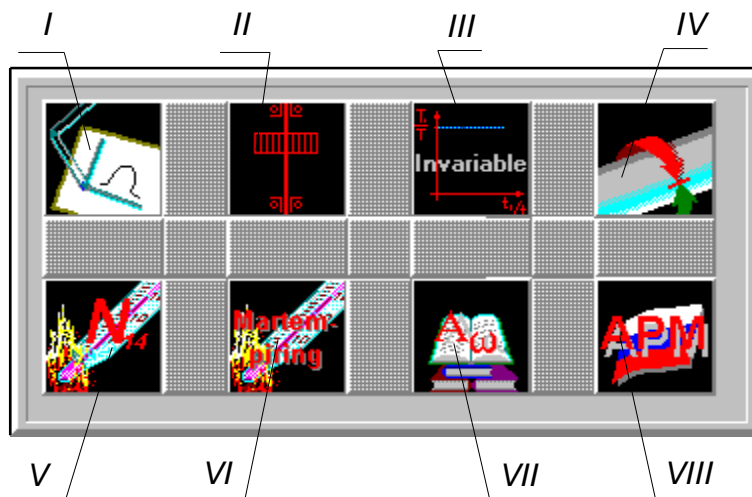
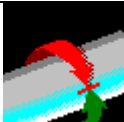
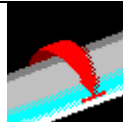


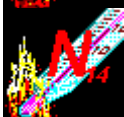




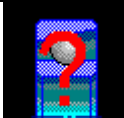
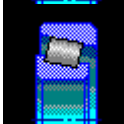
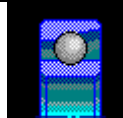

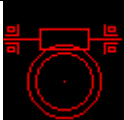






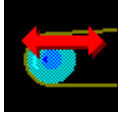
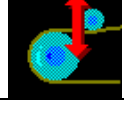



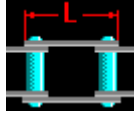















Рис. 1.3 Фрагмент окна опций текущей передачи.

Таблица 1.2 – Пиктограммы окна опций текущей передачи

Цилиндрическая передача				
I Позиция: тип проводимого расчёта		Тип расчёта не выбран		Проектировочный расчёт
		Проверочный расчёт по ресурсу		Проверочный расчёт по моменту
II Позиция: расположение ведущего колеса на валу		Тип расположения не выбран		Консольное расположение
		Несимметричное расположение		Симметричное расположение
III Позиция: режим работы передачи		Режим работы не выбран		Постоянный режим
		Тяжёлый режим работы		Средненормальный режим
		Средневероятный режим		Легкий режим
		Особо легкий режим		Задан пользователем

<p>IV Позиция: реверсивность передачи</p>		<p>Реверсивная передача</p>		<p>Нереверсивная передача</p>
<p>V Позиция: термообработка ведущего колеса передачи</p>	  	<p>Термообработка не выбрана</p> <p>Закалка</p> <p>Азотирование</p>	 	<p>Улучшение</p> <p>Цементация и нитроцементация</p>
<p>VI Позиция: термообработка ведомого колеса передачи</p>	<p>См. предыдущую позицию</p>			
<p>VII Позиция: межосевое расстояние</p>		<p>Нестандартное межосевое расстояние</p>		<p>Стандартное межосевое расстояние</p>
<p>VIII Позиция: Не используется</p>				
<p>Коническая передача</p>				
<p>I Позиция: тип проводимого расчёта См. цилиндрическая передача позиция I</p>				
<p>II Позиция: Тип опор</p>	 	<p>Тип опоры не выбран</p> <p>Роликоподшипники</p>		<p>Шарикоподшипники</p>
<p>III Позиция: режим работы передачи См. цилиндрическая передача позиция III</p>				
<p>IV Позиция: реверсивность передачи См. цилиндрическая передача позиция IV</p>				
<p>V Позиция: термообработка ведущего колеса передачи См. цилиндрическая передача позиция V</p>				
<p>VI Позиция: термообработка ведомого колеса передачи См. цилиндрическая передача позиция VI</p>				
<p>VII Позиция: ортогональность передачи</p>		<p>Показывает, что модуль рассчитывает только ортогональные передачи</p>		
<p>VIII Позиция: Не используется</p>				
<p>Червячная передача</p>				
<p>I Позиция: тип проводимого расчёта См. цилиндрическая передача позиция I</p>				

II Позиция: расположения червяка		Расположение червяка, принимаемое по умолчанию	
III Позиция: режим работы передачи	См. цилиндрическая передача позиция III		
IV Позиция:	Не используется		
V Позиция: материал зубчатого венца червячного колеса		Материал не выбран	
		Безоловянистая бронза	
VI Позиция: материал червяка		Сталь	
VII и VIII Позиции	Не используются		
Ременная передача			
I Позиция: тип проводимого расчёта	См. цилиндрическая передача позиция I		
II, III, IV Позиции	Не используются		
V Позиция: тип механизма натяжения ремней		Тип механизма не выбран	
		Натяжение роликом	
VI, VII, VIII Позиции	Не используются		
Цепная передача			
I Позиция: тип проводимого расчёта	См. цилиндрическая передача позиция I		
II Позиция: тип цепи		Тип цепи не выбран	
		Втулочно-роликовая нормальной серии	
		Втулочно-роликовая с изогнутыми пластинами	
III, IV Позиции	Не используются		
V Позиция: тип смазки цепи		Тип смазки не выбран	
		Периодическая смазка	

		Смазка масляной ванной		Капельная смазка
		Внутришарнирная смазка		Смазка распыливанием
		Циркуляционная смазка		
VI Позиция: тип профиля зубьев звёздочки		Профиль не выбран		Прямолинейный профиль
		Выпукло-вогнутый профиль		
VII, VIII Позиции		Не используются		

Окно заданных параметров

В данном окне показаны начальные параметры текущей передачи. Если параметр не определён, то вместо его численного значения Вы увидите «Н/опр.» Если же параметр не используется (Дополнительные параметры, например), то Вы увидите - «Н/исп.»

Базы данных

Команда **База Данных | Стандарты** позволяет выбрать раздел базы данных, который будет использоваться при расчете. Это означает, что данные, хранящиеся в базе данных *APM MechanicalData* и используемые при расчете, будут выбираться из заданного раздела базы данных. В результате на экран выводится диалоговое окно (рис. 1.4). По умолчанию используется ГОСТ (Россия).

Команда **База Данных | Исходный контур** позволяет установить исходный контур используемого инструмента для нарезания зубьев. Исходные контуры выбираются из установленного раздела базы данных (стандарта). В результате этой команды на экран выводится диалоговое окно *Исходный контур* (рис. 1.5), работа с которым сводится к простому выбору имеющихся в базе данных контуров. Пользователь может добавить и другие контуры в базу данных. Для этого нужно использовать редактор баз данных *APM Base*, входящий в систему *APM WinMachine*. Исходные контуры находятся в базе данных в таблице *Стандарты – ГОСТ – Инструменты – Исходный контур*.

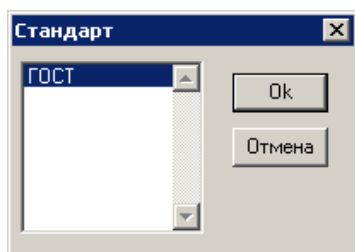


Рис. 1.4 Окно выбора стандарта.

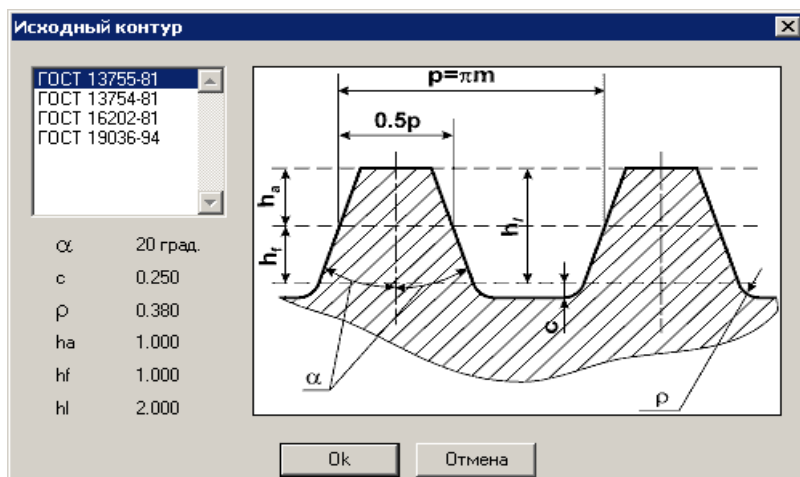


Рис. 1.5 Окно выбора исходного контура.

Команда **База Данных | Настройка базы...** вызывает менеджера баз данных (рис. 1.6). В *APM Trans* возможно дополнение поставляемых вместе с системой баз данных, а также создание пользовательских баз. Такая необходимость возникает при использовании, например покупных ремней или цепей, которых нет в базе или не являющихся стандартными. Менеджер баз данных предназначен для подключения баз данных, используемых при расчете передач и генерации чертежей. Для создания и редактирования баз данных используется модуль *APM Base*. Справочник команд менеджера баз данных представлен в таблице 1.3.

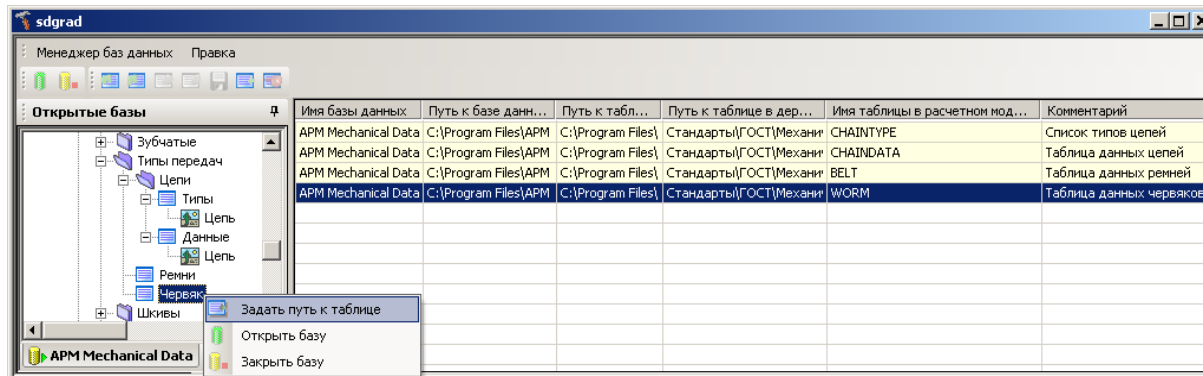


Рис. 1.6 Менеджер баз данных.

Таблица 1.3 – Справочник команд менеджера баз данных

Главное меню	Команда	Описание команды
Менеджер баз данных	Открыть базу...	Вызов диалогового окна открытия базы данных
	Закреть базу	Закреть текущую базу данных
–	Предыдущая строка	Команды перехода по списку таблиц данных
	В начало	
	Следующая строка	
	В конец	
Правка	Сохранить настройки	Сохранить настройки данных
	Задать путь к таблице	Задать выбранный в дереве путь к таблице данных
–	Стереть путь к таблице	Стереть выбранный в дереве путь к таблице данных

Вызов диалогового окна менеджера баз данных (рис. 1.7) осуществляется командой **Менеджер баз данных | Открыть базу...** или нажатием соответствующей кнопки пиктографического меню. В открывшемся диалоговом окне необходимо отметить базу данных для открытия. По умолчанию необходимые таблицы данных находятся в файле *C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\APM Winmachine 2007\DataBase\APM Mechanical Data\APM Mechanical Data.mdb*. Если в предлагаемом списке нет нужного файла, то его можно добавить, нажав на кнопку «Добавить базу...» и указать путь к необходимому файлу.

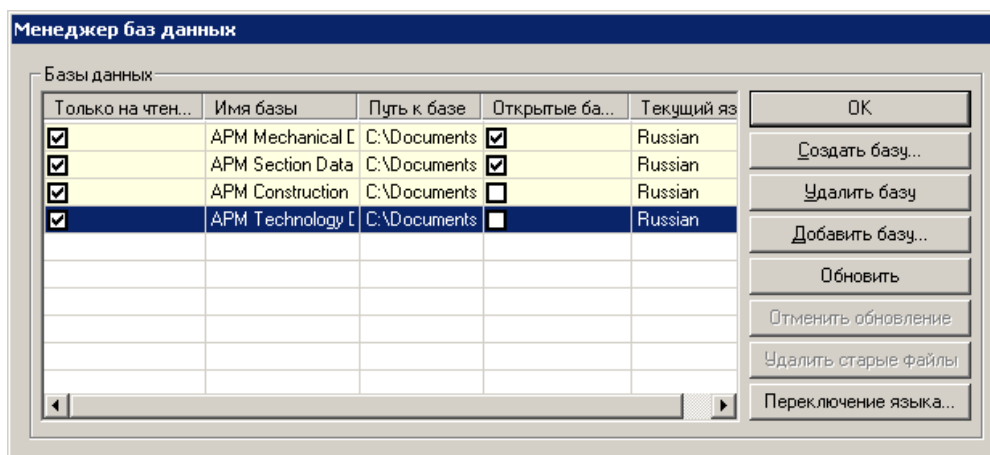


Рис. 1.7 Диалоговое окно менеджера баз данных.



В правой части окна открывшейся базы данных (рис. 1.6) в списке необходимо выбрать базу, которую нужно настроить. Далее в левой части окна открытой базы в дереве необходимо указать соответствующую таблицу и выбрать команду  **Задать путь к таблице** в меню **Правка**, контекстном или пиктографическом меню. Последовательно задать пути ко всем таблицам для всех баз из списка. В настоящей версии системы подключаются следующие таблицы (табл. 1.4): типы цепей, данные цепей, данные ремней, данные червяков.

Таблица 1.4 – Расположение таблиц данных в дереве базы

Расположение таблиц в дереве базы	Название таблицы
Стандарты – ГОСТ – Механические передачи – Типы передач – Цепи – Типы	Типы цепей
Стандарты – ГОСТ – Механические передачи – Типы передач – Цепи – Данные	Данные цепей
Стандарты – ГОСТ – Механические передачи – Типы передач – Ремни	Данные ремней
Стандарты – ГОСТ – Механические передачи – Типы передач – Червяк	Данные червяков

Следует отметить, что при возникновении ошибки базы данных или изменении расположения файла *APM Mechanical Data.mdb* необходимо заново задать пути к таблицам. После указания путей ко всем базам данных необходимо нажать  **Сохранить настройки** и закрыть менеджер баз данных.

Стандарт расчета

Непосредственно перед проведением расчета пользователь может выбрать стандарт расчета, т.е. одну из стандартных методик выбора допускаемых напряжений. Для этого служит команда **Расчет | Стандарт расчета...** Настоящая версия системы позволяет выполнить расчет в соответствии с ГОСТ (Россия), ISO и AGMA (США) (рис. 1.8).

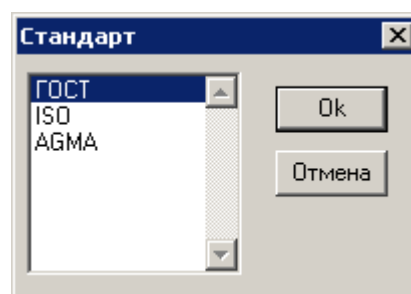


Рис. 1.8 Диалоговое окно выбора стандарта расчета/

Глава 2. Задачи и результаты

Система *APM Trans* предназначена для расчета механических передач вращения, т. е. элементарных механизмов, служащих для передачи крутящего момента от одного вала (ведущего) другому (ведомому). С помощью *APM Trans* Вы можете:

- задать конструкцию передачи;
- выполнить все необходимые расчеты;
- получить рабочие чертежи передачи.

Типы передач

Система позволяет рассчитать и спроектировать следующие типы передач:

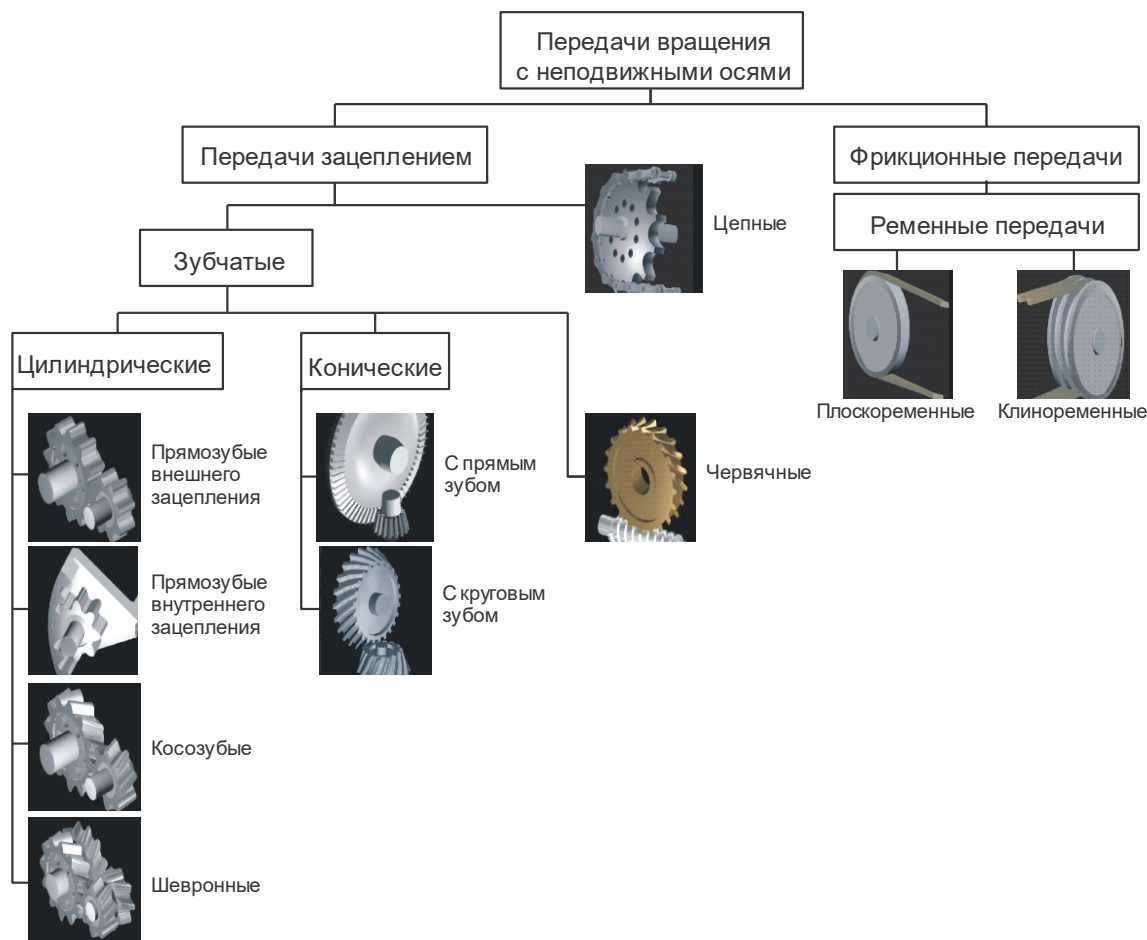


Рис. 2.1 Классификация типов передач, рассчитываемых системой *APM Trans*

Типы расчетов

С помощью *APM Trans* можно выполнить следующие типы расчетов:

- проектировочный расчет передачи;
- проверочный расчет передачи по моменту;
- проверочный расчет передачи по ресурсу.

Проектировочный расчет

При проектировочном расчете пользователь задает значения таких параметров, как внешняя нагрузка, материалы, тип термообработки, кинематические характеристики, ресурс. Используя эти данные, *APM Trans* рассчитывает основные геометрические размеры передачи, основываясь на критериях усталостной прочности на изгиб и сопротивления выкрашиванию.

Проверочный расчет

С помощью проверочного расчета определяется нагрузочная способность передачи при заданных значениях параметров (геометрических размеров, характеристик конструкционных материалов и т.п.). Реализовано два вида проверочных расчетов:

- определение максимального момента при заданном ресурсе;
- определение ресурса при заданной нагрузке.

Примечание: в данной версии *APM Trans* не предусмотрен проверочный расчет по ресурсу для червячных, ременных и цепных передач.

Проектирование с ограничениями

В *APM Trans* возможны дополнительные ограничения на параметры проектируемой передачи. Такая необходимость возникает при проектировании передачи, например, со стандартным межосевым расстоянием или определенным углом наклона зубьев и т.д. Для задания ограничений необходимо ввести **дополнительные данные**, которые позволяют наложить ограничения на рассчитываемую передачу. Вызов диалогового окна ввода **дополнительных данных** осуществляется нажатием кнопки «Еще...» окна ввода основных данных. Признаком установленного параметра является любое отличное от нуля значение. Это соглашение действует на все дополнительные параметры кроме установки коэффициентов смещения инструмента, которые могут иметь нулевое значение. При этом Вас попросят подтвердить их значения в случае равенства нулю.

Для выполнения расчета обязательным является введение всех основных данных. Вводить дополнительные данные следует только при наложении ограничения.

Примеры проектирования с ограничениями

При проектировании зубчатой передачи чаще всего возникает необходимость наложить следующие ограничения:

- 1) вписаться в заданное межосевое расстояние;
- 2) определенный модуль;
- 3) физико-механические свойства применяемых материалов после термообработке несколько отличаются.

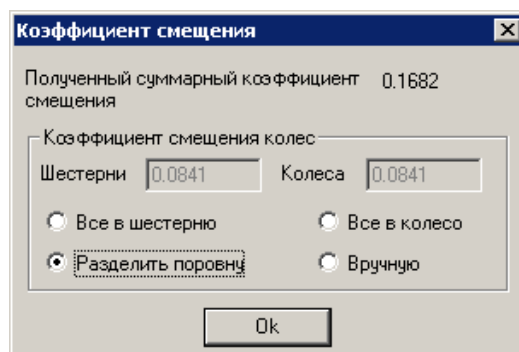
Порядок выполнения расчета:

- 1) Задать основные исходные данные и провести расчет.
- 2) На основании результатов расчета ввести ограничения на те параметры передачи, которым не удовлетворяют результаты, и повторить расчет. Диалоговое окно ввода **дополнительных данных (ограничений)** осуществляется нажатием кнопки «Еще...».

Выполнение проверочного расчета используется для определения нагрузочной способности передачи и уточнения ее геометрических параметров, например при восстановлении изношенных колес. Зачастую возникает необходимость вписаться в заданное межосевое расстояние без изменения геометрии колес, т.е. расчет суммарного коэффициента коррекции.

Порядок выполнения расчета:

- 1) Задать основные исходные данные, значения коэффициентов коррекции оставить нулевыми. Нажать кнопку «Еще...» и в появившемся диалоговом окне ввести ограничение на межосевое расстояние. Провести расчет.
- 2) В процессе расчета *APM Trans* определит суммарный коэффициент коррекции и в окне предложит его разделить: все в шестерню, все в колесо, поровну или разделить вручную.



Суммарный коэффициент смещения

Допуски

В *APM Trans* передачи вращательного движения (цилиндрические, конические, червячные различных типов исполнения) проектируются для конкретных условий эксплуатации, что, в конечном итоге, определяет величины допусков их геометрических размеров в зависимости от класса точности и вида сопряжения (бокового зазора).

Анализ влияния точности изготовления отдельных величин на работоспособность передач приводит к необходимости разделять точность в зависимости от назначения передачи. Поэтому для характеристики точности разработаны следующие нормы: кинематической точности; плавности работы; точности по контакту зубьев; бокового зазора.

В подавляющем большинстве случаев применения зубчатых колес нет необходимости задавать отдельно точность по первым трем пунктам. Для обычных условий эксплуатации можно исходить из того, что Российскими стандартами предусмотрено 12 степеней точности, которые по мере их уменьшения обозначаются цифрами (1,2,3,,11,12). Общее машиностроение оперирует степенями точности (5,6,7,8,9), так как более высокая степень точности (1,2,3,4) используется для создания эталонных колес, а грубые степени не рекомендуется использовать при проектировании машин. В общем случае применения степень точности назначают в зависимости от окружной скорости вращения передачи, а комплексным показателем, в этом случае является, боковой зазор и параметры его обеспечивающие. Последовательность букв (А, В, ..., Н), определяет боковой зазор по мере его уменьшения. Рекомендации по назначению точности цилиндрических передач с прямыми и косыми зубьями приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Рекомендации по назначению степени точности цилиндрических передач

Степень точности	Наименование	Граница окружной скорости колес с прямым зубом, м/с	Граница окружной скорости колес с косым зубом, м/с
4	Особо прецизионные	Свыше 35	Свыше 70
5	Прецизионные	Свыше 20	Свыше 40
6	Высокоточные	До 15	До 30
7	Точные	До 10	До 15
8	Средней точности	До 6	До 10
9	Пониженной точности	До 2	До 4

Цилиндрические передачи

Исходные данные

Основные данные	Дополнительные данные
Проектировочный расчет	
<ol style="list-style-type: none"> Момент на выходном валу передачи, [Н*м]. Частота вращения выходного вала, [об/мин]. Передаточное отношение, [-]. Требуемый ресурс передачи, [час]. Число зацеплений каждого колеса передачи за один оборот ведущего колеса. Термообработка каждого из колёс (улучшение, закалка, цементация и нитроцементация, азотирование). Режим работы передачи (постоянный, тяжёлый, средненормальный, средневероятный, легкий, особо легкий, задан пользователем). Тип расположения колеса на валу (симметрично, несимметрично, консольно). 	<ol style="list-style-type: none"> Межосевое расстояние, [мм]. Коэффициент ширины колеса (относительно межосевого расстояния), [-]. Модуль, [мм]. Угол наклона линии зубьев, град. Коэффициент смещения инструмента для каждого из колёс, [-]. Материал каждого из колёс (выбирается из базы данных). Средняя твёрдость [HRC] поверхности и сердцевины зубьев колёс. По умолчанию принимается средняя твёрдость, обеспечиваемая выбранной термообработкой. Число зубьев. Реверсивность передачи (реверсивная или нереверсивная передача). По умолчанию передача считается нереверсивной. Стандартное межосевое расстояние. По умолчанию межосевое расстояние выбирается из ряда R40.

Проверочный расчет	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Модуль, [мм]. 2. Угол наклона зубьев (для шевронных и косозубых внешнего зацепления), [град]. 3. Число зубьев для каждого из колес. 4. Ширина каждого колеса, [мм]. 5. Коэффициент смещения для каждого колеса. 6. Момент на выходном валу передачи (для расчета по ресурсу), [Н*м]. 7. Частота вращения выходного вала, [об/мин]. 8. Требуемый ресурс передачи (для расчета по моменту), [час]. 9. Число зацеплений каждого колеса передачи за один оборот ведущего колеса. 10. Термообработка каждого из колёс. 11. Режим работы передачи. 12. Расположение шестерни на валу. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Степень точности изготовления передачи. 2. Материал каждого из колёс (выбирается из базы данных). 3. Средняя твёрдость поверхности и сердцевины зубьев колёс. 4. Реверсивность передачи (реверсивная или нереверсивная передача). По умолчанию передача считается нереверсивной. 5. Параметры контроля – диаметр ролика, [мм]. 6. Количество зубьев для контроля длины общей нормали. 7. Межосевое расстояние [мм]. 8. Параметры долбяка (число зубьев, диаметр делительной окружности [мм], коэффициент смещения) с возможностью выбора из базы данных (для прямозубой передачи внутреннего зацепления).

Результаты расчета цилиндрических передач

Наименование параметра	Обозн.	Наименование параметра	Обозн.
Основные геометрические параметры		Параметры общей нормали	
Межосевое расстояние, [мм]	a_w	Угол профиля в точках пересечения с общей нормалью $d_x = d + 2xm$, [град]	α_x
Модуль, [мм]	m	Радиус кривизны профилей в точках пересечения с общей нормалью, [мм]	ρ_w
Угол наклона зубьев, [град]	β	Длина общей нормали, [мм]	W
Делительный диаметр, [мм]	d	Расчётное число зубьев в длине общей нормали, [-]	z_{nr}
Основной диаметр, [мм]	d_b	Параметры зуба по хорде	
Начальный диаметр, [мм]	d_w	Расчётный диаметр, [мм]	$d_y = d$
Диаметр вершин зубьев, [мм]	d_a	Угол профиля на расчётном диаметре, [град]	α_y
Диаметр впадин зубьев, [мм]	d_f	Окружная толщина зубьев на расчётном диаметре, [мм]	s_{ty}
Коэффициент смещения инструмента, [-]	x	Угол наклона линии зуба на расчётном диаметре, [град]	β_y
Высота зубьев, [мм]	h	Половина угловой толщины зуба эквивалентного зубчатого колеса, [град]	ψ_{yv}
Ширина венца, [мм]	b_w	Толщина по хорде зуба, [мм]	s_y
Число зубьев	z	Высота до хорды зуба, [мм]	h_y
Параметры используемых материалов		Контроль по роликам	
Допускаемые контактные напряжения, [МПа]	$[\sigma_H]$	Диаметр ролика, [мм]	D
Допускаемые напряжения изгиба, [Мпа]	$[\sigma_F]$	Диаметр окружности, проходящей через центр ролика, [мм]	d_D
Твердость поверхности, [HRC]	–	Торцевой размер по роликам, [мм]	M
Действующие контактные напряжения, [МПа]	–	Угол профиля зуба в точке лежащей на окружности, проходящей через центр ролика, [град]	α_D
Действующие напряжения изгиба, [Мпа]	–	Радиус кривизны разноимённых профилей зубьев в точках с роликом, [мм]	ρ_m
Силы, действующие в передаче			
Осевая составляющая силы, [Н]	F_a		
Радиальная составляющая силы, [Н]	F_r		
Окружная составляющая силы, [Н]	F_t		
Расстояние от торца колеса до точки приложения силы, [мм]	B		

Плечо приложения равнодействующей силы, [мм]	R	Параметры взаимного положения одноименных профилей зубьев	
Параметры торцевого контура		Шаг зацепления, [мм]	P_α
Угол профиля зуба в точке на окружности вершин, [град]	α_a	Осевой шаг, [мм]	P_x
Радиус кривизны профиля в точке на окружности вершин, [мм]	ρ_a	Ход зубьев, [мм]	P_z
Радиус кривизны активного профиля зуба в нижней точке, [мм]	ρ_p	Параметры качества зацепления	
Параметры постоянной хорды		Минимальное число зубьев шестерни при заданном смещении без «подреза»	z_{\min}
Постоянная хорда зуба, [мм]	s_c	Угол зацепления, [град]	α_{tw}
Высота до постоянной хорды, [мм]	h_c	Коэффициент торцевого перекрытия	ε_α
Радиус кривизны разноименных профилей зубьев в точках, определяющих положение постоянной хорды, [мм]	ρ_s	Коэффициент осевого перекрытия	ε_β
Основной угол наклона зубьев, [град]	β_b	Коэффициент перекрытия	ε_γ
		Угол наклона линии вершины зуба, [град]	β_f
		Нормальная толщина зубьев на поверхности вершин, [мм]	s_{na}
		Радиальный зазор, [мм]	c

Допуски цилиндрических передач

Результаты расчета параметров точности изготовления цилиндрических передач представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры точности изготовления цилиндрических передач

Наименование параметра	Обозначение	Размерность
Минимально возможный зазор	j _{min}	МКМ
Максимально возможный зазор	j _{max}	МКМ
Межосевое расстояние		ММ
Предельное отклонение межосевого расстояния	± fa	МКМ
Класс отклонений межосевого расстояния	–	–
Делительный диаметр	d	ММ
Минимально возможный угол поворота	–	–
Минимально возможный угол поворота	–	–
Допуск на радиальное биение зубчатого венца	Fr	ММ
Наименьшее дополнительное смещение исходного контура	E_H	ММ
Допуск на смещение исходного контура	T_H	ММ
Верхнее отклонение высоты зуба	ES_H	ММ
Нижнее отклонение высоты зуба	EI_H	ММ
Средняя длина общей нормали	Wm	ММ
Наименьшее отклонение средней длины общей нормали	E_Wm	ММ
Допуск на среднюю длину общей нормали	T_Wm	ММ
Верхнее отклонение средней длины общей нормали	ES_Wm	ММ
Нижнее отклонение средней длины общей нормали	EI_Wm	ММ

Методы и стандарты

ГОСТ 16530-83 Передачи зубчатые. Общие термины, определения и обозначения.

ГОСТ 16531-83 Передачи зубчатые цилиндрические. Термины, определения и обозначения.

Прочностной расчет передачи производится на основании:

ISO 6336:1996 Calculation of load capacity of spur and helical gears.

При выборе модуля используется **ГОСТ 9563-60**** (ред. 09.2004) Основные нормы взаимозаменяемости. Колеса зубчатые. Модули.

Расчёт геометрических параметров исходного контура инструмента производится по действующим стандартам:

ГОСТ 13755-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Исходный контур.

ГОСТ 13755-81 регламентирует параметры исходного контура, под которым понимается контур зубьев номинальной исходной зубчатой рейки в сечении плоскостью, перпендикулярной к её делительной плоскости и нормальной к направлению зубьев. Исходный контур (рис. 2.2) характеризуется углом главного профиля α , коэффициентом высоты головки h_a^* , коэффициентом

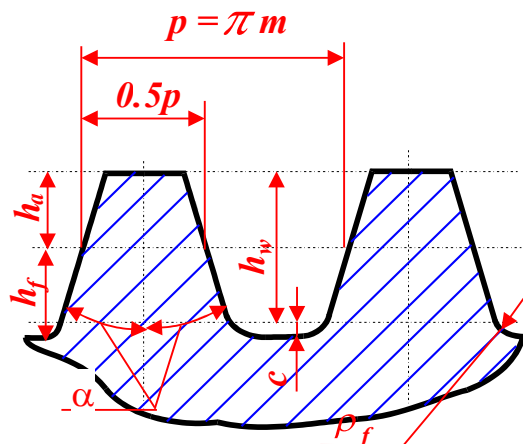


Рис. 2.2 Параметры исходного контура цилиндрических передач

радиального зазора в паре исходных контуров \tilde{n}^* , коэффициентом высоты ножки $h_f^* = h_a^* + c^*$, коэффициентом граничной высоты $h_l^* = 2h_a^*$, коэффициентом глубины захода зубьев в паре исходных контуров $h_w^* = 2h_a^*$, коэффициентом радиуса кривизны переходной кривой ρ_f^* .

Высота головки h_a , радиальный зазор c , высота ножки h_f , граничная высота зуба h_l , глубина захода h_w , радиус переходной кривой ρ определяются умножением соответствующего коэффициента на модуль. Значения параметров, характеризующих стандартный исходный контур, используемый в системе *APM Trans* при расчёте цилиндрических передач приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры исходного контура по **ГОСТ 13755-81**

Наименование параметра	Условное обозначение	Численное значение
Угол главного профиля	α	20°
Коэффициент высоты головки зуба	h_a^*	1.0
Коэффициент радиального зазора в паре исходных контуров	c^*	0.25
Коэффициент высоты ножки зуба	h_f^*	1.25
Коэффициент граничной высоты	h_l^*	2.0
Коэффициент глубины захода зубьев в паре исходных контуров	h_w^*	2.0
Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой	ρ_f^*	0.38

Расчёт геометрических параметров передачи производится по действующим стандартам:

ГОСТ 16532-70 Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии.

ГОСТ 19274-73 Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внутреннего зацепления. Расчет геометрии.

Для расчёта соответствующих контрольных параметров при выборе размеров роликов используется **ГОСТ 2475-88** Проволочки и ролики. Технические условия.

Расчет допусков параметров цилиндрических зубчатых передач в соответствии с:

ГОСТ 1643-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски (для $m \geq 1$ мм).

ГОСТ 9178-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические мелко модульные. Допуски (для $m < 1$ мм).

Свойства материалов

В системе *APM Trans* физико-механические свойства материалов зубчатых колес определяются главным образом видом термообработки, задаваемым в основных исходных данных. В соответствии с таблицей 2.4 учитывается четыре вида термообработки. Термообработку колёс передачи применяют для повышения несущей способности колёс. Описание принципов и методов термообработки можно прочитать в любом учебнике материаловедения.

Таблица 2.4 – Зависимость физико-механических свойств материала от термообработки

Наименование	Твердость	σ_{h0} , МПа	σ_{fo} , МПа	σ_{hmax} , МПа	σ_{fmax} , МПа
1 – Улучшение	27,0	20*HRC+70	18*HRC	48,4*HRC	27,4*HRC
2 – Закалка	50,0	20*HRC+200	600	40*HRC	1320
3 – Цементация	59,0	23*HRC	820	40*HRC	1300
4 – Азотирование	60,0	1050	684	35*HRC	1000

В качестве дополнительных данных для уточнения физико-механических свойств материалов колеса и шестерни могут быть заданы: материал, твердость поверхности и сердцевины зубьев. Выбор материала с соответствующей термической обработкой осуществляется из базы данных материалов (рис. 2.3), рекомендованных для изготовления зубчатых колес. Допускаемые напряжения в базе данных при расчете на контактную прочность и допускаемые напряжения изгиба при расчете на выносливость определяются с учетом коэффициентов запаса. База данных представляет собой отдельный файл *C:\Program Files\APM WinMachine 2006\gearmat.mdb*, доступный, при необходимости, для редактирования. Подробно о выборе коэффициентов запаса прочности и определении допускаемых напряжений изложено в соответствующей главе [2].

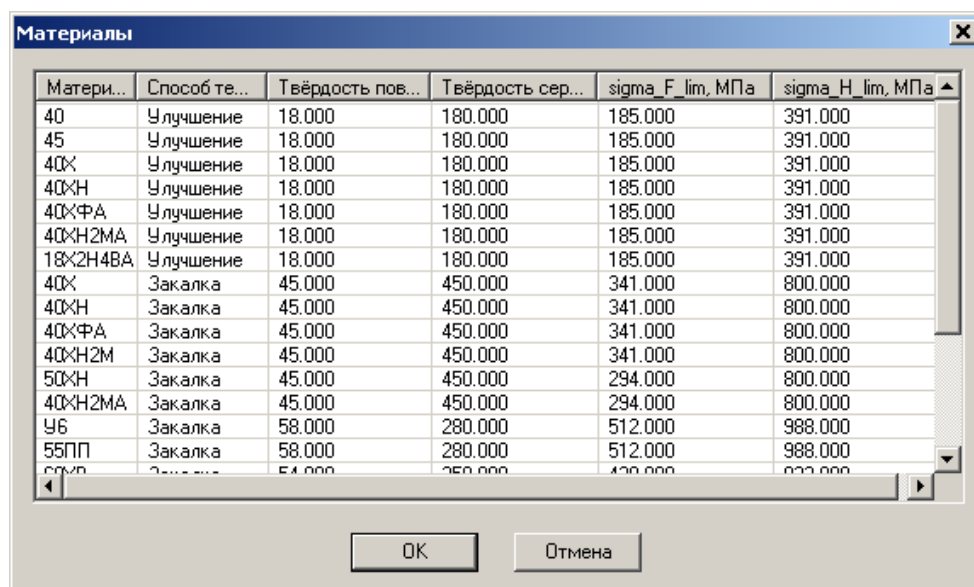


Рис. 2.3 Диалоговое окно выбора материала

В случае не соответствия дополнительного параметра «материал» и основного параметра «термообработка» система *APM Trans* выдаст информационное сообщение (рис. 2.4). При этом дополнительный параметр «материал» в расчетах учитываться не будет.

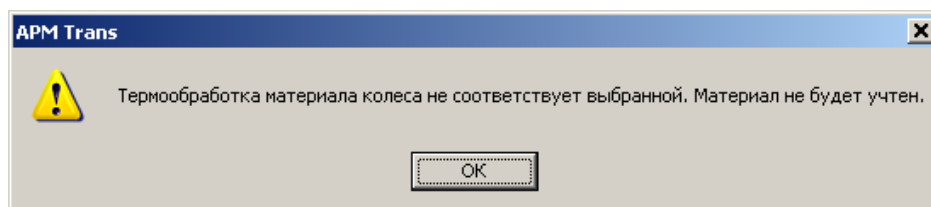


Рис. 2.4 Информационное сообщение

Расчет геометрии цилиндрических передач

Далее приводятся основные сводные формулы геометрического расчета передачи. Подробно с расчетом геометрии цилиндрических передач можно ознакомиться в ГОСТ, а также в [1, 2].

Таблица 2.5 – Условные обозначения и расчетные формулы для геометрического расчета цилиндрических передач

Наименование параметра		Обозначение и расчетные формулы
1. Исходные данные		
1. Число зубьев	шестерни	z_1
	колеса	z_2
2. Модуль		m
3. Угол наклона зуба		β
2. Параметры исходного контура		
1. Угол профиля		α
2. Коэффициент высоты головки		h_a^*
3. Коэффициент радиального зазора		c^*
4. Коэффициент смещения инструмента	шестерни	x_1
	колеса	x_2
5. Ширина венца	шестерни	b_1
	колеса	$b_2 = b_w$
3. Расчетные геометрические зависимости		
1. Делительное межосевое расстояние		$a = \frac{(z_2 \pm z_1)m}{2 \cos \beta}$ *)
2. Коэффициент суммы смещений		$x_\Sigma = x_2 \pm x_1$
3. Угол профиля		$tg \alpha_t = \frac{tg \alpha}{\cos \beta}$
4. Угол зацепления		$inv \alpha_{tW} = \frac{2x_\Sigma tg \alpha_t}{z_2 \pm z_1} + inv \alpha_t$
5. Межосевое расстояние		$a_w = \frac{(z_2 \pm z_1)m \cos \alpha_t}{2 \cos \beta \cos \alpha_{tW}}$
6. Делительный диаметр	шестерни	$d_1 = \frac{z_1 m}{\cos \beta}$
	колеса	$d_2 = \frac{z_2 m}{\cos \beta}$
7. Передаточное отношение		$u = \frac{z_2}{z_1}$
8. Начальный диаметр	шестерни	$d_{w1} = \frac{2a_w}{u \pm 1}$
	колеса	$d_{w2} = \frac{2a_w u}{u \pm 1}$
9. Коэффициент воспринимаемого смещения		$y = \frac{a_w - a}{m}$
10. Коэффициент уравнивающего смещения		$\delta_y = x_\Sigma - y = x_2 \pm x_1 - y$
11. Диаметр вершин зубьев	шестерни	$d_{a1} = d_1 + 2(h_a^* + x_1 - \delta_y)m$
	колеса	$d_{a2} = d_2 + 2(h_a^* + x_2 - \delta_y)m$ **)

12. Диаметр впадин	шестерни	$d_{f1} = d_1 - 2(h_f^* + c^* - x_1)m$
	колеса	$d_{f2} = d_2 - 2(h_f^* + c^* - x_2)m$ **)
13. Высота зуба	шестерни	$h_1 = 0,5(d_{a1} - d_{f1})$
	колеса	$h_2 = 0,5(d_{a2} - d_{f2})$

*) здесь и далее в таблице знак «+» относится к случаю наружного зацепления, а «-» - внутреннего.

**) для внутреннего зацепления эти формулы приобретают вид:

$$d_{a2} = d_2 - 2(h_a^* - x_2 + \delta_y - k)m, \text{ где } k = 0,25 - 0,125x_2 \text{ при } x_2 < 2; k = 0 \text{ при } x_2 \geq 2,$$

$$d_{f2} \approx 2a_w + d_{a1} + 2c \cdot m.$$

Расчет размеров для контроля взаимного положения разноименных профилей зубьев

В расчетах размеров для контроля взаимного положения профилей зубьев будут рассмотрены все возможные варианты, хотя в реальных случаях выбирают какой-либо один метод контроля, увязанный с особенностями технологии изготовления зубчатых колес передачи.

Ниже приведена рекомендуемая последовательность расчета размеров с целью контроля взаимного положения разноименных профилей зубьев для наиболее распространенных случаев зубчатых передач.

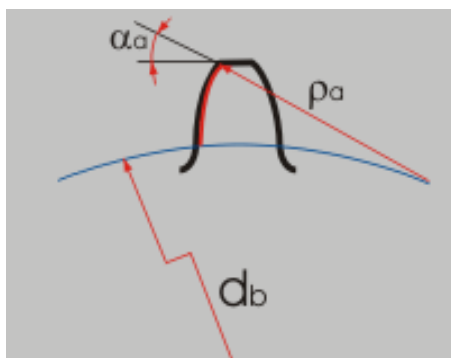


Рис. 2.5 Параметры торцевого контура

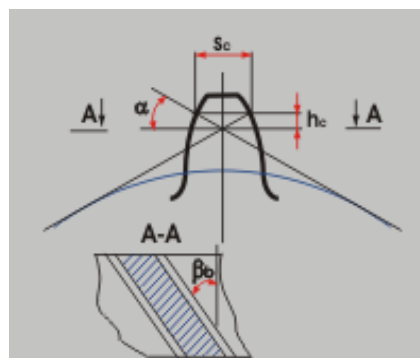


Рис. 2.6 Параметры хорды

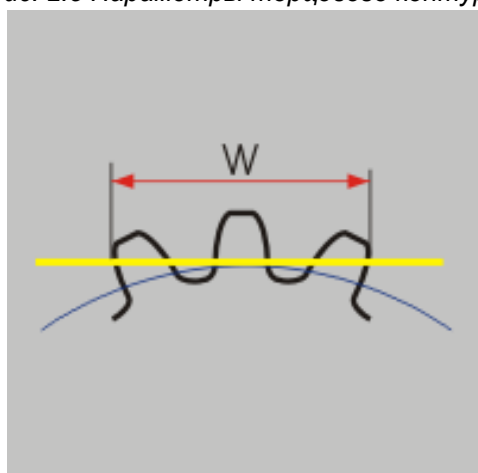


Рис. 2.7 Параметры общей нормали

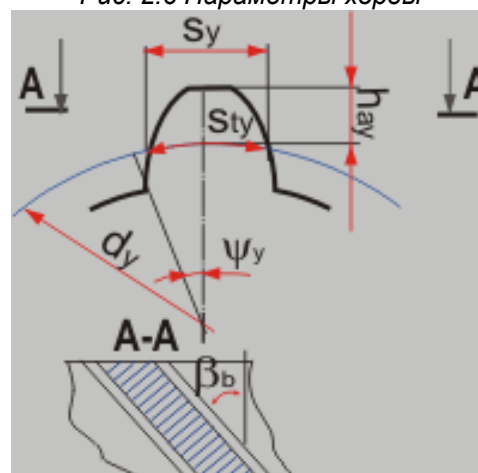


Рис. 2.8 Толщина зуба по хорде

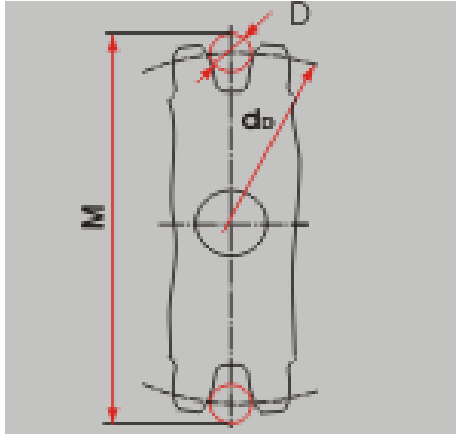


Рис. 2.9 Контроль по роликам

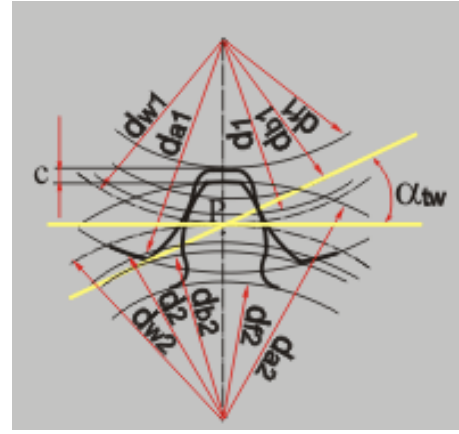


Рис. 2.10 Качество передачи

Таблица 2.6 – Условные обозначения и расчетные формулы для расчета параметров контроля профиля цилиндрической передачи

Наименование параметра		Обозначение и расчетные формулы
1. Расчет параметров торцового профиля		
1. Основной диаметр	шестерни	$d_{b1} = d_1 \cos \alpha_t$
	колеса	$d_{b2} = d_2 \cos \alpha_t$
2. Угол профиля зуба в точке на окружности вершин	шестерни	$\cos \alpha_{a1} = d_{b1} / d_{a1}$
	колеса	$\cos \alpha_{a2} = d_{b2} / d_{a2}$
3. Радиус кривизны профиля зуба в точке на окружности вершины	шестерни	$p_{a1} = 0,5 d_{a1} \sin \alpha_{a1}$
	колеса	$p_{a2} = 0,5 d_{a2} \sin \alpha_{a2}$
4. Радиус кривизны активного профиля зуба в нижней точке	шестерни	$p_{p1} = a_w \sin \alpha_{wt} - p_{a2}$
	колеса	$p_{a2} = a_w \sin \alpha_{wt} - p_{a1}$
2. Расчет постоянной хорды и высоты до постоянной хорды		
1. Постоянная хорда зуба	шестерни	$\bar{s}_{c1} = (0,5\pi \cos^2 \alpha + x_1 \sin 2\alpha) m$
	колеса	$\bar{s}_{c2} = (0,5\pi \cos^2 \alpha + x_2 \sin 2\alpha) m$
1. Радиус кривизны разноименных профилей зуба зубчатого колеса в точках, определяющих положение постоянной хорды	шестерни	$p_{s1} = 0,5 \left(d_{b1} \operatorname{tg} \alpha_t + \bar{s}_{c1} \frac{\cos \beta_b}{\cos \alpha} \right)$
	колеса	$p_{s2} = 0,5 \left(d_{b2} \operatorname{tg} \alpha_t + \bar{s}_{c2} \frac{\cos \beta_b}{\cos \alpha} \right)$
2. Проверка правильности расчета постоянной хорды	шестерни	$p_{a1} > p_{s1} > p_{p1}$
	колеса	$p_{a2} > p_{s2} > p_{p2}$
3. Высота до постоянной хорды	шестерни	$\bar{h}_{c1} = 0,5(d_{a1} - d_1 - \bar{s}_{c1} \operatorname{tg} \alpha)$
	колеса	$\bar{h}_{c2} = 0,5(d_{a2} - d_2 - \bar{s}_{c2} \operatorname{tg} \alpha)$
4. Основной угол наклона		$\sin \beta_b = \sin \beta \cos \alpha$
3. Расчет длины общей нормали		
1. Угол профиля в точке на окружности диаметра $d_x = d + 2xm$	шестерни	$\cos \alpha_{x1} = \frac{z_1 \cos \alpha_t}{z_1 + 2x_1 \cos \beta}$
	колеса	$\cos \alpha_{x2} = \frac{z_2 \cos \alpha_t}{z_2 + 2x_2 \cos \beta}$

2. Расчетное число зубьев в длине общей нормали	шестерни	$z_{nr1} = \frac{z_1}{\pi} \left(\frac{tg\alpha_{x1}}{\cos^2 \beta_b} - \frac{2x_1 tg\alpha}{z_2} - inv\alpha_t \right) + 0,5$
	колеса	$z_{nr1} = \frac{z_1}{\pi} \left(\frac{tg\alpha_{x1}}{\cos^2 \beta_b} - \frac{2x_1 tg\alpha}{z_2} - inv\alpha_t \right) + 0,5$
3. Длина общей нормали	шестерни	$W_1 = [\pi(z_{nr1} - 0,5) + 2x_1 tg\alpha + z_1 inv\alpha_t] m \cos \alpha$
	колеса	$W_2 = [\pi(z_{nr2} - 0,5) + 2x_2 tg\alpha + z_2 inv\alpha_t] m \cos \alpha$
4. Радиус кривизны профилей в точках пересечения с общей нормалью	шестерни	$p_{w1} = 0,5W_1 \cos \beta_b$
	колеса	$p_{w2} = 0,5W_2 \cos \beta_b$
5. Проверка правильности расчета длины общей нормали	шестерни	$p_{p1} > p_{w1} > p_{a1}$
	колеса	$p_{p2} < p_{w2} < p_{a2}$
6. Дополнительное условие для случая $\beta \neq 0$	шестерни	$W_1 < b_1 / \sin \beta_b$
	колеса	$W_2 < b_2 / \sin \beta_b$
4. Расчет толщины по хорде и высоты до хорды		
1. Угол профиля в точке на окружности заданным диаметром d_y	шестерни	$\cos \alpha_{y1} = (d_1 / d_{y1}) \cos \alpha_t$
	колеса	$\cos \alpha_{y2} = (d_2 / d_{y2}) \cos \alpha_t$
2. Окружная толщина зубьев на заданном диаметре d_y	шестерни	$s_{ty1} = d_{y1} \left(\frac{0,5\pi + 2x_1 tg\alpha}{z_1} + inv\alpha_t - inv\alpha_{y1} \right)$
	колеса	$s_{ty2} = d_{y2} \left(\frac{0,5\pi + 2x_2 tg\alpha}{z_2} + inv\alpha_t - inv\alpha_{y2} \right)$
3. Угол наклона линии зуба на цилиндрической поверхности диаметром d_y	шестерни	$tg\beta_{y1} = (d_{y1} / d_1) tg\beta$
	колеса	$tg\beta_{y2} = (d_{y2} / d_2) tg\beta$
4. Половина угловой толщины зуба эквивалентного зубчатого колеса	шестерни	$\psi_{yv1} = \frac{s_{yv1}}{d_{y1}} \cos^2 \beta_{y1} \cos \beta$
	колеса	$\psi_{yv2} = \frac{s_{yv2}}{d_{y2}} \cos^2 \beta_{y2} \cos \beta$
5. Толщина по хорде зуба	шестерни	$s_{y1} = d_{y1} \sin \psi_{yv1} / \cos^2 \beta_{y1}$
	колеса	$s_{y2} = d_{y2} \sin \psi_{yv2} / \cos^2 \beta_{y2}$
6. Высота до хорд зуба	шестерни	$\bar{h}_{ay1} = 0,5 \left[d_{a1} - d_{y1} + \frac{d_{y1}}{\cos^2 \beta_{y1}} (1 - \cos \psi_{yv1}) \right]$
	колеса	$\bar{h}_{ay2} = 0,5 \left[d_{a2} - d_{y2} + \frac{d_{y2}}{\cos^2 \beta_{y2}} (1 - \cos \psi_{yv2}) \right]$
5. Расчет размера по роликам		
1. Диаметр ролика, принимается по ГОСТ 2475-62		$D \approx 1,7m$
2. Угол профиля в точке на окружности зубчатого колеса, проходящей через центры роликов	шестерни	$inv\alpha_{D1} = \frac{D}{z_1 m} \cos \alpha + inv\alpha_t - \frac{0,5\pi - 2x_1 tg\alpha}{z_1}$
	колеса	$inv\alpha_{D2} = \frac{D}{z_2 m} \cos \alpha + inv\alpha_t - \frac{0,5\pi - 2x_2 tg\alpha}{z_2}$

3. Диаметр окружности зубчатого колеса, проходящей через центр ролика	шестерни	$d_{D1} = d_1 \cos \alpha_t / \cos \alpha_{D1}$
	колеса	$d_{D2} = d_2 \cos \alpha_t / \cos \alpha_{D2}$
4. Торцовый размер по роликам	шестерни	При z_1 четном: $M_1 = d_{D1} + D$ При z_1 нечетном: $M_1 = d_{D1} \cos \frac{90^\circ}{z_1} + D$
	колеса	При z_2 четном: $M_2 = d_{D2} + D$ При z_2 нечетном: $M_2 = d_{D2} \cos \frac{90^\circ}{z_2} + D$
5. Радиус кривизны разноименных профилей в точках контакта поверхностей ролика с главными поверхностями зубьев	шестерни	$p_{M1} = 0,5(d_{b1} \operatorname{tg} \alpha_{D1} - D \cos \beta_b)$
	колеса	$p_{M2} = 0,5(d_{b2} \operatorname{tg} \alpha_{D2} - D \cos \beta_b)$
6. Проверка правильности расчета размера по роликам	шестерни	$P_{a1} > P_{M1} > P_{p1}$
	колеса	$P_{a2} > P_{M2} > P_{p2}$
6. Расчет размеров для контроля взаимного положения одноименных профилей зубьев		
1. Шаг зацепления		$p_\alpha = \pi m \cos \alpha$
2. Осевой шаг		$p_x = \pi m / \cos \beta$
3. Ход зубьев	шестерни	$P_{z1} = z_1 P_x$
	колеса	$P_{z2} = z_2 P_x$
7. Проверка качества зацепления по геометрическим показателям		
1. Проверка допустимости значения радиуса кривизны в граничной точке профиля $p_l < P_p$	шестерни	$p_{l1} = 0,5d_1 \sin \alpha_t - [ha + c - p_f(1 - \sin \alpha) - x_1] \frac{m}{\sin \alpha_t}$
	колеса	$p_{l2} = 0,5d_2 \sin \alpha_t - [ha + c - p_f(1 - \sin \alpha) - x_2] \frac{m}{\sin \alpha_t}$
2. Коэффициент торцевого перекрытия		$\varepsilon_\alpha = \frac{z_1 \operatorname{tg} \alpha_{a1} + z_2 \operatorname{tg} \alpha_{a2} - (z_1 + z_2) \operatorname{tg} \alpha_{tw}}{2\pi}$
3. Коэффициент осевого перекрытия		$\varepsilon_\beta = b_w / p_x$
4. Коэффициент перекрытия		$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$
5. Угол наклона линии вершины зуба	шестерни	$\operatorname{tg} \beta_{a1} = (d_{a1} / d_1) \operatorname{tg} \beta$
	колеса	$\operatorname{tg} \beta_{a2} = (d_{a2} / d_2) \operatorname{tg} \beta$
6. Нормальная толщина зуба на поверхности вершин	шестерни	$s_{na1} = d_{a1} \left(\frac{0,5\pi + 2x \operatorname{tg} \alpha}{z_1} + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_{a1} \right) \cos \beta_{a1}$
	колеса	$s_{na2} = d_{a2} \left(\frac{0,5\pi + 2x \operatorname{tg} \alpha}{z_2} + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_{a2} \right) \cos \beta_{a2}$

Конические передачи

Исходные данные

Основные данные	Дополнительные данные
Проектировочный расчет	
1. Момент на ведомом валу передачи [Н*м].	1. Угол наклона зуба, [град], (только для передачи с круговым зубом).
2. Частота вращения ведомого вала [об/мин].	2. Ширина шестерни, [мм].
3. Передаточное отношение [-].	3. Средний внешний модуль, [мм].
4. Ресурс передачи [час].	4. Материал каждого из колёс (выбирается из
5. Термообработка каждого из колёс (улуч-	

<p>шение, закалка, цементация и нитроцементация, азотирование).</p> <p>6. Режим работы передачи (постоянный, тяжёлый, средненормальный, средневероятный, легкий, особо легкий, задан пользователем).</p>	<p>базы данных).</p> <p>5. Средняя твёрдость [HRC] поверхности и сердцевины зубьев колёс. По умолчанию принимается средняя твердость, обеспечиваемая выбранной термообработкой.</p> <p>6. Осевая форма зуба, (только для передачи с круговым зубом).</p> <p>7. Тип опоры вала шестерни (шарикоподшипник или роликоподшипник).</p> <p>8. Реверсивность передачи (реверсивная или нереверсивная передача). По умолчанию передача считается нереверсивной.</p> <p>9. Коэффициент смещения шестерни, [-].</p> <p>10. Коэффициент изменения толщины зубьев шестерни, [-].</p> <p>11. Диаметр зуборезной головки, мм, (только для передачи с круговым зубом).</p> <p>12. Развод резцов зуборезной головки, (только для передачи с круговым зубом).</p>
Проверочный расчет	
<p>1. Угол наклона зубьев, [град], (только для передачи с круговым зубом).</p> <p>2. Число зубьев для каждого из колес.</p> <p>3. Ширина зубчатого венца, [мм].</p> <p>4. Внешний модуль, [мм].</p> <p>5. Коэффициент смещения для каждого колеса, [мм].</p> <p>6. Момент на ведомом валу передачи, [Н*м], (для расчета по ресурсу).</p> <p>7. Частота вращения ведомого вала, [об/мин].</p> <p>8. Долговечность передачи, [час], (для расчета по моменту).</p> <p>9. Термообработки каждого из колёс.</p> <p>10. Режим работы передачи.</p>	<p>1. Материал каждого из колёс (выбирается из базы данных).</p> <p>2. Средняя твёрдость [HRC] поверхности и сердцевины зубьев колёс. По умолчанию принимается средняя твердость, обеспечиваемая выбранной термообработкой.</p> <p>3. Осевая форма зуба, (только для передачи с круговым зубом).</p> <p>4. Тип опоры вала шестерни (шарикоподшипник или роликоподшипник).</p> <p>5. Реверсивность передачи (реверсивная или нереверсивная передача). По умолчанию передача считается нереверсивной.</p> <p>6. Степень точности изготовления передачи.</p> <p>7. Коэффициент изменения толщины зубьев шестерни, [-].</p> <p>8. Диаметр зуборезной головки, мм, (только для передачи с круговым зубом).</p> <p>9. Развод резцов зуборезной головки, (только для передачи с круговым зубом).</p>

Результаты расчета конических передач

Наименование параметра	Обозн.	Наименование параметра	Обозн.
Основные геометрические параметры		Параметры качества зацепления	
Средний угол наклона зубьев, [град]	β	Коэффициент торцевого перекрытия, [-]	ε_{β}
Внешний нормальный модуль, [мм]	m_n	Коэффициент осевого перекрытия, [-]	ε_{α}
Внешний окружной модуль, [мм]	m_e	Коэффициент перекрытия, [-]	ε_{γ}
Внешнее конусное расстояние, [мм]	R_e	Контрольные параметры по хорде	
Среднее конусное расстояние, [мм]	R	Внешняя постоянная хорда, [мм]	s_c
Ширина зубчатого венца, [мм]	b	Высота до внешней постоянной хорды, [мм]	h_c
Внешний делительный диаметр, [мм]	d_e	Половина внешней угловой толщины зуба, [град]	ψ_n
Средний делительный диаметр, [мм]	d_m		
Угол делительного конуса, [град]	δ_w		
Коэффициент смещения	x_n		

Число зубьев	z	Внешняя делительная толщина зуба по хорде, [мм]	s_e
Параметры используемых материалов			
см. параметры цилиндрических передач		Высота до внешней делительной хорды, [мм]	h_{ae}
Силы, действующие в передаче			
см. параметры цилиндрических передач			
Параметры инструмента			
Номинальный диаметр зуборезной головки, [мм]	D_0		
Развод резцов, [мм]	W		
Дополнительные геометрические параметры			
Внешний диаметр вершин зубьев, [мм]	d_{ae}		
Внешняя высота головки зубьев, [мм]	h_{ae}		
Внешняя высота ножки зубьев, [мм]	h_{fe}		
Внешняя высота зубьев, [мм]	h_e		
Внешняя окружная толщина зубьев, [мм]	s_n		
Угол головки зубьев, [град]	Θ_a		
Угол ножки зубьев, [град]	Θ_f		
Угол конуса вершин, [град]	δ_a		
Угол конуса впадин, [град]	δ_f		
Расстояние от вершины конус до плоскости вершин зубьев, [мм]	B		

Допуски конических передач

Результаты расчета параметров точности изготовления конических передач представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Параметры точности изготовления конических передач

Наименование параметра	Обозначение	Размерность
Минимально возможный зазор	j_{min}	мкм
Среднее конусное расстояние	R	мм
Отклонение межосевого угла передачи	E_Sum_r	мм
Средний делительный диаметр	d	мм
Допуск на радиальное биение зубчатого венца	Fr	мм
Наименьшее отклонение средней постоянной хорды зуба	E_sc	мм
Допуск на среднюю постоянную хорду зуба	T_sc	мм
Верхнее отклонение средней постоянной хорды зуба	ES_sc	мм
Нижнее отклонение средней постоянной хорды зуба	EI_sc	мм

Методы и стандарты

ГОСТ 16530-83 Передачи зубчатые. Общие термины, определения и обозначения.

ГОСТ 19325-73 Передачи зубчатые конические. Термины, определения и обозначения.

ГОСТ 12289-76 Передачи зубчатые конические. Основные параметры.

При расчёте конической передачи принимаются следующие основные допущения:

- Средний угол наклона зубьев для колес с круговыми зубьями - **35** градусов.
- Расчетное сечение выбирается посередине зубчатого венца.
- Коэффициент ширины принимается равным **0.285**.
- Передача считается равносмещенной.

Прочностной расчет передачи производится на основании:

ISO/DIN 10300 Calculation of load capacity of bevel gears

Расчёт геометрических параметров исходного контура инструмента производится по действующим стандартам:

ГОСТ 13754-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые конические с прямыми зубьями. Исходный контур.

ГОСТ 16202-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые конические с круговыми зубьями. Исходный контур.

Принятые, согласно стандарту, параметры *торцевого теоретического исходного контура*, т. е. контура зубьев условной рейки, идентичной развертке на плоскость торцевого сечения *теоретического исходного контура плоского колеса*, приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Параметры исходного контура по ГОСТ 13754-81

Наименование параметра	Условное обозначение	Численное значение
Угол главного профиля	α	20°
Коэффициент высоты головки зуба	h_a^*	1.0
Коэффициент радиального зазора в паре исходных контуров	c^*	0.25
Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой	ρ_f^*	0.2

Теоретический исходный контур по **ГОСТ 16202-81**, применяемый для колёс с круговым зубом, имеет такие же параметры за следующим исключением: коэффициент радиуса кривизны переходной кривой ρ_f^* принимается равным 0.25.

ГОСТ 9563-60** (ред. 09.2004) Основные нормы взаимозаменяемости. Колеса зубчатые. Модули. - используется при выборе модуля.

Расчет допусков параметров конических зубчатых передач в соответствии с:

ГОСТ 1758-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые конические и гипоидные. Допуски (для $m \geq 1$ мм).

ГОСТ 9368-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые конические мелкозубные. Допуски. (для $m < 1$ мм).

Расчете параметров резцовой головки в соответствии с:

ГОСТ 11902-77* Головки зуборезные для конических и гипоидных зубчатых колес с круговыми зубьями. Основные размеры.

Свойства материалов зубчатых колес конических передач задаются аналогично свойствам материалов зубчатых колес цилиндрических передач.

Расчет геометрии конических зубчатых передач

Наиболее распространенной формой зуба является следующая: зуб конического колеса пропорционально уменьшается в зависимости от расстояния до торца (рис. 2.11 а, форма 1). Существуют также конструкции, у которых вершины делительного конуса и конуса впадин не совпадают (рис. 2.11 б,с форма 2). Встречаются колеса с равновысоким зубом (рис. 2.11 д, форма 3). Осевая форма 1, являющаяся частным случаем формы 2, применяется для колес с прямым зубом и в отдельных случаях - с круговым. Однако для колес с круговым зубом чаще всего используют форму 2. Форма 3 применяется реже предыдущих, и в основном для неортогональных передач.

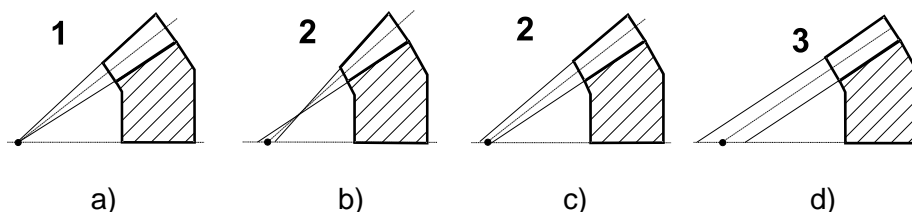


Рис. 2.11 Формы зуба конической передачи

Наибольшее распространение получили *ортогональные передачи*, у которых угол равен $\Sigma = 90^\circ$. Это не означает, что в практике проектирования не встречаются передачи с другим углом расположения осей, но их применение крайне ограничено. В этой связи ниже рассматривается только ортогональная передача.

Таблица 2.9 – Условные обозначения и расчетные формулы для определения основных геометрических размеров ортогональных конических передач с прямыми зубьями ($\beta_n = 0$)

Наименование параметра		Обозначения и расчетные формулы
1. Число зубьев плоского колеса		$z_s = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$
2. Внешний окружной модуль		m_e
3. Внешнее конусное расстояние		$R_e = 0,5m_e z_s$
4. Ширина зубчатого венца		$b \leq 0,3R_e$
5. Коэффициент ширины зубчатого венца		$K_{be} = b/R_e$
6. Среднее конусное расстояние		$R = R_e - 0,5b$
7. Средний окружной модуль		$m = m_e R/R_e$
8. Средний делительный диаметр	шестерня	$d_1 = mz_1$
	колесо	$d_2 = mz_2$
9. Передаточное отношение		$u = z_2/z_1$
10. Угол делительного конуса	шестерня	$tg\delta_1 = 1/u$
	колесо	$\delta_2 = 90^0 - \delta_1$
11. Коэффициент смещения	шестерня	$x_1 = 2(1-1/u^2)\sqrt{(1/z_1)}$
	колесо	$x_2 = -x_1;$
12. Коэффициент изменения толщины зубьев	шестерня	$x_{\tau 1} = 0,03 + 0,008(u - 2,5)$ при $u > 2,5$ $x_{\tau 1} = 0$ при $u \leq 2,5$
	колесо	$x_{\tau 2} = -x_{\tau 1}$
13. Внешняя высота головки зуба	шестерня	$h_{ae1} = (h_a^* + x_{e1})m_e$
	колесо	$h_{ae2} = (h_a^* + x_{e2})m_e$
14. Внешняя высота ножки зуба	шестерня	$h_{fe1} = (h_a^* + c^* - x_{e1})m_e$
	колесо	$h_{fe2} = (h_a^* + c^* - x_{e2})m_e$
15. Внешняя высота зуба	шестерня	$h_{e1} = h_{ae1} + h_{fe1}$
	колесо	$h_{e2} = h_{ae2} + h_{fe2}$
16. Внешняя окружная толщина зубьев	шестерня	$s_{e1} = (0,5\pi + 2x_{e1}tg\alpha + x_{\tau 1})m_e$
	колесо	$s_{e2} = (0,5\pi + 2x_{e2}tg\alpha + x_{\tau 2})m_e$
17. Угол ножки зубьев	шестерня	$\theta_{f1} = arctg(h_{fe1}/R_e)$
	колесо	$\theta_{f2} = arctg(h_{fe2}/R_e)$
18. Угол головки зубьев	шестерня	$\theta_{a1} = \theta_{f2}$
	колесо	$\theta_{a2} = \theta_{f1}$
19. Угол конуса вершин	шестерня	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1}$
	колесо	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2}$
20. Угол конуса впадин	шестерня	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$
	колесо	$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$

21. Внешний делительный диаметр	шестерня	$d_{e1} = m_e z_1$
	колесо	$d_{e2} = m_e z_2$
22. Внешний диаметр вершин зубьев	шестерня	$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1} \cos \delta_1$
	колесо	$d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2} \cos \delta_2$
23. Расстояние от вершины конуса до плоскости вершин зубьев	шестерня	$B_1 = 0,5d_{e2} - h_{ae1} \sin \delta_1$
	колесо	$B_2 = 0,5d_{e1} - h_{ae2} \sin \delta_2$

Таблица 2.10 – Условные обозначения и основные формулы геометрического расчета параметров ортогональной конической передачи с круговыми зубьями, изготовленными по форме 1

Параметр		Обозначения и расчетные формулы
1. Число зубьев плоского колеса		$z_s = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$
2. Среднее конусное расстояние		$R = m_n z_s / (2 \cos \beta_n)$
3. Внешнее конусное расстояние		$R_e = 0,5 m_e z_s$
4. Ширина зубчатого венца		b
5. Среднее конусное расстояние для зубьев		$R = R_e - 0,5b$
6. Коэффициент ширины		$K_{be} = b / R_e$
7. Средний нормальный модуль зубьев		$m_n = (m_e R / R_e) \cos \beta_n = (m_e - b / z_s) \cos \beta_n$
8. Передаточное число		$u = z_2 / z_1$
9. Угол делительного конуса	шестерня	$\operatorname{tg} \delta_1 = 1/u$
	колесо	$\delta_2 = 90^\circ - \delta_1$
10. Коэффициент смещения	шестерня	$x_1 = 2(1 - 1/u^2) \sqrt{\cos^3 \beta_n / z_1}$
	колесо	$x_{n2} = -x_{n1}$
11. Коэффициент изменения толщины зубьев шестерни		$x_{\tau 1} = 0,03 + 0,008(u - 2,5) + 0,0025\beta_n, u > 2,5;$
12. Внешний окружной модуль		$m_e = 2R_e / z_s$
13. Высота ножки зуба в расчетном сечении, мм	шестерня	$h_{f1} = (h_a^* + c^* - x_{n1}) m_n$
	колесо	$h_{f2} = (h_a^* + c^* - x_{n1}) m_n$
14. Нормальная толщина зуба в расчетном сечении	шестерня	$s_{n1} = (0,5\pi + 2x_{n1} \operatorname{tg} \alpha_n + x_{\tau 1}) m_n$
	колесо	$s_{n2} = \pi m_n - s_{n1}$
15. Угол ножки зубьев	шестерня	$\operatorname{tg} \theta_{f1} = h_{f1} / R$
	колесо	$\operatorname{tg} \theta_{f2} = h_{f2} / R$
16. Угол головки зубьев	шестерня	$\theta_{a1} = \theta_{f2}$
	колесо	$\theta_{a2} = \theta_{f1}$
17. Увеличение высоты головки зуба при переходе от среднего сечения на внешний торец	шестерня	$\Delta h_{ae1} = 0,5bt \operatorname{tg} \theta_{a1}$
	колесо	$\Delta h_{ae2} = 0,5bt \operatorname{tg} \theta_{a2}$
18. Увеличение высоты ножки зуба при переходе от расчетного сечения на внешний торец	шестерня	$\Delta h_{fe1} = 0,5bt \operatorname{tg} \theta_{f1}$
	колесо	$\Delta h_{fe2} = 0,5bt \operatorname{tg} \theta_{f2}$
19. Высота головки зуба в расчетном сечении	шестерня	$h_{a1} = (h_a^* + x_{n1}) m_n$
	колесо	$h_{a2} = (h_a^* - x_{n2}) m_n$

20. Внешняя высота головки зуба	шестерня	$h_{ae1} = h_{a1} + \Delta h_{ae1}$
	колесо	$h_{ae2} = h_{a2} + \Delta h_{ae2}$
21. Внешняя высота ножки зуба	шестерня	$h_{fe1} = h_{f1} + \Delta h_{fe1}$
	колесо	$h_{fe2} = h_{f2} + \Delta h_{fe2}$
22. Внешняя высота зуба	шестерня	$h_{e1} = h_{ae1} + h_{fe1}$
	колесо	$h_{e2} = h_{ae2} + h_{fe2}$
23. Угол конуса вершин	шестерня	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1}$
	колесо	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2}$
24. Угол конуса впадин	шестерня	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$
	колесо	$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$
25. Средний делительный диаметр	шестерня	$d_1 = m_n z_1 / \cos \beta_n$
	колесо	$d_2 = m_n z_2 / \cos \beta_n$
26. Внешний делительный диаметр	шестерня	$d_{e1} = m_{te} z_1$
	колесо	$d_{e2} = m_{te} z_2$
27. Внешний диаметр вершин	шестерня	$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1} \cos \delta_1$
	колесо	$d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2} \cos \delta_2$
28. Расстояние от вершины до плоскости внешней окружности вершин зубьев	шестерня	$B_1 = 0,5d_{e2} - h_{ae1} \sin \delta_1$
	колесо	$B_2 = 0,5d_{e1} - h_{ae2} \sin \delta_2$
29. Коэффициент осевого перекрытия		$\varepsilon_\beta = \frac{b \sin \beta_n}{\pi m_n}$

Таблица 2.11 – Условные обозначения и основные формулы геометрического расчета параметров ортогональной конической передачи с круговыми зубьями, изготовленными по форме 2

Параметр	Обозначения и расчетные формулы	
1. Число зубьев плоского колеса	$z_s = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$	
2. Внешнее конусное расстояние	$R_e = 0,5m_{te}z_s$	
3. Ширина зубчатого венца	b	
4. Среднее конусное расстояние для зубьев	$R = R_e - 0,5b$	
5. Коэффициент ширины	$K_{be} = b / R_e$	
6. Средний нормальный модуль зубьев	$m_n = (m_{te} R / R_e) \cos \beta_n = (m_{te} - b/z_s) \cos \beta_n$	
6. Передаточное число	$u = z_2 / z_1$	
7. Угол делительного конуса	шестерня	$\operatorname{tg} \delta_1 = 1/u$
	колесо	$\delta_2 = 90^\circ - \delta_1$
8. Коэффициент смещения	шестерня	$x_{n1} = 2(1-1/u^2) \square \cos^3 \beta_n / z_1^{1/2}$
	колесо	$x_{n2} = -x_{n1}$
9. Коэффициент изменения толщины зубьев шестерни	$x_{\tau 1} = 0,03 + 0,008(u - 2,5) + 0,0025\beta_n, u > 2,5;$	
10. Внешний окружной модуль	$m_{te} = 2R_e / z_s$	
11. Сумма углов ножек шестерни и колеса	$\theta_{fz} = K / \sin \beta_n$, где $K = (C_1 - C_2 R) / z_c$, \dot{N}_1 и \dot{N}_2 – по таблице 2.12	

12. Угол ножки зубьев	шестерня	$\theta_{f1} = \theta_{f2} (0,5 - (2/\pi)x_{n1} \operatorname{tg} \alpha_n)$
	колесо	$\theta_{f2} = \theta_{f2} - \theta_{f1}$
13. Угол головки зубьев	шестерня	$\theta_{a1} = K_{a1} \theta_{f2}$, где K_{a1} – по таблице 2.13
	колесо	$\theta_{a2} = K_{a2} \theta_{f1}$, где K_{a2} – по таблице 2.13
14. Высота ножки зуба в расчетном сечении	шестерня	$h_{f1} = (h_a^* + c^* - x_{n1}) m_n$
	колесо	$h_{f2} = (h_a^* + c^* - x_{n1}) m_n$
15. Увеличение высоты головки зуба при переходе от среднего сечения на внешний торец	шестерня	$\Delta h_{ae1} = 0,5btg\theta_{a1}$
	колесо	$\Delta h_{ae2} = 0,5btg\theta_{a2}$
16. Увеличение высоты ножки зуба при переходе от расчетного сечения на внешний торец	шестерня	$\Delta h_{fe1} = 0,5btg\theta_{f1}$
	колесо	$\Delta h_{fe2} = 0,5btg\theta_{f2}$
17. Уменьшение высоты головки зуба в расчетном режиме	шестерня	$\delta h_{a1} = 0,5b(\operatorname{tg}\theta_{f2} - \operatorname{tg}\theta_{a1})$
	колесо	$\delta h_{a2} = 0,5b(\operatorname{tg}\theta_{f1} - \operatorname{tg}\theta_{a2})$
18. Высота головки зуба в расчетном сечении	шестерня	$h_{a1} = (h_a^* + x_{n1}) m_n - \delta h_{a1}$
	колесо	$h_{a2} = (h_a^* + x_{n2}) m_n - \delta h_{a2}$
19. Внешняя высота головки зуба	шестерня	$h_{ae1} = h_{a1} + \Delta h_{ae1}$
	колесо	$h_{ae2} = h_{a2} + \Delta h_{ae2}$
20. Внешняя высота ножки зуба	шестерня	$h_{fe1} = h_{f1} + \Delta h_{fe1}$
	колесо	$h_{fe2} = h_{f2} + \Delta h_{fe2}$
21. Внешняя высота зуба	шестерня	$h_{e1} = h_{ae1} + h_{fe1}$
	колесо	$h_{e2} = h_{ae2} + h_{fe2}$
22. Угол конуса вершин	шестерня	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1}$
	колесо	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2}$
23. Угол конуса впадин	шестерня	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$
	колесо	$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$
24. Средний делительный диаметр	шестерня	$d_1 = m_n z_1 / \cos \beta_n$
	колесо	$d_2 = m_n z_2 / \cos \beta_n$
25. Внешний делительный диаметр	шестерня	$d_{e1} = m_{te} z_1$
	колесо	$d_{e2} = m_{te} z_2$
26. Внешний диаметр вершин	шестерня	$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1} \cos \delta_1$
	колесо	$d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2} \cos \delta_2$
27. Расстояние от вершины до плоскости внешней окружности вершин зубьев	шестерня	$B_1 = 0,5d_{e2} - h_{ae1} \sin \delta_1$
	колесо	$B_2 = 0,5d_{e1} - h_{ae2} \sin \delta_2$
28. Коэффициент осевого перекрытия		$\varepsilon_\beta = \frac{b \sin \beta_n}{\pi m_n}$

Таблица 2.12 – Коэффициенты C_1 и C_2

Диаметр зуборезной головки, d_0 , мм	Средний расчетный угол наклона зуба, β_n , ...°								
	0	10	15	20	25	30	35	40	45

APM Trans. Руководство пользователя

Любое значение	Коэффициент С ₁									
	0	5232	7951	10 800	13 837	17 132	20 777	24 898	29 673	
					Коэффициент С ₂					
(12,7)	0	143,1	324,1	581,7	920,9	1349	1877	2520	3304	
20	0	90,85	205,8	369,4	584,8	856,6	1192	1600	2098	
(27,94)	0	65,05	147,3	264,4	418,6	613,2	853,0	1146	1502	
25	0	72,68	164,6	295,5	467,8	685,3	953,4	1280	1678	
32	0	56,78	128,6	230,9	365,5	535,4	744,8	1000	1311	
(38,1)	0	47,69	108,0	193,9	307,0	449,6	625,6	840,1	1101	
40	0	45,43	102,9	184,7	292,4	428,3	595,9	800,2	1049	
50	0	36,34	82,32	147,8	233,9	342,6	476,7	640,2	839,3	
(50,8)	0	35,77	31,02	145,4	230,2	337,2	469,2	630,1	826,1	
60	0	30,28	68,60	123,1	194,9	285,5	397,2	533,5	699,4	
80	0	22,71	51,45	92,35	146,2	214,21	297,9	400,1	524,6	
(88,9)	0	20,44	46,30	83,10	131,6	192,7	268,1	360,0	472,0	
100	0	18,17	41,16	73,88	116,9	171,32	238,4	320,1	419,6	
125	0	14,54	32,93	59,10	93,56	137,06	190,7	256,1	335,7	
(152,4)	0	11,92	27,00	48,48	76,74	112,4	156,4	210,0	275,4	
160	0	11,36	25,72	46,17	73,10	107,08	148,9	200,1	262,28	
(190,5)	0	9,539	21,60	38,78	61,39	89,93	125,1	168,0	220,3	
200	0	9,085	20,58	36,94	58,48	85,66	119,2	160,0	209,82	
(228,6)	0	7,949	18,00	32,32	51,16	74,94	104,3	140,0	183,6	
250	0	7,268	16,46	29,55	46,78	68,53	95,34	128,0	167,86	
(304,8)	0	5,962	13,50	24,24	38,37	56,21	78,20	105,0	137,7	
315	0	5,768	13,07	23,45	37,13	54,38	75,67	101,6	133,22	
400	0	4,543	10,29	18,47	29,24	42,83	59,59	80,02	104,91	
(457,2)	0	3,974	9,002	16,16	25,58	34,47	52,13	70,01	91,78	
500	0	3,634	8,232	14,78	23,39	34,26	47,67	64,02	83,93	
630	0	2,884	6,533	11,73	18,56	27,19	37,83	50,81	66,61	
800	0	2,271	5,145	9,24	14,62	21,42	29,79	40,01	52,46	
1000	0	1,817	4,116	7,39	11,70	17,13	23,84	32,01	41,96	

Таблица 2.13 – Коэффициент угла головки зуба K_a

при $\Sigma = 90^\circ$; $\alpha_n = 20^\circ$; $h_a^* = 1$; $x_{n1} = 2(1-1/u^2)(\cos^3 b_n/z_1)^{1/2}$ и $0,3 \leq R/d_0 \leq 0,7$.

β_n, \dots°	z_1	Значения K при передаточном числе U				
		от 1,0 до 1,25	св. 1,25 до 1,6	св. 1,6 до 2,5	св. 2,5 до 4,0	св. 4,0
от 0 до 15	12 – 13	–	–	–	0,70	0,65
					0,95	0,95
	14 – 15	–	0,75	0,75	0,75	0,70
			0,85	0,90	0,95	0,95
	16 – 19	0,80	0,80	0,80	0,75	0,75
		0,80	0,85	0,95	0,95	1,00
	20 – 24	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80
		0,85	0,85	0,95	0,95	1,00
	25 – 29	0,85	0,85	0,85	0,85	0,80
		0,85	0,90	0,95	0,95	1,00
	30 – 40	0,90	0,85	0,85	0,85	0,85
		0,90	0,90	0,95	0,95	1,00
	Св. 40	0,90	0,90	0,85	0,85	0,85
		0,90	0,95	0,95	0,95	1,00
от 15 до 29	10 – 12	–	–	–	0,75	0,75
					0,95	1,00
	12 – 13	–	–	0,80	0,80	0,75
				0,90	0,95	1,00
	14 – 15	–	0,85	0,80	0,80	0,80
			0,90	0,90	0,95	1,00
	16 – 19	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
		0,85	0,90	0,95	0,95	1,00
	20 – 24	0,90	0,85	0,85	0,85	0,85
		0,90	0,90	0,95	0,95	1,00
	25 – 29	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
		0,90	0,90	0,95	0,95	1,00
	30 – 40	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
		0,90	0,95	0,95	1,00	1,00
Св. 40	0,95	0,95	0,90	0,90	0,90	
	0,95	0,95	0,95	1,00	1,00	
от 29 до 45	6 – 7	–	–	–	–	0,75
						1,00
	8 – 9	–	–	–	–	0,75
						1,00
	10 – 11	–	–	–	0,80	0,80
					1,00	1,00
	12 – 13	–	–	0,90	0,85	0,85
				1,00	1,00	1,00
	14 – 15	–	0,90	0,90	0,90	0,85
			0,90	1,00	1,00	1,00
	16 – 17	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
		0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	18 – 19	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
		0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
20 – 24	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
25 – 30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Св. 30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Примечания:

1. В числителе приведены значения K_a для шестерни, в знаменателе - для колеса.
2. Данные таблицы могут быть использованы при $\Sigma \neq 90^\circ$, если U заменить на U_{vb} и Z_1 на Z_{vb1} .

Таблица 2.14 – Условные обозначения и основные формулы геометрического расчета параметров ортогональной конической передачи с круговыми зубьями, изготовленными по форме 3

Параметр		Обозначения и расчетные формулы
1. Число зубьев плоского колеса		$z_s = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$
2. Среднее конусное расстояние		$R = m_n z_s / (2 \cos \beta_n)$
3. Ширина зубчатого венца		b
4. Среднее конусное расстояние для зубьев		$R_e = R + 0,5b$
5. Коэффициент ширины		$K_{be} = b / R_e$
6. Передаточное число		$u = z_2 / z_1$
7. Угол делительного конуса	шестерня	$tg \delta_1 = 1/u$
	колесо	$\delta_2 = 90^\circ - \delta_1$
8. Коэффициент смещения	шестерня	$x_{n1} = 2(1-1/u^2)(\cos^3 \beta_n / z_1)^{1/2}$
	колесо	$x_{n2} = -x_{n1}$
9. Коэффициент изменения толщины зубьев шестерни		$x_{r1} = 0,03 + 0,008(u - 2,5) + 0,0025\beta_n, u > 2,5$
10. Внешний окружной модуль при заданном		$m_{te} = 2R_e / z_s$
12. Угол ножки зубьев	шестерня	$\theta_{f1} = 0$
	колесо	$\theta_{f2} = 0$
13. Угол головки зубьев	шестерня	$\theta_{a1} = 0$
	колесо	$\theta_{a2} = 0$
14. Высота ножки зуба в расчетном сечении, мм	шестерня	$h_{f1} = (h_a^* + c^* - x_{n1})m_n$
	колесо	$h_{f2} = (h_a^* + c^* - x_{n1})m_n$
15. Увеличение высоты головки зуба при переходе от среднего сечения на внешний торец	шестерня	$\Delta h_{ae1} = 0,5btg\theta_{a1}$
	колесо	$\Delta h_{ae2} = 0,5btg\theta_{a2}$
16. Увеличение высоты ножки зуба при переходе от расчетного сечения на внешний торец	шестерня	$\Delta h_{fe1} = 0,5btg\theta_{f1}$
	колесо	$\Delta h_{fe2} = 0,5btg\theta_{f2}$
17. Уменьшение высоты головки зуба в расчетном режиме	шестерня	$\delta h_{a1} = 0$
	колесо	$\delta h_{a2} = 0$
18. Высота головки зуба в расчетном сечении	шестерня	$h_{a1} = (h_a^* + x_{n1}) m_n - \delta h_{a1}$
	колесо	$h_{a2} = (h_a^* + x_{n2}) m_n - \delta h_{a2}$
19. Внешняя высота головки зуба	шестерня	$h_{ae1} = h_{a1} + \Delta h_{ae1}$
	колесо	$h_{ae2} = h_{a2} + \Delta h_{ae2}$
20. Внешняя высота ножки зуба	шестерня	$h_{fe1} = h_{f1} + \Delta h_{fe1}$
	колесо	$h_{fe2} = h_{f2} + \Delta h_{fe2}$
21. Внешняя высота зуба	шестерня	$h_{e1} = h_{ae1} + h_{fe1}$
	колесо	$h_{e2} = h_{ae2} + h_{fe2}$
22. Угол конуса вершин	шестерня	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1}$
	колесо	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2}$
23. Угол конуса впадин	шестерня	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$
	колесо	$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$

24. Средний делительный диаметр	шестерня	$d_1 = m_n z_1 / \cos \beta_n$
	колесо	$d_2 = m_n z_2 / \cos \beta_n$
25. Внешний делительный диаметр	шестерня	$d_{e1} = m_{te} z_1$
	колесо	$d_{e2} = m_{te} z_2$
26. Внешний диаметр вершин	шестерня	$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1} \cos \delta_1$
	колесо	$d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2} \cos \delta_2$
27. Расстояние от вершины до плоскости внешней окружности вершин зубьев	шестерня	$B_1 = 0,5d_{e2} - h_{ae1} \sin \delta_1$
	колесо	$B_2 = 0,5d_{e1} - h_{ae2} \sin \delta_2$
28. Коэффициент осевого перекрытия		$\varepsilon_\beta = \frac{b \sin \beta_n}{\pi m_n}$

Червячные передачи

Исходные данные

Основные данные	Дополнительные данные
Проектировочный расчет	
<ol style="list-style-type: none"> Момент на выходном валу передачи, [Н*м]. Частота вращения выходного вала, [об/мин]. Передаточное отношение, [-]. Требуемый ресурс, [час]. Материал венца червячного колеса: оловянистая бронза, безоловянистая бронза, чугун (выбирается из базы данных). Есть ли алюминий в сплаве. Режим работы передачи. Тип червяка (Архимедов, конволютный, эвольвентный, образованный конусом, образованный тором). 	<ol style="list-style-type: none"> Модуль, [мм]. Коэффициент диаметра, [-]. Межосевое расстояние, [мм]. Коэффициент ширины венца, [-]. Число заходов червяка Коэффициент расчетной толщины витка, [-]. Выбор передачи из базы данных. Червяк выбирается из базы данных APM Mechanical (Стандарты – ГОСТ – Механические передачи – Типы передач – Червяк) если опция включена.
Проверочный расчет	
<ol style="list-style-type: none"> Модуль, [мм]. Коэффициент диаметра червяка, [-]. Коэффициент смещения червяка, [-]. Число заходов червяка. Количество зубьев колеса. Момент на выходе, [Н*м]. Частота вращения ведомого вала, [об/мин]. Требуемый ресурс, [час]. Материал венца червячного колеса (выбирается из базы данных). Есть ли алюминий в сплаве. Режим работы передачи Тип червяка. 	<ol style="list-style-type: none"> Коэффициент теплоотдачи, [Вт/м²*К] Коэффициент запаса по изгибу, [-]. Предел текучести материала колеса, [МПа]. Предел прочности материала колеса, [МПа]. Коэффициент расчетной толщины витка, [-]. Наличие вентилятора.

Результаты расчета червячных передач

Наименование параметра	Обозн.	Наименование параметра	Обозн.
Максимальный момент, [Нм]	–	Параметры контроля	
Основные геометрические параметры		Расчётный шаг червяка, [мм]	p
Межосевое расстояние, [мм]	a_w	Ход витка, [мм]	p_z

Модуль, [мм]	m	Делительная толщина по хорде витка червяка, [мм]	s_a
Коэффициент диаметра, [-]	q	Высота до хорды витка, [мм]	h_a
Коэффициент смещения, [-]	x	Диаметр ролика, [мм]	D_r
Параметры работы		Размер червяка по роликам, [мм]	M
Мощность передачи, [кВт]	P	Коэффициент перекрытия, [-]	ε_s
КПД передачи, [-]	η		
Число заходов червяка	z_1		
Число зубьев червячного колеса	z_2		
Силы, действующие в передаче			
<i>см. параметры цилиндрических передач</i>			
Дополнительные Геометрические параметры			
Делительный угол подъема, [град]	γ		
Начальный угол подъема, [град]	γ_w		
Начальный диаметр червяка, [мм]	d_{w1}		
Наибольший диаметр червячного колеса, [мм]	d_{am2}		
Высота витка червяка, [мм]	h_1		
Высота головки витка червяка, [мм]	h_{a1}		
Радиус кривизны переходной кривой червяка, [мм]	ρ_{f1}		
Радиус выемки поверхности вершин зубьев червячного колеса, [мм]	r		
Делительный диаметр, [мм]	d		
Диаметр вершин, [мм]	d_a		
Диаметр впадин, [мм]	d_f		
Ширина зубчатого венца, [мм]	b		

Допуски червячных передач

Результаты расчета параметров точности изготовления червячных передач представлены в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Параметры точности изготовления червячных передач

Наименование параметра	Обозначение	Размерность
Минимально возможный зазор	j_{min}	мкм
Наименьшее отклонение толщины витка червяка по хорде	E_{sc}	мм
Допуск на толщину витка	T_{sc}	мм
Верхнее отклонение толщины витка червяка по хорде	ES_{sc}	мм
Нижнее отклонение толщины витка червяка по хорде	EI_{sc}	мм
Допуск на радиальное биение	Fr	мм

Методы и стандарты

ГОСТ 18498-89 Передачи червячные. Термины, определения и обозначения.

ГОСТ 2144-76 Передачи червячные цилиндрические. Основные параметры.

Расчёт параметров передачи производится по действующим стандартам:

ГОСТ 19036-94 Передачи червячные цилиндрические. Исходный червяк и исходный производящий червяк.

ГОСТ 20184-81 Передачи червячные цилиндрические мелко модульные. Исходный червяк и исходный производящий червяк.

ГОСТ 19650-97 Передачи червячные цилиндрические. Расчет геометрических параметров.

ГОСТ 19672-74 Передачи червячные цилиндрические. Модули и коэффициенты диаметра червяка.

Исходный производящий червяк определяет пропорции витков реального червяка и соответствующего червячного колеса. Для червячного колеса высотные пропорции зубьев задаются в средней торцевой плоскости, в которой лежит общий перпендикуляр к осям червяка и колеса.

Принятые на основании ГОСТа допущения в системе *APM Trans* (рис. 2.12):

- угол профиля витков, равный 20° в сечениях: в нормальном к витку для червяков **ZN1**; нормальном к впадине для червяков **ZN2**; осевом для червяков **ZA**; нормальном к зубьям рейки, сопряженной с червяком **Z1**.
- угол профиля конической производящей поверхности $\alpha_o = 20^\circ$ для червяков **ZK1** и **ZK2**.

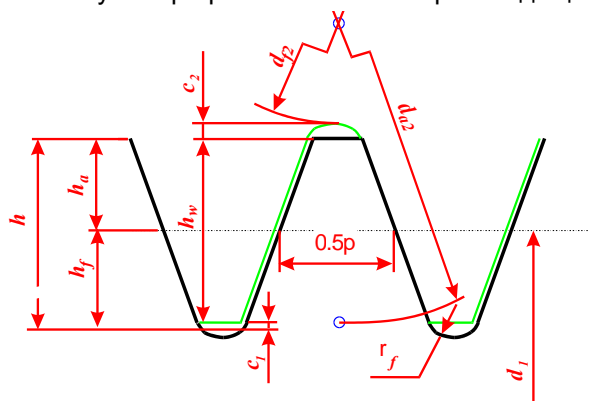


Рис. 2.12 Параметры исходного контура червячных передач

Также как и для цилиндрических передач, реальные параметры как-то: высота головки h_a , радиальный зазор c , высота ножки h_f , высота зуба h_l , радиус переходной кривой ρ определяются умножением соответствующего коэффициента на модуль. Значения параметров, характеризующих стандартный исходный контур, используемый в системе *APM Trans* при расчете червячной передачи, приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Параметры исходного контура по ГОСТ 19036-94

Наименование параметра	Условное обозначение	Численное значение
Коэффициент высоты головки зуба	h_a^*	1.0
Коэффициент радиального зазора в паре исходных контуров	c^*	0.2
Коэффициент высоты ножки зуба	h_f^*	1.2
Коэффициент высоты зуба	h_l^*	2.2
Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой	ρ_f^*	0.3

Расчет допусков параметров червячных передач в соответствии с:

ГОСТ 3675-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи червячные цилиндрические. Допуски. (для $m \geq 1$ мм).

ГОСТ 9774-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи червячные цилиндрические мелко модульные. Допуски. (для $m < 1$ мм).

Цепные передачи

Исходные данные

Основные данные	Дополнительные данные
Проектировочный расчет	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Момент на ведущей звездочке передачи, [Н*м]. 2. Частота вращения ведущей звездочки, [об/мин]. 3. Передаточное отношение, [-]. 4. Требуемый ресурс, [час]. 5. Рядность цепи. 6. Вид профиля звёздочки (выпукло-вогнутый и прямолинейный). 7. Тип режима смазки, используемой в пере- 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Число зубьев каждой звездочки 2. Межосевое расстояние, [мм].

<p>даче (без смазки, непериодическая, периодическая, внутри шарнирная, капельная, окупанием, циркуляционная, распыливанием).</p> <p>8. Тип цепи, используемой в передаче (втулочно-роликовая лёгкой серии, втулочно-роликовая нормальной серии, втулочно-роликовая длиннозвённая, втулочно-роликовая с изогнутыми пластинами – из базы данных).</p> <p>9. Критерий расчета (по износостойкости, по статике).</p> <p>10. Режим работы (плавная нагрузка, спокойная нагр., нагр. с лёгкими ударами, нагр. со средними ударами, нагр. с тяжёлыми ударами, нагр. вибрационная).</p>	
Проверочный расчет	
<p>1. Частота вращения ведущей звездочки, [об/мин].</p> <p>2. Требуемый ресурс передачи [час].</p> <p>3. Межосевое расстояние, [мм].</p> <p>4. Число зубьев каждой звездочки.</p> <p>5. Тип звездочки.</p> <p>6. Тип смазки.</p> <p>7. Режим работы передачи.</p> <p>8. Название используемой цепи (выбирается из базы данных).</p>	нет

Результаты расчета цепных передач

Наименование параметра	Обозн.	Наименование параметра	Обозн.
Параметры передачи		Дополнительные параметры выпукло-вогнутого профиля	
Межосевое расстояние, [мм]	a_w	Половина угла впадины, [град]	α
Параметры цепи		Угол сопряжения, [град]	β
Шаг цепи, [мм]	t	Половина угла зуба, [град]	Ψ
Диаметр ролика, [мм]	D	Прямой участок профиля	FG
Расстояние между внутренними пластинами, [мм]	B	Координаты центра дуги	O_{1x}
Диаметр валика, [мм]	d	Координаты центра впадины	O_{1y}
Расстояние до оси цепи, [мм]	b_1	Координаты центра дуги	O_{2x}
Длина валика, [мм]	b	Координаты центра головки зуба	O_{2y}
Ширина пластины, [мм]	h	Радиус сопряжения, [мм]	r_1
Расстояние между осями цепи, [мм]	A	Расстояние от центра дуги впадины до центра дуги головки	O_1O_2
Число рядов цепи, [-]	N_r	Сила, действующая на вал	
Параметры профиля звездочки		Модуль силы, [Н]	F
Число зубьев звёздочки, [-]	Z	Угол действия силы, относительно горизонтали, [град]	α_f
Шаг звёздочки, [мм]	t_z	Параметры поперечных сечений	
Половина углового шага, [град]	τ	Диаметр окружности заплечика, [мм]	D_c
Диаметр окружности вписанной в шаговый многоугольник, [мм]	d_c	Наибольшая ширина зуба, Ширина вершины зуба, [мм]	b_2
Высота зуба, измеренная от шаговой линии, [мм]	h_t	Ширина вершины зуба, [мм]	b_3
Диаметр делительной окружности, [мм]	D_d	Опорная длина впадины зуба, [мм]	c
Диаметр окружности вершин, [мм]	D_e		

Диаметр окружности впадин, [мм]	D_i	Наибольшая ширина зуба, [мм]	B
Наибольшая хорда, [мм]	L_x	Радиус закругления заплечика, [мм]	R
Смещение центров дуг впадин, [мм]	e	Радиус закругления боковой поверхности зуба, [мм]	R_3
Радиус головки зуба, [мм]	r_2		
Угол впадины зуба, [град]	β_v		
Половина угла зуба, [град]	γ_m		
Прямой участок профиля, [мм]	h_r		
Радиус впадин, [мм]	r		
Половина угла зуба, [град]	γ		

Методы и стандарты

ГОСТ 13568-97 (ISO 606-94) Цепи приводные роликовые и втулочные. Общие технические условия.

ГОСТ 24399-80 Цепи роликовые. Термины и определения.

Ременные передачи

Исходные данные

Основные данные	Дополнительные данные
Проектировочный расчет	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Мощность на ведущем валу, [кВт]. 2. Частота вращения ведущего вала, [об/мин]. 3. Передаточное отношение, [-]. 4. Коэффициент динамичности нагрузки 5. Тип механизма регулировки натяжения ремня (только для плоскоремённых передач). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Межосевое расстояние, [мм] (в пределах реализуемых стандартными длинами ремней). 2. Максимальное число ремней в передаче, но не более 8 (только для клиноремённых передач). 3. Угол наклона оси передачи к горизонту (только для плоскоремённых передач), [град].
Проверочный расчет	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Частота вращения ведущего вала, [об/мин]. 2. Диаметр ведущего шкива, [мм]. 3. Диаметр ведомого шкива, [мм]. 4. Длина ремня, [мм]. 5. Толщина ремня, [мм] (только для плоскоремённых передач). 6. Ширина ленты ремня, [мм] (только для плоскоремённых передач). 7. Угол расположения передачи относительно горизонтали, [град] (только для плоскоремённых передач). 8. Число ремней (только для клиноремённых передач). 9. Коэффициент динамичности нагрузки, [-]. 10. Название сечения ремня (только для клиноремённых передач). 11. Тип регулировки передачи (только для плоскоремённых передач). 	Нет

Результаты расчета ременных передач

Проектировочный расчет

- Толщина ремня, [мм] (для плоскоремённой передачи)

- Сечение (для клиноременной передачи)
- Передаточное число, [-]
- Диаметр ведущего шкива, [мм]
- Диаметр ведомого шкива, [мм]
- Ширина ремня, [мм]
- Длина ремня, [мм]
- Межосевое расстояние, [мм]
- Сила предварительного натяга, [Н]
- Сила, действующая на вал, [Н]
- Скорость перемещения ленты, [м/с]
- Половина угла раскрытия ветвей передачи, [град] (для плоскоремной передачи)
- Ширина сечения ремня, [мм] (для клиноременной передачи)
- Высота сечения ремня, [мм] (для клиноременной передачи)

Методы и стандарты

*ГОСТ 23831-79** Ремни плоские приводные резинотканевые. Технические условия

ГОСТ Р 50440-92 (ISO 22-75) Ремни плоские приводные и соответствующие шкивы. Ширины.

ГОСТ Р 50441-92 (ISO 63-75) Ремни плоские приводные. Длины

ГОСТ Р 50640-94 (ISO 254-90) Шкивы приводные ременных передач. Общие технические требования.

*ГОСТ 1284.1-89** (ISO 1081-80, ISO 4183-80, ISO 4184-80) Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Основные размеры и методы контроля.

*ГОСТ 1284.2-89** Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Технические условия

ГОСТ 1284.3-96 Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Передаваемые мощности.


ГОСТ 20889-88 Шкивы для приводных клиновых ремней нормальных сечений. Общие технические условия.

Глава 3. Как работать с системой APM Trans


Система *APM Trans* предоставляет пользователю удобный и интуитивно понятный интерфейс. Типичная последовательность действий при работе с системой *APM Trans* включает в себя следующие операции:

1. Запуск программы.
2. Выбор типа передачи.
3. Выбор типа расчета.
4. Ввод основных и дополнительных исходных данных.
5. Выполнение расчета.
6. Выбор результатов для просмотра.
7. Непосредственный просмотр результатов.
8. Задание необходимых конструктивных параметров для создания чертежей.
9. Выход в систему *APM Graph* для окончательной работы над чертежом.
10. Возврат в систему *APM Trans*.

Запуск программы

Запуск *APM Trans* осуществляется соответствующей командой меню Windows **Пуск | Программы | APM WinMachine |  APM Trans**. Группа **APM WinMachine** создается при установке системы. Запуск *APM Trans* возможен также из группы *Инженерный анализ* оболочки **APM Integrator**. Ярлык **APM Integrator** размещается после установки **APM WinMachine** на рабочем столе.

Выбор типа передачи

Для выбора типа передачи используйте команду **Тип |  Тип Передачи**. В диалоговом окне, которое появится на экране (рис. 3.1), выберите тип передачи, которую Вы хотите рассчитать.

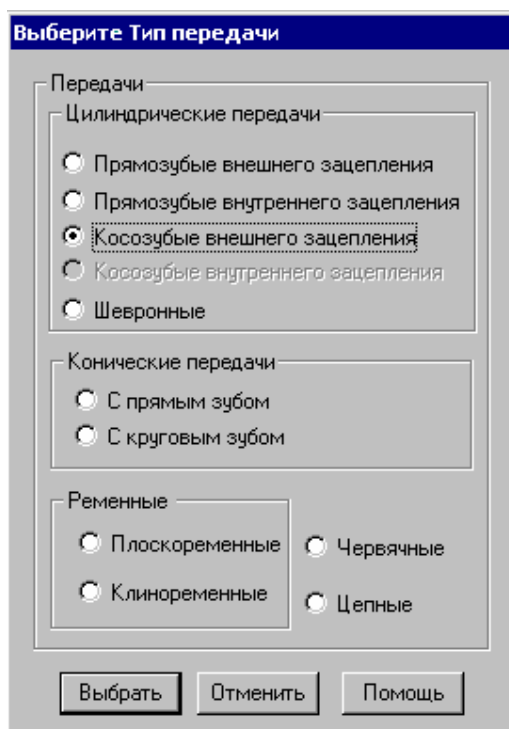


Рис. 3.1 Диалоговое окно выбора типа передачи

Выбор типа расчета

В системе *APM Trans* реализован проверочный и проектировочный типы расчета передач (см. главу 2). Для выбора типа расчета используется команда **Тип | Расчет | Тип Расчета. Тип Расчета** (рис. 3.1) может принимать одно из трех значений: проектировочный, проверка по ресурсу, проверка по моменту.

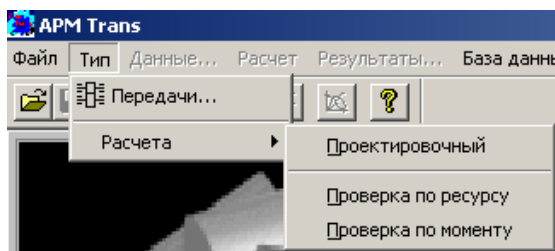


Рис. 3.2 Выбор типа расчета

Примечание: в данной версии системы проверочный расчет реализован не для всех типов передач.

Ввод исходных данных

Для ввода исходные данные служит команда **Данные...** главного меню. В ответ на эту команду появляется диалоговое окно для ввода данных. Содержание этого окна зависит от типа передачи и от типа проводимого расчета (рис. 3.3).

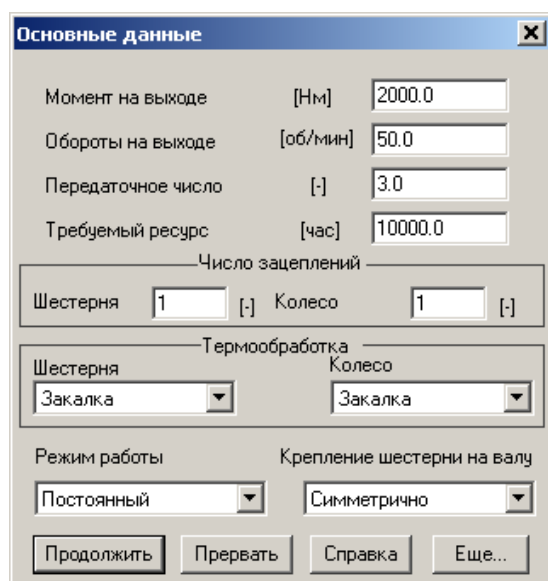


Рис.3.3 Диалоговое окно «Данные» проектировочного расчета цилиндрических передач

Все исходные данные делятся на две группы «Основные данные», без которых невозможен расчёт передачи, и «Дополнительные данные», которые накладывают дополнительные ограничения при расчете. В ответ на команду **Данные** появляется диалоговое окно «Основные данные». Для вызова диалогового окна «Дополнительные данные» необходимо нажать кнопку «Ещё...». Признаком установленного параметра является любое отличное от нуля значение. Это соглашение действует на все дополнительные параметры кроме установки коэффициентов смещения инструмента, которые могут иметь нулевое значение. При этом Вас попросят подтвердить их значения в случае равенства нулю.

В случае если введенные данные лежат вне допустимых пределов, то система выдаст окно с предупреждением о некорректности параметра (рис. 3.4).

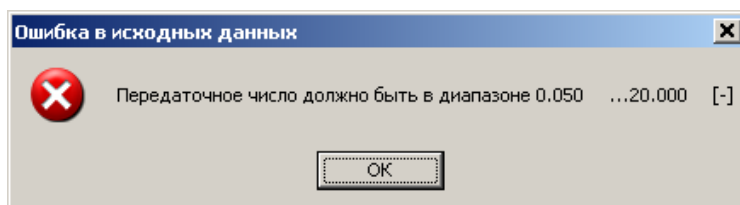





Рис. 3.4. Сообщение о некорректности параметра.

После того как Вы нажмёте в этом окне кнопку «Ok» система автоматически установит фокус ввода на требуемый параметр. Изменив некорректное значение, Вы можете снова подтвердить ввод.

Ввод данных из файла

Если Вы хотите провести расчёт передачи, данные которой были ранее записаны с помощью команды **Файл** |  **Сохранить**, воспользуйтесь командой **Файл** |  **Открыть**. После выполнения этой команды Вы можете продолжить работу с того этапа, на котором было выполнено сохранение файла.

Выполнение расчета

После того как введены исходные данные, Вы можете провести вычисления, выбрав команду  **Расчет** главного меню. Если система не может рассчитать передачу с указанными параметрами, она выдаст сообщение об ошибке (рис. 3.5). Измените значения исходных данных и повторите расчет.

В некоторых случаях после проведения расчетов появляется окно с предупреждением, что система проигнорировала какой-либо дополнительный параметр. Такое возможно либо по конструктивным соображениям (очень тонкое колесо, например), либо если указано слишком много дополнительных параметров (например, при расчете цилиндрической прямозубой передачи были одновременно заданы межосевое расстояние, модуль и коэффициент смещения инструмента колёс). В некоторых случаях при расчете система не может при заданном сочетании исходных данных подобрать какой-либо стандартный параметр из базы данных, например сечение ремня клиноременной передачи (рис. 3.6). При этом необходимо изменить исходные данные и повторить расчет.

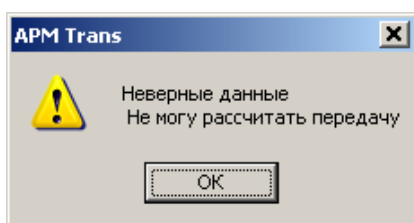


Рис. 3.5 Сообщение об ошибке при расчёте

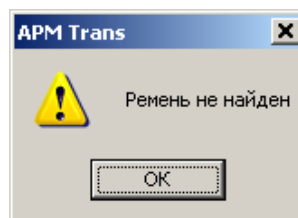




Рис. 3.6 Невозможность подбора стандартного ремня из базы данных

Сохранение данных и результатов в файл

Для сохранения исходных данных передачи и результатов расчета служит команда **Файл** |  **Сохранить**. При этом появляется диалоговое окно для сохранения информации в файл (*.wtr). Далее необходимо указать папку для сохранения результатов и имя файла. Команда **Сохранить** доступна только после определения начальных параметров передачи. Для сохранения ранее открытых данных в файл под другим именем используется команда **Сохранить как...** Данная команда может быть использована для сохранения результатов серии расчетов при варьировании исходных данных. Кроме того, выбрав тип файла **Текст в формате *.rtf** можно сохранить исходные данные и результаты в виде отчета формата *.rtf. Файл отчета доступен для дальнейшего редактирования и может быть использован для обмена результатами между отделами предприятия и оформления пояснительной документации.

Просмотр результатов расчетов

После того как был проведён расчёт, для просмотра результатов вычисления необходимо выбрать команду  **Результаты** главного меню. По этой команде появляется диалоговое окно, содержащее кнопки, каждая из которых отвечает за демонстрации отдельной группы результатов. Содержимое окна зависит от типа передачи. Пример диалогового окна выбора результатов проектировочного расчета цилиндрической передачи представлено на рис. 3.7. Для облегчения выбора всех результатов в окнах, где групп результатов достаточно много, добавлены кнопки – «Выделить всё» и «Отменить всё».

Каждая группа результатов при просмотре размещается в отдельном окне и снабжена поясняющей схемой. В окне присутствуют кнопки «Продолжить» и «Прервать». Кнопка «Прервать» прерывает показ результатов и возвращает программу в то же состояние, какое было перед выполнением команды **Результаты**. Кнопка «Продолжить» закрывает текущее окно с результатами и вызывает следующее. Если текущее окно является последним в цепочке, то эта

кнопка будет недоступна. Примеры типичных окон групп результатов представлены на рис. 3.8 – 3.10.

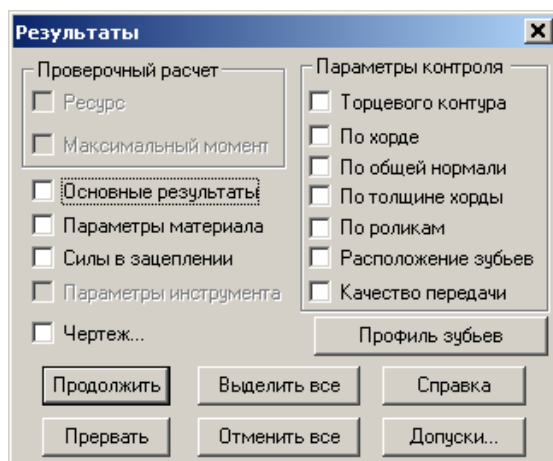


Рис. 3.7 Диалоговое окно выбора результатов для просмотра

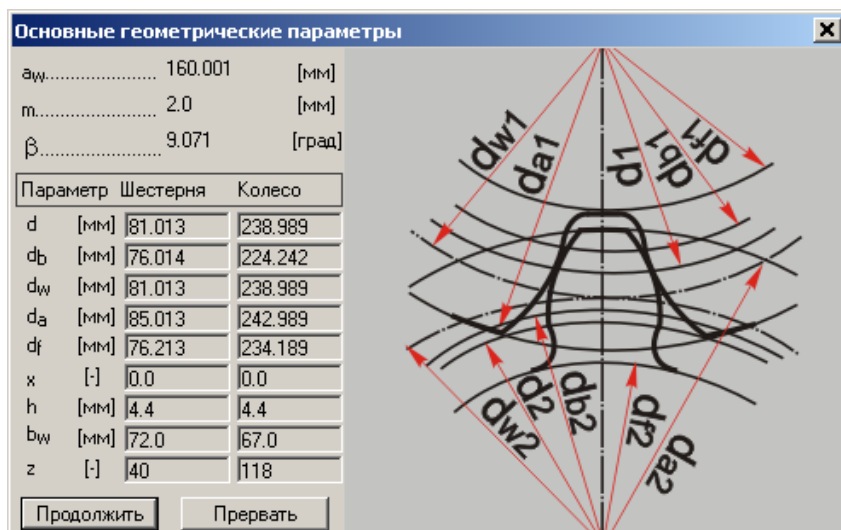


Рис. 3.8 Основные геометрические параметры цилиндрической передачи

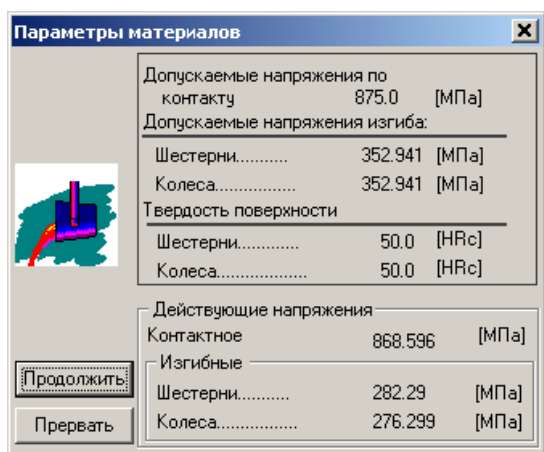


Рис. 3.9 Параметры материалов

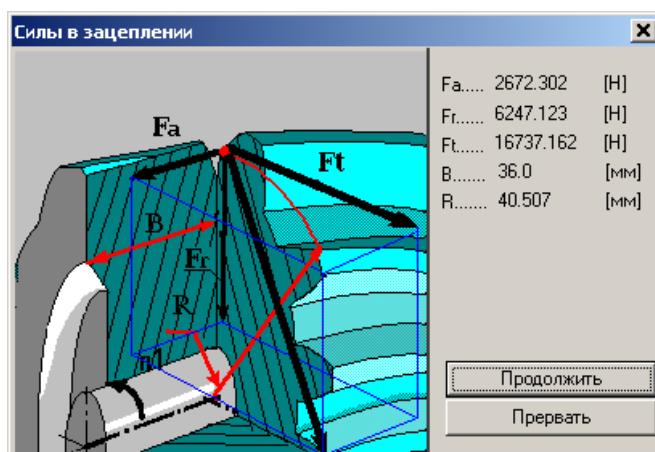



Рис. 3.10 Силы в зацеплении

Переход к следующему окну отображения результатов осуществляется нажатием кнопки «Продолжить». Для прерывания показа результатов нажмите соответствующую кнопку «Прервать». Указанная схема отображения результатов работает для всех типов передач, кроме ременных передач.

По команде  **Результаты** при расчете ремённых передач сразу появляется окно со списком вариантов рассчитанных передач (рис. 3.11), содержащее результаты расчётов для всех типов ремней, находящихся в базе данных. Для просмотра всех параметров используйте горизонтальную и вертикальную полосы прокрутки. Кнопки «*Ok*» и «*Отмена*» закрывают окно. Кнопка «*Чертеж*» вызывает подсистему генерации чертежа выбранного варианта.

Номер	Сечение	Число рем...	Диаметр веду...	Диаметр ведо...	Длина ремня [мм]
0	A	6	450.000	900.000	3750.000
1	A	6	475.000	950.000	4000.000
2	B	6	250.000	500.000	2120.000
3	B	6	280.000	560.000	2360.000
4	B	5	320.000	630.000	2650.000
5	B	4	360.000	710.000	3000.000
6	B	4	400.000	800.000	3350.000
7	B	4	425.000	850.000	3550.000
8	B	4	450.000	900.000	3750.000
9	B	3	475.000	950.000	4000.000
10	B	3	500.000	1000.000	4250.000
11	B	3	530.000	1060.000	4500.000
12	B	3	560.000	1120.000	4750.000

Рис. 3.11 Окно результатов расчета клиноремённой передачи

При просмотре результатов расчета цепной передачи в окне параметров звездочки добавлена дополнительная кнопка – «*Показать профиль*». При нажатии на эту кнопку выводится окно с рисунком профиля звездочки и поясняющим результаты, представленными в предыдущем окне. Пример такого окна представлен на рис. 3.12. Кнопка «*Ok*» закрывает окно и возвращает Вас в окно параметров звёздочки.

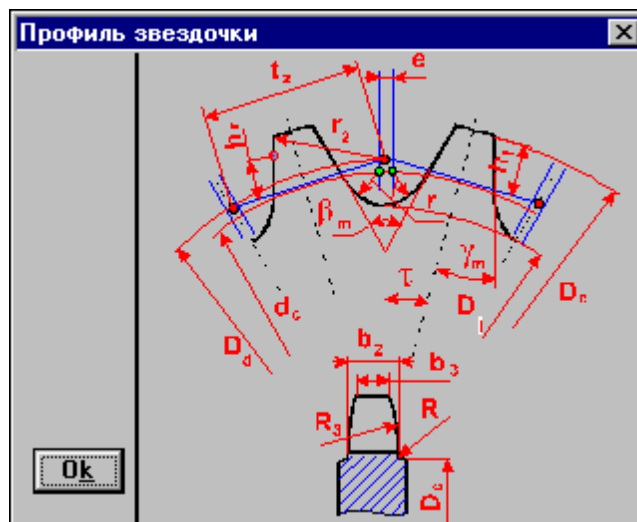


Рис. 3.12 Окно результатов: Профиль зубьев звездочки

Кнопка «*Справка...*» (рис. 3.13) вызывает систему помощи с описанием результатов текущей передачи. Выбрав необходимые результаты и нажав кнопку «*Ok*» Вы попадаете в цепочку показа диалоговых окон с результатами. Расшифровка принятых обозначений параметров приведена в главе 2. Для получения результатов расчета допусков геометрических параметров зубчатых передач в зависимости от степени точности и вида сопряжения необходимо нажать кнопку «*Допуски*». В диалоговом окне «*Допуски*» (рис. 3.13) необходимо выбрать вид сопряжения (A,B,.....,H), ввести степень точности (5,6,7,8,9) и нажать кнопку «*Пересчет*».

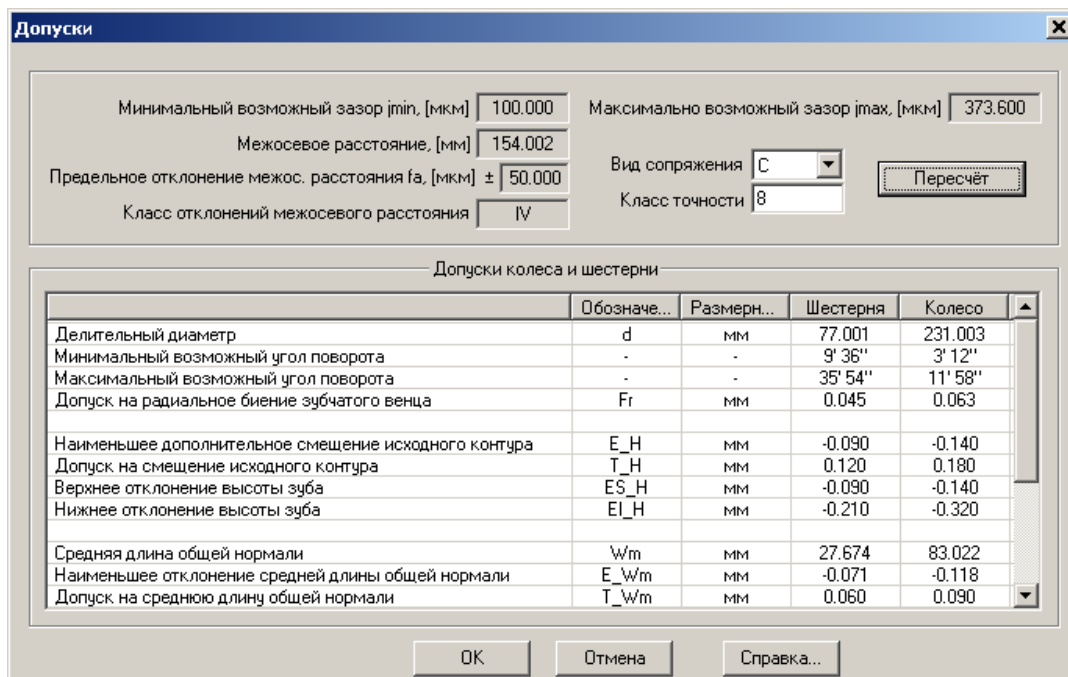


Рис. 3.13 Окно «Допуски» геометрических параметров цилиндрических передач

Создание рабочего чертежа

После окончания расчета Вы можете создать рабочие чертежи элементов рассчитанной передачи. Для создания чертежа Вам нужно проделать следующие действия:

1. Выбрать опцию **Черчение** в диалоговом окне выбора результатов (рис. 3.7).
2. В диалоговом окне выбрать элемент, который Вы хотите начертить.
3. При появлении главного окна оформления чертежа (рис. 3.14) необходимо ввести параметры, характеризующие чертёж и конструкцию элемента передачи.
4. После ввода всех параметров чертежа в меню главного окна черчения сохраните чертёж, система *APM Graph* запустится автоматически.
5. Если необходимо, выполните окончательное редактирование чертежа в системе *APM Graph*. Печать чертежа возможна из графического редактора *APM Graph*.
6. Выйдите из системы *APM Graph* для продолжения работы с *APM Trans*.

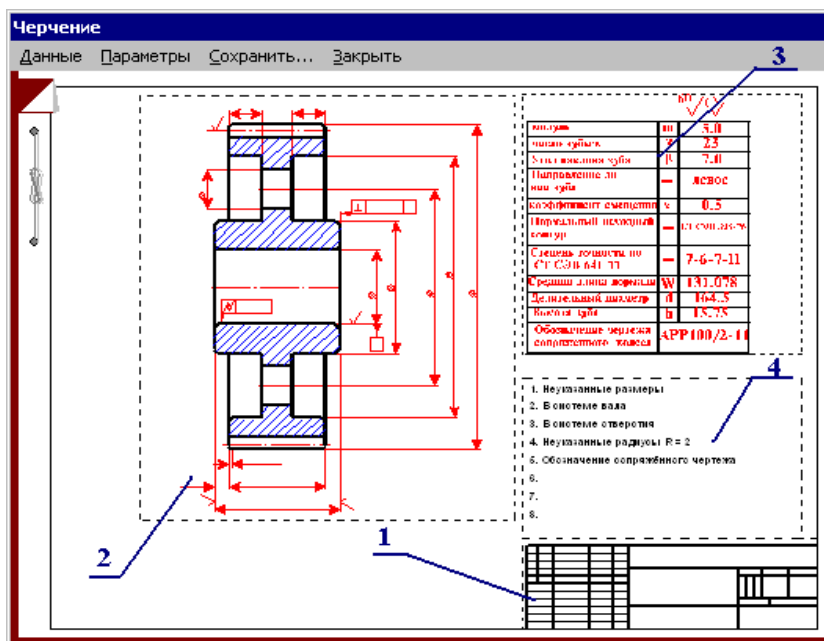


Рис. 3.14 Главное окно подсистемы генерации чертежей

Ввод параметров, описывающих чертёж

В главном окне подсистемы генерации чертежей (рис. 3.14) можно выделить несколько зон, каждая из которых отвечает за свою группу параметров.

Зона 1 – Штмп (Основная надпись чертежа).

Зона 2 – Исполнение (элемента передачи (звёздочки, колеса, шкива)).

Зона 3 – Табличные параметры.

Зона 4 – Технические требования.

Команды системы генерации чертежей

Структура меню главного окна подсистемы генерации чертежей представлена на рис. 3.15.

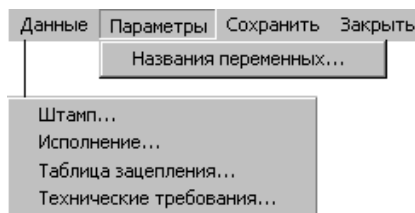


Рис. 3.15 Структура меню главного окна подсистемы генерации чертежей

Заполнение штампа

Диалоговое окно *Заполнение штампа* (рис. 3.16) вы можете открыть, дважды кликнув мышкой по изображению штампа в главном окне генерации чертежей или выбрав команду **Данные | Штмп**.

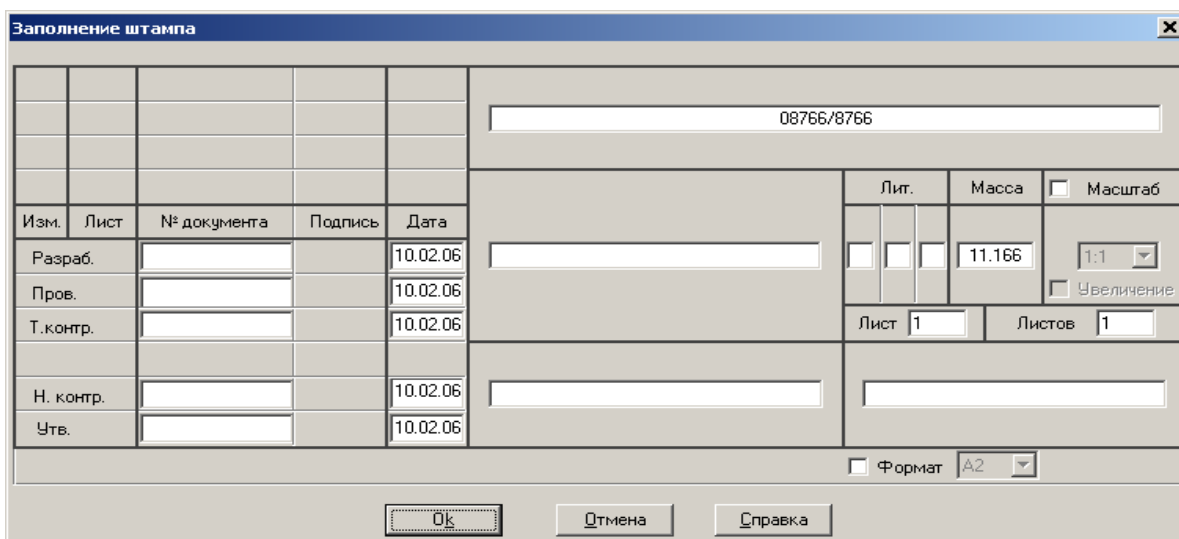


Рис. 3.16 Диалоговое окно заполнения штампа чертежа

Используя этот диалог, вы можете заполнить все необходимые области штампа, а также подобрать или установить масштаб и формат будущего чертежа. При автоматической генерации чертежа в *APM Graph* используются следующие принципы:

- Если вводимая информация, например фамилия, не вмещается в поле штампа, то система автоматически смасштабирует введенный текст.
- При запуске диалога модуль автоматически подберет наименьший формат, на котором сможет поместиться чертеж в масштабе 1:1.
- Если размеры чертежа в масштабе 1:1 превосходят размеры формата A0, то автоматически будет подобран масштаб уменьшения (перечень масштабов соответствует ГОСТ 2.302-68*).
- В случае если при масштабе 1:50 размеры чертежа все еще превосходят размеры формата A0, будет выдано соответствующее сообщение.

- В диалоге присутствуют три флажка: *Формат*, *Масштаб*, *Увеличение*. Используя их, вы можете подобрать необходимый формат и масштаб будущего чертежа. При запуске диалога все флажки сняты.
- При установке флажка *Формат* становится доступным выпадающий список форматов. При выборе любого из них, при условии снятого флажка *Масштаб*, модуль автоматически подберет наибольший возможный для данного формата масштаб чертежа.
- При установке флажка *Масштаб* становится доступным выпадающий список масштабов и флажок *Увеличение*. При выборе любого масштаба, при условии снятого флажка *Формат*, модуль автоматически подберет наименьший подходящий формат.
- При установленном флажке *Увеличение*, в выпадающем списке масштабов доступны масштабы увеличения, а при снятом – масштабы уменьшения.
- При установленных флажках *Масштаб* и *Формат* вы можете установить любой формат и любой масштаб вашего будущего чертежа.

Ввод конструктивного исполнения

Диалоговое окно выбора конструктивного исполнения (рис. 3.17) Вы можете открыть, дважды кликнув мышкой по зоне 2 в главном окне генерации чертежей или выбрав команду **Данные**

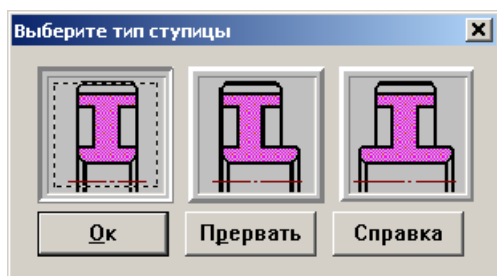


Рис. 3.17 Выбор типа ступицы

Исполнение. При этом Вы попадёте в цепочку диалогов ввода параметров. Каждое последующее окно в этой цепочке появится только в том случае, если нажать кнопку «Ок» в текущем окне, подтвердив тем самым выбор. Цепочка ввода параметров имеет вид, представленный на рис. 3.18. Варианты каждого конструктивного исполнения элемента передачи представлены в виде кнопки с поясняющей схемой (рис. 3.17 – 3.26), так что выбор не должен представлять каких-либо трудностей.

В зависимости от типа передачи в цепочку добавляются новые подцепи:

- Ветвь А – выполняется в случае конической передачи (рис. 3.19).
- Ветвь В – выполняется в случае плоскоремённой передачи (рис. 3.20).
- Ветвь С – выполняется в случае червячной передачи (рис. 3.21).
- Ветвь D – выполняется в случае, если при выборе способа закрепления колеса на валу было выбрано шлицевое соединение (рис. 3.22).
- Ветвь E – выполняется в случае цепной передачи (рис. 3.23 – 3.24).

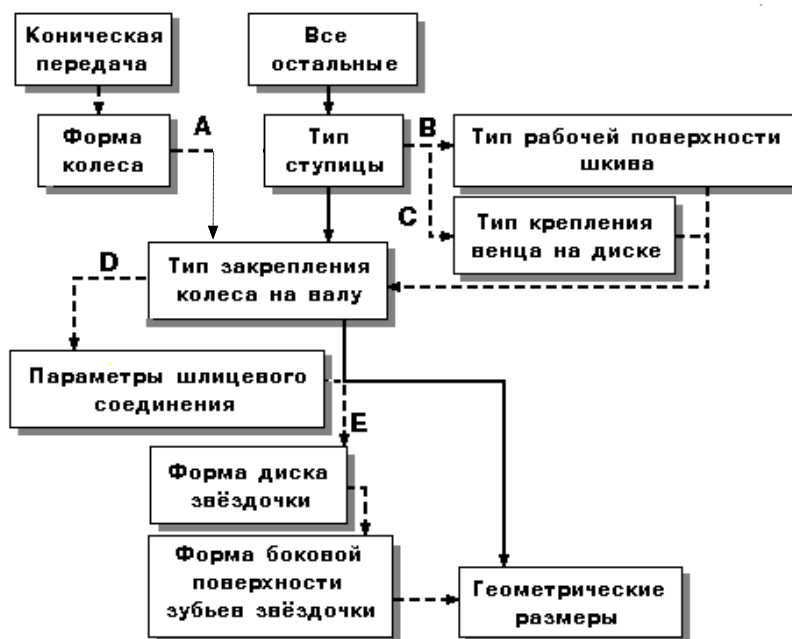


Рис. 3.18 Структура цепи ввода конструктивных параметров

В последнюю очередь вводятся параметры, характеризующие геометрические размеры колеса (рис. 3.26), которые не могут быть строго определены системой. При проектировании шкивов и звёздочек Вы можете сделать несимметричную ступицу. Причём если Вы ранее выбрали одностороннюю ступицу, то можете вдавить торец ступицы к диску. Если же Вы выбрали двустороннюю ступицу, то Вы можете определить смещение левого торца ступицы относительно торца шкива или звёздочки.

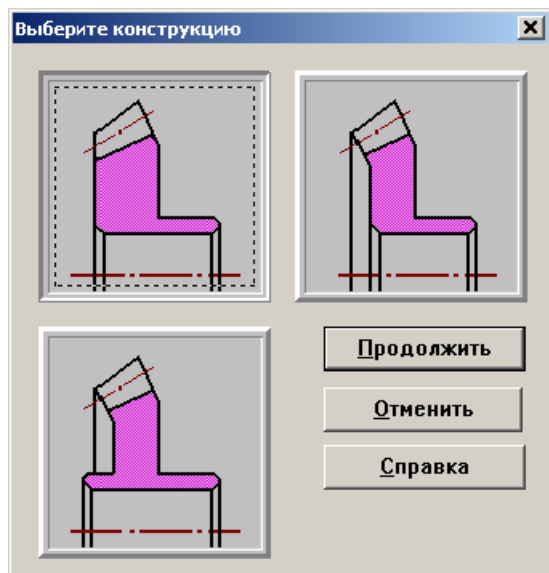


Рис. 3.19 Выбор типа конструкции конического колеса

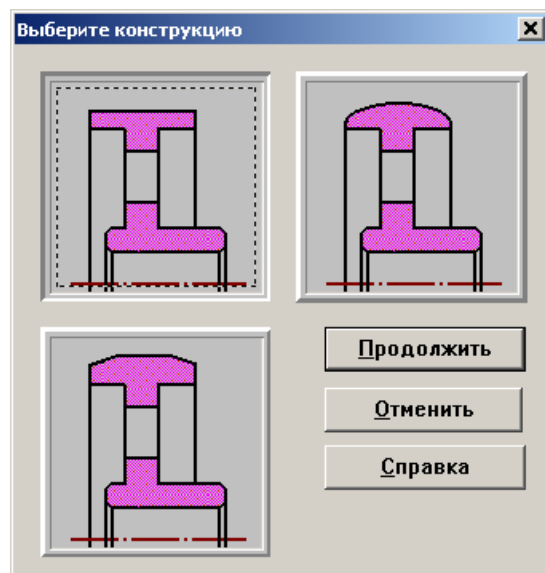


Рис. 3.20 Выбор типа рабочей поверхности шкива плоскоремённой передачи

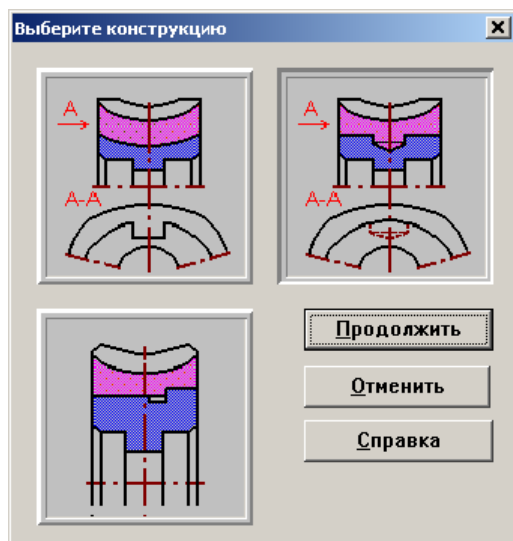


Рис. 3.21 Выбор типа крепления венца на диске

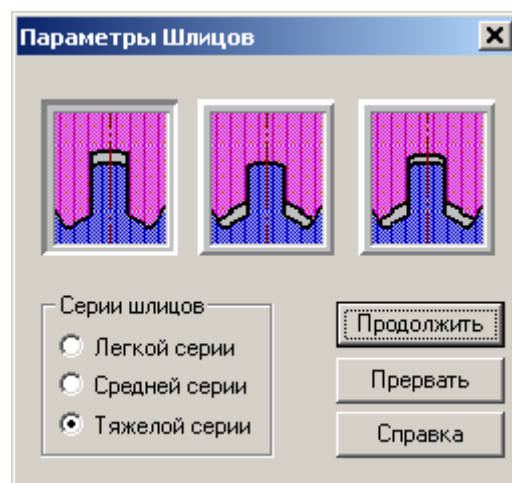


Рис. 3.22 Выбор параметров шлицевого соединения

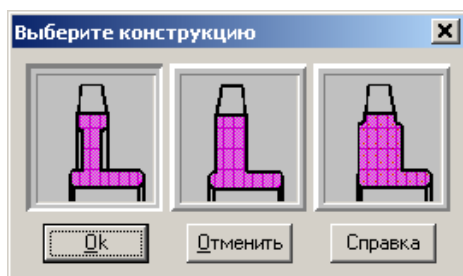


Рис. 3.23 Форма диска звездочки

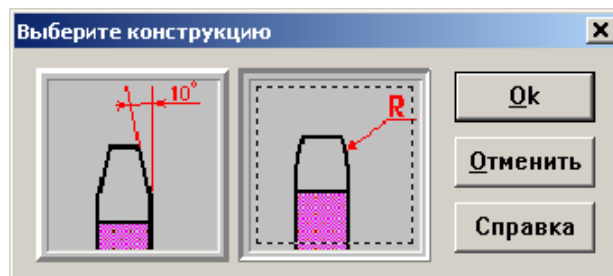


Рис. 3.24 Форма боковой поверхности звездочки

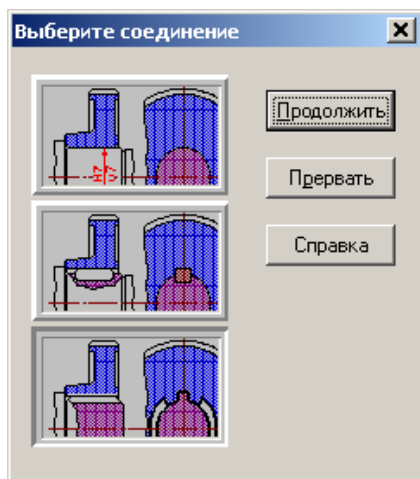


Рис. 3.25 Выбор типа крепления колеса на валу

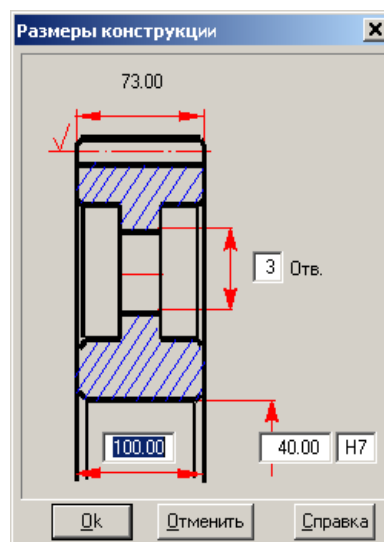


Рис. 3.26 Геометрические размеры конструкции

Ввод табличных параметров

Диалоговое окно выбора табличных параметров (рис. 3.27) Вы можете открыть, дважды кликнув мышкой по зоне 3 в главном окне генерации чертежей или выбрав команду **Данные |**

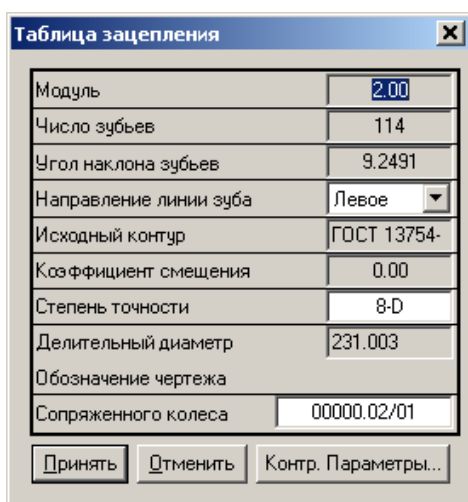


Рис. 3.27 Ввод параметров таблицы зацепления

Таблица зацепления.... Заметим, что в случае, если чертёж проектируемой детали не должен иметь таблицы или же таблица не содержит нерасчётных параметров, то эта зона будет недоступна. Все элементы, находящиеся в этом окне, можно разделить на действующие и на обстановку. К действующим элементам относятся все кнопки, выпадающие блоки списка и некоторые поля ввода. При работе с диалоговым окном Вы непосредственно работаете только с элементами действия. Обстановка же показывает примерный вид и содержание соответствующего поля чертежа. В окне Вам нужно будет ввести те данные, которые не могут быть получены в результате расчётов – направление линии зуба, обозначение чертежа сопряжённой детали и т.п. Для перехода от одного элемента к другому используйте комбинации клавиш Tab и Shift+Tab, для подтверждения ввода кнопка «Ok», для закрытия окна без запоминания введённых величин кнопка «Отмена».

Ввод технических требований

Диалоговое окно ввода технических требований (рис. 3.28) вы можете открыть, дважды кликнув мышкой по зоне 4 в главном окне генерации чертежей или выбрав команду **Данные | Технические требования....**

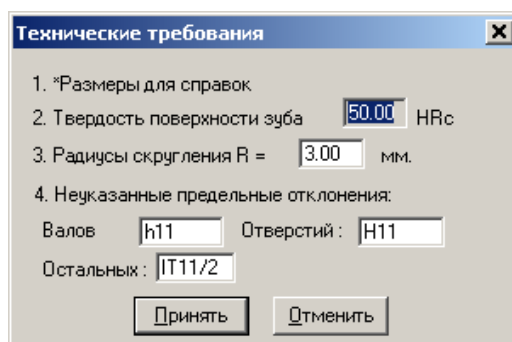


Рис. 3.28 Диалоговое окно ввода технических требований

Для перехода от одного элемента к другому используйте комбинации клавиш Tab и Shift+Tab, для подтверждения ввода кнопка «Ок», для закрытия окна без запоминания введенных величин кнопка «Отмена». *Содержание технических требований можно изменить и дополнить непосредственно в редакторе APM Graph уже непосредственно после генерации чертежа.*

Вызов редактора APM Graph

По команде **Сохранить** меню окна подготовки чертежей появляется диалоговое окно сохранения чертежа (рис. 3.29). Далее, после указания папки, ввода имени файла и нажатия кнопки «Сохранить» автоматически вызывается редактор *APM Graph* (если он у вас установлен) содержащий сгенерированный чертеж. При необходимости последующее редактирование чертежа можно выполнить непосредственно в графическом редакторе *APM Graph*.

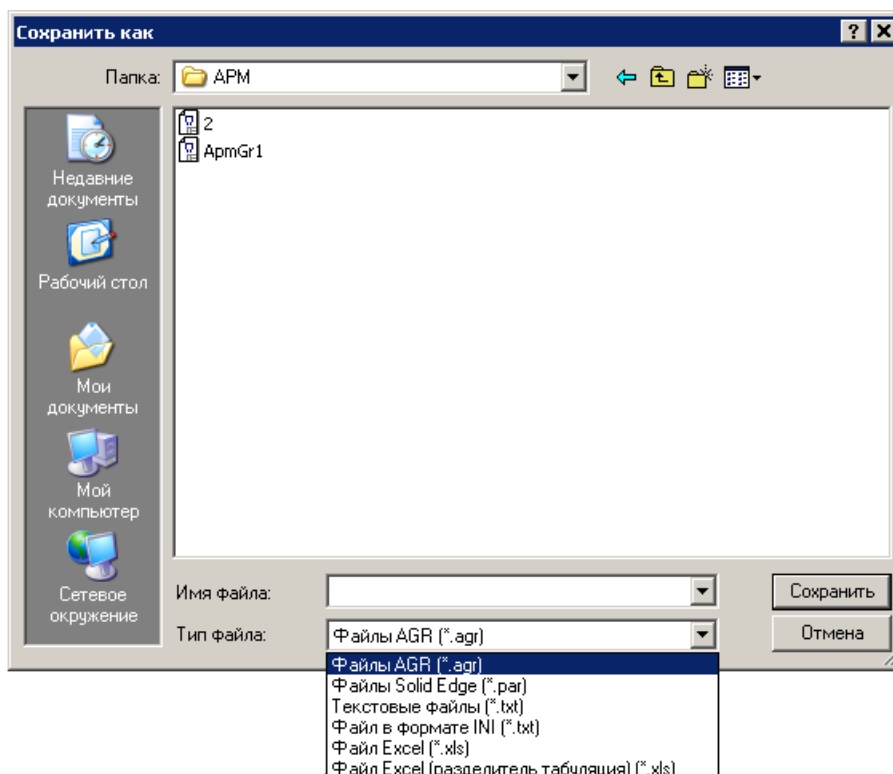


Рис. 3.29 Диалоговое окно сохранения

Экспорт исходных данных и результатов расчета

Для экспорта результатов *APM Trans* необходимо в диалоговом окне сохранения чертежа выбрать папку и один из типов файлов:

- 3D-модель *Solid Edge* (*.par)
- Текстовый файлы (*.txt)
- Файл в формате INI (*.txt)
- Файл *Excel* (*.xls)
- Файл *Excel* (разделитель табуляция) (*.xls)

Следует заметить, что файл *Solid Edge* (*.par) генерируется только при установленной системе *Solid Edge*.

Исходные данные и результаты в форматах *.ini, *.txt, *.xls представляют текстовый список названий и значений переменных, который может быть использован для обменов данными с другими системами сторонними разработчиками программного обеспечения.

Для вызова описания названия переменных (рис. 3.30) необходимо выбрать команду **Параметры | Названия переменных...**

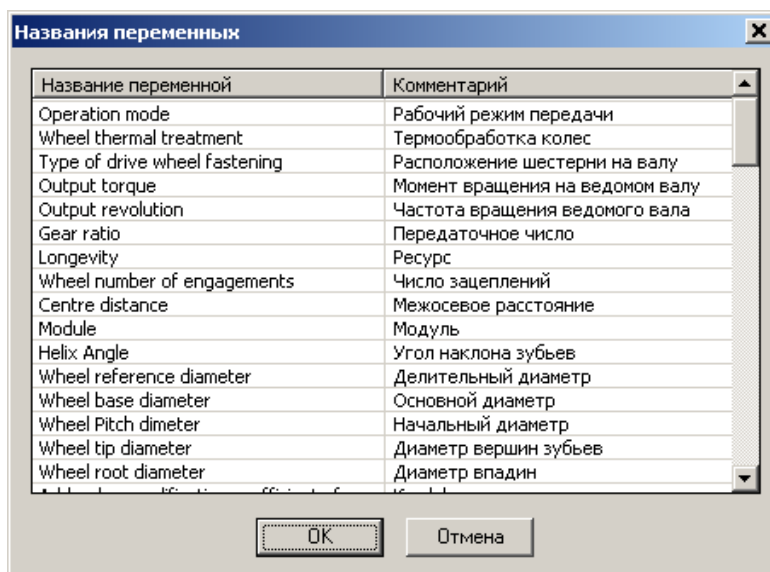


Рис. 3.30 Описание названий переменных

Программный вызов ранее сохраненного файла *APM Trans* из командной строки может быть осуществлен, используя следующее выражение:
wintrans32.exe /L "имя файла"

Вывод результатов на печать

Для вывода исходных данных и результатов расчета на печать воспользуйтесь командой **Файл | Печать**. По этой команде система выдаст диалоговое окно выбора результатов для печати, схожее с окном, появляющимся в ответ на команду **Результаты** (см. выше). Далее появляется окно для установки характеристик печати. После выбора принтера и настройки всех необходимых опций и нажатия кнопки «Ok» система *APM Trans* приступает к печати документа. На экран выводится окно, информирующее о состоянии печати. При печати результатов расчета ременной передачи можно выбрать нескольких вариантов (рис. 3.31). Для этого удерживая нажатой клавишу Shift выделите с помощью мыши или клавиш «вверх» («вниз») необходимые варианты.

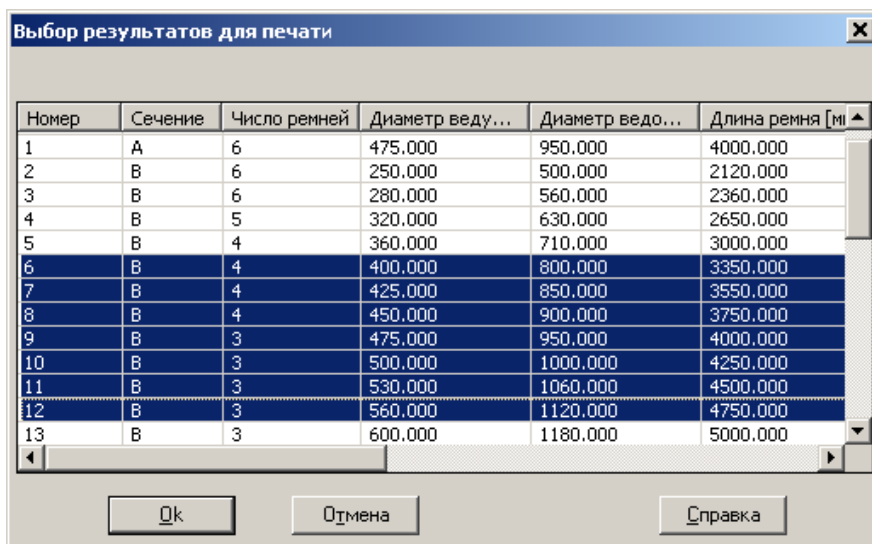


Рис. 3.31 Выбор для печати результатов расчета ременной передачи

Для обмена результатами расчета между подразделениями предприятиями удобно использовать виртуальный принтер для представления результатов в виде pdf-файлов или тиф-рисунков, доступных для просмотра при отсутствии установленного *APM Trans*. Для вызова диа-

логового окна *Windows* настройки принтера используйте команду **Установки принтера...** Для сохранения исходных данных и результатов в виде текстового файла (*.rtf) предназначена команда **Сохранить как...** (см. раздел Сохранение данных и результатов в файл).

Завершение работы с системой

Для завершения работы с системой *APM Trans* используйте команду **Файл | Выход** или кнопку управления окном. Если исходные данные и результаты расчета не были сохранены, система предложит их сохранить (рис. 3.32).

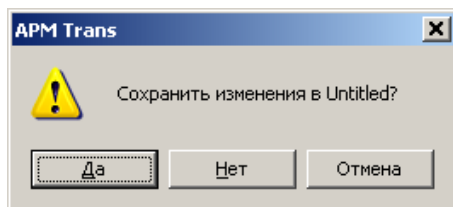


Рис. 3.32 Предупреждения об окончании работы программы

Глава 4. APM Trans в вопросах и ответах

В: Какие типы передач можно рассчитать, используя APM Trans?

О: Система *APM Trans* позволяет рассчитать следующие типы передач:

- прямозубые передачи внешнего и внутреннего зацепления;
- косозубые передачи;
- шевронные передачи;
- конические передачи с круговым и прямым зубом;
- червячные передачи;
- плоскоременные и клиноременные передачи;
- цепные передачи.

Классификация передач, рассчитываемых *APM Trans* представлена в разделе «*Типы передач*» главы 2.

В: Какие параметры передач можно рассчитать в APM Trans?

О: С помощью *APM Trans* можно рассчитать следующие характеристики передач вращения:

- Геометрические параметры передач;
- Силы, действующие в передаче;
- Долговечность;
- Максимальную допустимую нагрузку;
- Параметры контроля.

Для детальной справки смотри раздел «*Результаты*» в Главе 2.

В: Как получить справку по системе?

О: Для того чтобы получить справку по системе используйте команду **Помощь | Содержание** или нажмите F1. Используйте мышь или клавишу Tab для выбора интересующей Вас темы. Все диалоговые окна, применяемые в системе *APM Trans*, содержат кнопку *Помощь*. Выберите эту кнопку, если функции или назначение какого-либо элемента Вам не ясны.

В: Поддерживает ли система APM Trans экспорт результатов?

О: *APM Trans* поддерживает экспорта результатов в следующие форматы:

- Файл *Solid Edge* (*.par)
- Текстовый файлы (*.txt)
- Файл в формате INI (*.txt)
- Файл *Excel* (*.xls), Файл *Excel* (разделитель табуляция) (*.xls)

См. раздел «*Экспорт исходных данных и результатов расчета*» главы3.

В: Как сохранить исходные данные и результаты расчета в виде файла отчета в формате *.rtf?

О: Для сохранения исходных данных и результатов расчета необходимо выбрать команду **Файл | Сохранить как...** В появившемся диалоговом окне нужно выбрать тип файла (*.rtf), ввести имя файла и нажать кнопку «*Сохранить*».

В: Как изменить содержимое базы данных?

О: Команда **База Данных | Настройка базы...** вызывает менеджера баз данных. Подробное описание работы с менеджером баз данных изложено в разделе «*Базы данных*» главы 1.

Литература

1. Гинзбург, Е.Г. Зубчатые передачи : Справочник [Текст] / Е.Г. Гинзбург, Н.Ф. Голованов, Н.Б. Фирун, Н.Т. Халебский – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 416 с.
2. Шелофаст, В.В. Основы Проектирования Машин [Текст] / В.В. Шелофаст – М. : Издательство АПМ, 2005. – 472 с.