



# *APM Shaft*

---

Руководство пользователя

# *APM Shaft*

---

Система расчета и проектирования валов и осей

*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](mailto: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

<b>Содержание</b> .....	<b>3</b>
<b>Введение</b> .....	<b>5</b>
Основные положения .....	5
Требования к аппаратному и программному обеспечению .....	5
Краткий путеводитель по руководству .....	5
<b>Глава 1. Задачи, исходные данные и результаты</b> .....	<b>6</b>
Назначение и классификация валов .....	6
Расчет валов .....	6
<i>Критерии, используемые при расчете валов</i> .....	6
<i>Расчет статической прочности</i> .....	6
<i>Расчет вала на сопротивление усталости</i> .....	7
<i>Расчет жесткости</i> .....	7
<i>Расчет динамических характеристик вала</i> .....	8
<b>Глава 2. Элементы интерфейса APM Shaft</b> .....	<b>9</b>
Общие сведения .....	9
Компоненты редактора валов .....	9
<i>Главное меню</i> .....	9
<i>Статусная панель</i> .....	10
<i>Инструментальная панель</i> .....	10
<i>Рабочее поле</i> .....	10
<i>Линейки</i> .....	11
<i>Полосы прокрутки</i> .....	11
Справочник команд APM Shaft .....	11
<b>Глава 3. Как работать с системой APM Shaft</b> .....	<b>14</b>
Начало работы .....	14
Общие принципы работы с редактором .....	14
<i>Выбор режима</i> .....	14
<i>Рисование</i> .....	14
<i>Редактирование</i> .....	15
<i>Диагностика</i> .....	15
Настройка интерфейса редактора валов .....	15
<i>Палитра</i> .....	15
<i>Сетка</i> .....	16
<i>Шаг курсора</i> .....	16
<i>Масштаб</i> .....	16
Рисование цилиндрической секции .....	16
Редактирование и удаление секций .....	17
Рисование конической секции .....	17
Задание конструктивных элементов вала .....	18
<i>Фаска</i> .....	18
<i>Галтель</i> .....	19
<i>Канавка</i> .....	19
<i>Шпоночный паз</i> .....	19
<i>Шлиц</i> .....	20
<i>Осевое и перпендикулярное отверстие</i> .....	21
<i>Резьба</i> .....	21
<i>Концентратор напряжений</i> .....	22
<i>Поверхностная обработка вала</i> .....	22
<i>Шероховатость поверхности</i> .....	22
Опоры .....	23

Нагрузки, действующие на вал .....	23
<i>Поперечная сила</i> .....	23
<i>Осевая сила</i> .....	24
<i>Распределенная сила</i> .....	24
<i>Момент изгиба</i> .....	25
<i>Момент кручения</i> .....	25
<i>Момент инерции</i> .....	25
<i>Сосредоточенная масса</i> .....	26
Удаление вала .....	26
Учет веса вала .....	26
Задание Переменной нагрузки .....	27
Характеристика материала .....	27
Расчет .....	28
Результаты расчета .....	28
<i>Сохранение модели вала и результатов расчета</i> .....	30
<i>Печать результатов</i> .....	31
<i>Печать в RTF файл</i> .....	31
<i>Создание рабочего чертежа вала</i> .....	31
Выход из программы .....	32
<b>Рисунки .....</b>	<b>33</b>

# Введение

---

## Основные положения

**APM Shaft** представляет собой систему для расчета и проектирования валов и осей, разработанную в НТЦ "Автоматизированное Проектирование Машин".

С помощью **APM Shaft** можно рассчитать следующие параметры:

- реакции в опорах;
- распределение поперечных сил;
- распределение моментов и углов изгиба;
- распределение моментов и углов кручения;
- распределение деформаций вала;
- распределение напряжений;
- распределение коэффициента запаса усталостной прочности;
- собственные частоты и формы изгибных и крутильных колебаний вала.

**APM Shaft** позволяет получить рабочий чертеж вала в формате **APM Graph** (\*.agr), а также генерировать файл отчета в формате \*.rtf.

## Требования к аппаратному и программному обеспечению

Система **APM Shaft** 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 Shaft**, приводятся требования к аппаратному и программному обеспечению.

**Глава 1. Задачи, исходные данные и результаты** содержит описание задач, которые могут быть решены с помощью **APM Shaft**.

**Глава 2. Элементы интерфейса APM Shaft** описывает главные элементы пользовательского интерфейса **APM Shaft** – меню, компоненты редактора валов, панели инструментов, приводится справочник всех команд и пиктографических меню системы.

**Глава 3. Как работать с системой APM Shaft** содержит полное руководство по работе с системой. Рассматривается методика построения модели вала в специализированном графическом редакторе валов, задание нагрузок, размещение опор и выполнение расчета.

# Глава 1. Задачи, исходные данные и результаты

---

## Назначение и классификация валов

Валы и оси служат для установки вращающихся деталей машин, таких как зубчатые колеса, шкивы, звездочки и т.п. Вал предназначен для поддержания расположенных на нем деталей и для передачи крутящего момента. При работе вал испытывает изгиб и кручение, а в отдельных случаях дополнительно растяжение и сжатие. Ось предназначена только для поддержания расположенных на ней деталей. В отличие от вала ось не передает крутящего момента и, следовательно, не испытывает кручения. Оси могут быть неподвижными или вращаться вместе с присоединенными к ним деталями.

## Расчет валов

### *Критерии, используемые при расчете валов*

В процессе работы валы испытывают значительные нагрузки, поэтому при определении оптимальных геометрических размеров валов необходимо выполнить комплекс расчетов, включающий в себя определение:

- статической прочности;
- усталостной прочности;
- жесткости при изгибе и кручении.

При высоких скоростях вращения необходимо определять частоты собственных колебаний вала для того, чтобы предотвратить попадание в резонансные зоны. Длинные валы проверяют на устойчивость.

### *Расчет статической прочности*

Этот расчет является проверочным. С его помощью для вала заданной формы вычисляются значения коэффициентов запаса прочности. Как правило, форма и геометрические размеры вала определяются из конструктивных соображений. Расчет должен подтвердить или опровергнуть предложенную конструктором конфигурацию вала с точки зрения статической прочности. Заметим, что статическая прочность не является единственным критерием проверки правильности конструкции вала. Окончательный вывод может быть сделан только в результате проверки всех критериев (см. выше).

При расчете статической прочности вал рассматривается как круглая балка переменного сечения. Валы изготавливаются из стали, механические характеристики которой определяют величину запаса прочности при заданном нагружении вала. Таким образом, цель расчета вала может быть сформулирована как определение таких значений механических характеристик материала вала, которые обеспечивают заданные значения коэффициентов запаса прочности при заданном нагружении вала.

Если в каждом сечении вала напряжения одинаковы по величине, то такой вал называется *равнопрочным*. В силу ряда причин спроектировать равнопрочный вал на практике невозможно, но чем ближе фактические напряжения к напряжениям, имеющим место для равнопрочного вала, тем лучше будет использоваться материал проектируемого вала.

При расчете статической прочности в качестве исходных данных, помимо геометрических характеристик, должны быть заданы действующие на вал нагрузки, такие как:

- сосредоточенные и распределенные радиальные силы;
- осевые силы;
- изгибающие и крутящие моменты;
- сосредоточенные массы и осевые моменты инерции.

Необходимо также указать условия закрепления вала, задав конечное число опор, причем количество опор не должно превышать пятидесяти.

При вводе моментов кручения следует следить за тем, чтобы соблюдалось условие равновесия по кручению. Если это условие не выполняется, система проигнорирует введенные моменты кручения.

Расчет статической прочности включает в себя определение моментов изгиба и кручения в выбранных сечениях вала, а также расчет напряжений изгиба и кручения. Прочность вала оценивается величиной эквивалентных напряжений, рассчитанных исходя из гипотезы максимальных касательных напряжений. В случае статически неопределимых валов расчет реакций опор выполняется методом сил.

Результаты расчета изгибающих моментов представляются в виде эпюр, построенных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Крутящие моменты и результаты расчета эквивалентных напряжений представляются в виде графиков изменения по длине вала. Статическая прочность считается достаточной, если коэффициент запаса составляет 1,3...1,5 и более. Под коэффициентом запаса понимается отношение предела текучести материала вала к величине эквивалентного напряжения в наиболее нагруженной точке. В качестве дополнительных параметров вычисляются величины реакций опор, которые необходимы для расчета сопряженных с валом деталей.

### **Расчет вала на сопротивление усталости**

Вращение вала приводит к возникновению переменных по времени напряжений. В случае изменений приложенной к валу внешней нагрузки неравномерность напряжений еще более возрастает. Переменный характер напряжений приводит к появлению усталостных трещин, которые могут стать причиной разрушения. Разрушение начинается в наиболее напряженных точках вала.

Большую роль в возникновении и развитии разрушений играют местные напряжения. Эти напряжения появляются в местах размещения канавок, галтелей, шлицов, шпоночных пазов, резьб и т.п.

Расчет усталостной прочности производится исходя из номинальных напряжений изгиба и кручения, с учетом местных напряжений, действующих в рассматриваемой точке вала. Влияние местных напряжений учитывается введением коэффициентов концентрации напряжений; значения этих коэффициентов зависят от типа концентратора.

Результаты расчета усталостной прочности представляются в виде графика изменения коэффициента запаса усталостной прочности по длине вала. Под коэффициентом запаса понимается запас длительной прочности. Так как точность расчета этого коэффициента существенно ниже, чем точность определения статической прочности, минимально допустимое значение коэффициента запаса не должно быть меньше 2,5.

В системе предусмотрен также механизм учета переменности внешних силовых факторов, при котором переменный режим нагружения приводится к эквивалентному постоянному режиму или может быть задан пользователем в виде графика.

### **Расчет жесткости**

В некоторых случаях важным критерием, обуславливающим пригодность предложенной конструкции вала, является его *жесткость*. Напомним, что под жесткостью понимается нагрузка, вызывающая единичную деформацию (в принятой системе единиц измерения).

Расчет жесткости в модуле *APM Shaft* включает в себя определение деформаций, возникающих под действием приложенной нагрузки. Для расчета деформаций используется метод интеграла Мора. В соответствии с характером нагрузки жесткость вала делится на *изгибную* и *крутильную*; в *APM Shaft* можно рассчитать оба этих типа. Результаты расчета выводятся в виде графика изменения жесткости вдоль оси вала.

В некоторых случаях бывает необходимо определить углы поворота поперечных сечений вала и параметров кручения, полученных дифференцированием кривой деформаций; *APM Shaft* позволяет провести такие расчеты. Условие жесткости считается выполненным, если фактические деформации и углы наклона рассматриваемых сечений не превышают максимально допустимых значений. Величины допустимых значений зависят от назначения проектируемого оборудования и требуемой точности.

### **Расчет динамических характеристик вала**

При расчете быстроходных или нежестких валов возникает задача определения собственных частот изгибных и крутильных колебаний.

*APM Shaft* позволяет рассчитать как абсолютные значения собственных частот, так и их собственные формы.

В основу определения собственных частот в *APM Shaft* положен метод начальных параметров. При расчете изгибных колебаний учитывается как собственная масса вала, так и инерция поворота сечения вала.

При расчете учитываются внешние массы, к которым относятся массы и осевые моменты инерции. При расчете крутильных колебаний предполагается, что моменты инерции описывают тела вращения (для которых осевой момент инерции в два раза меньше, чем полярный).

Система *APM Shaft* позволяет рассчитать вал при различных граничных условиях и различных типах опор.

Рассматриваются опоры следующих видов:

- жесткая шарнирно-подвижная опора (реактивный момент равен нулю);
- жесткая безмоментная опора (смещение оси вала и реактивный момент равны нулю);
- упругая опора (смещение оси вала пропорционально реакции в опоре).

Из параметров материалов система использует:

- предел прочности;
- модуль упругости;
- коэффициент Пуассона;
- плотность материала.



## Глава 2. Элементы интерфейса APM Shaft

### Общие сведения

Система *APM Shaft* предназначена для работы под управлением операционной системы *MS Windows 2000, XP*. Интерфейс пользователя *APM Shaft* прост и понятен. Для изучения системы *APM Shaft* и начала работы с ней Вам потребуется не более 1-2 сеансов. В этой главе описаны основные элементы пользовательского интерфейса. Общий вид системы *APM Shaft* представлен на рис. 2.1.

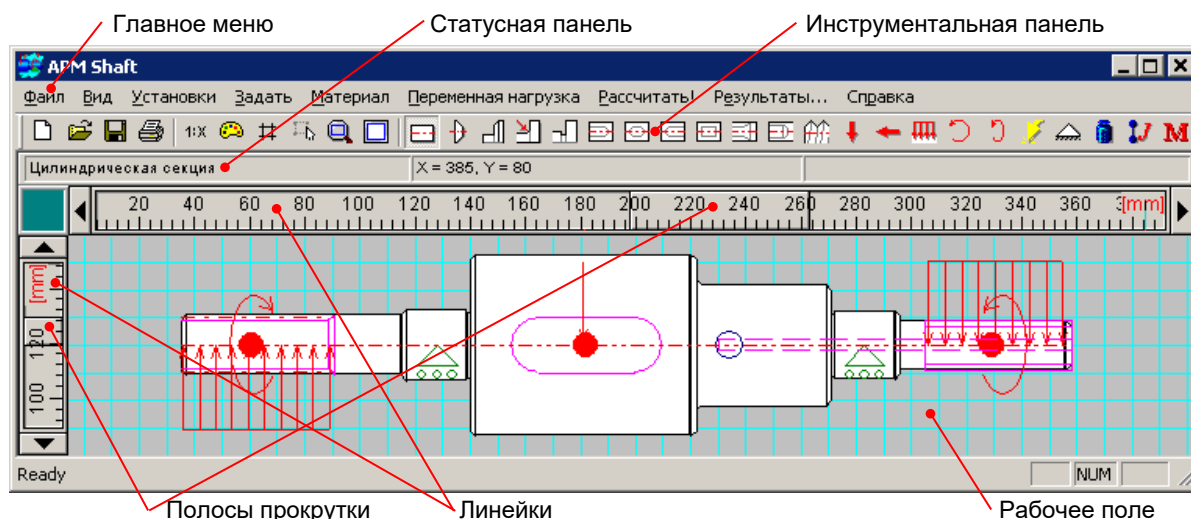


Рис. 2.1 Общий вид APM Shaft

**APM Shaft** включает в себя специализированный графический редактор, предназначенный для задания валов и осей произвольной геометрии. Основное назначение редактора валов:

- задание конструкции вала;
- ввод нагрузок, действующих на вал;
- размещение опор, на которых установлен вал.

Представление модели вала в редактора аналогично представлению вала на чертеже, что делает работу с *APM Shaft* простой и удобной. Основное отличие редактора валов модуля *APM Shaft* от традиционных графических редакторов состоит в наборе примитивов, с которыми он оперирует. Набор примитивов в *APM Shaft* включает в себя основные элементы конструкции вала (цилиндрические и конические секции, фаски, галтели, канавки, отверстия, участки с резьбой, шпоночные пазы и шлицы), а также условные обозначения для действующих на вал нагрузок и опор, на которых он установлен. Это значительно упрощает ввод геометрии и конструктивных элементов вала, задание нагрузок и других данных, необходимых для выполнения расчетов.

### Компоненты редактора валов

Внешний вид редактора валов *APM Shaft* показан на рис. 2.1. Его основными элементами являются главное меню, статусная панель, инструментальная панель, линейки и рабочее поле (окно редактирования). Включения/выключения основных элементов редактора осуществляется с помощью соответствующих команд выпадающего меню **Вид**. Выключение панелей приводит к увеличению размеров рабочего поля.

#### Главное меню

Главное меню (рис. 2.2) расположено в верхней части окна и содержит все команды системы *APM Shaft*. Описание команд главного меню приведено в справочнике команд (таблица 2.1).

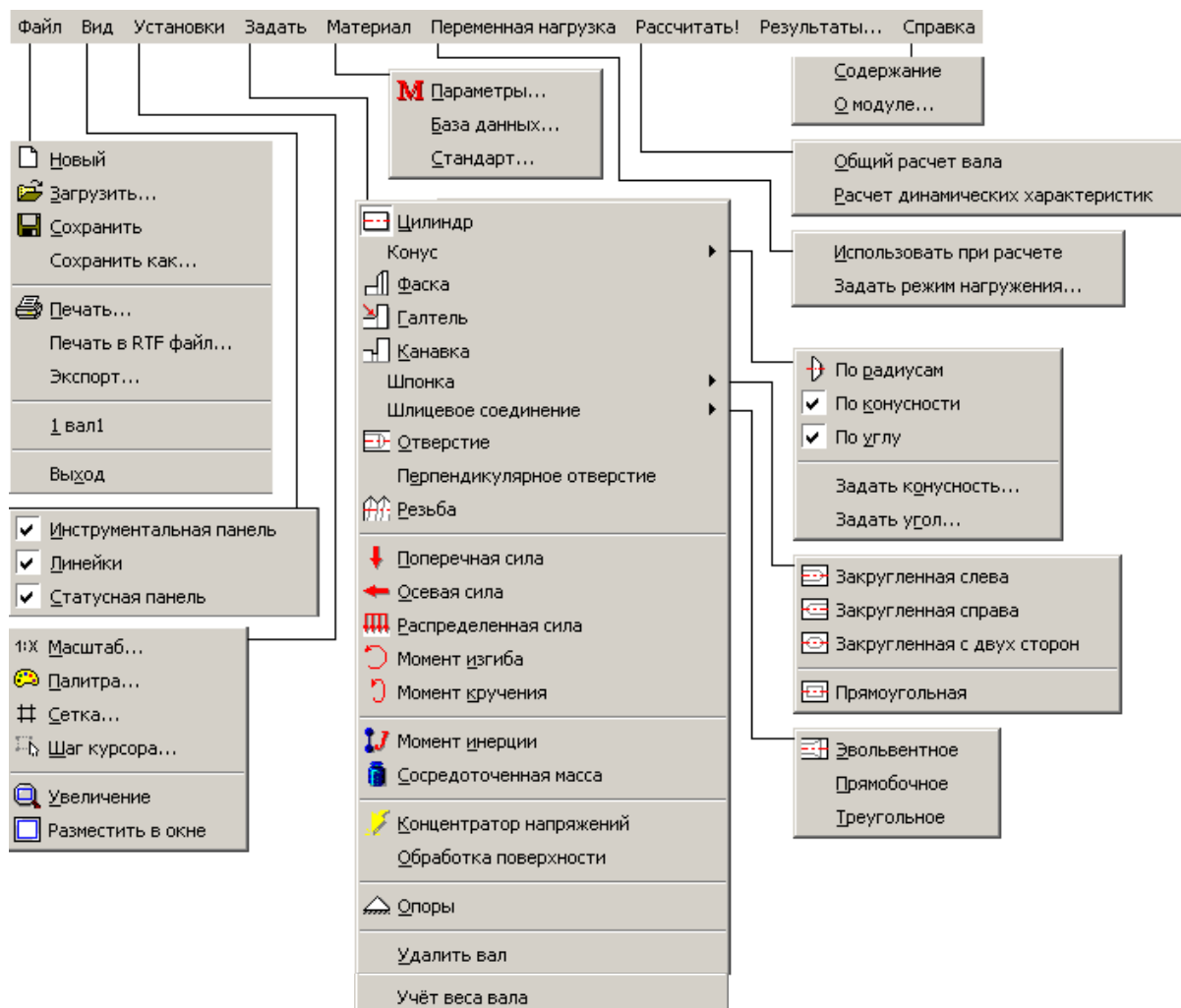


Рис. 2.2 Структура главного меню системы APM Shaft

### Статусная панель

Статусная панель отображает название активной команды и используется для вывода текущих значений параметров в процессе рисования вала. Набор отображаемых параметров зависит от того, какая команда активна. Так, например, при рисовании цилиндрического участка вала на статусной панели показываются координаты курсора, а также текущие значения длины и диаметра цилиндрической секции.

### Инструментальная панель

Инструментальная панель содержит кнопки ускоренного вызова часто используемых команд редактора. Для вызова нужной команды щелкните левой кнопкой мыши по соответствующей пиктографической кнопке.

Краткое описание команд главного меню и соответствующих кнопок инструментальной панели представлены в справочнике команд (таблица 2.1).

### Рабочее поле

Рабочее поле является главным компонентом редактора валов. На нем отображается модель вала и выполняются операции по ее формированию и изменению.

### Линейки

Редактор включает в себя две линейки – вертикальную и горизонтальную. На линейках показаны шкалы, которые зависят от текущего масштаба изображения и от того какая часть вала показывается в данный момент в рабочем поле. Кроме того, линейки совмещены с полосами прокрутки.













### Полосы прокрутки





















Вал, с которым работает пользователь, может не помещаться целиком в рабочем поле. Полосы прокрутки позволяют «перемещать» вал относительно рабочего поля редактора.

## Справочник команд APM Shaft

Описание команд главного меню и соответствующих кнопок инструментальной панели сведены в таблицу 2.1. Методика создания модели вала и порядок выполнения расчета в системе APM Shaft подробно изложен в главе 3.

Таблица 2.1 – Справочник команд APM Shaft

Главное меню	Команда	Описание команды
Файл	 Новый	Создания нового вала
	 Открыть...	Открытие файла <b>APM Shaft</b> (*.wsh)
	 Сохранить	Сохранение исходных данных и результатов расчетов в файл <b>APM Shaft</b> (*.wsh)
	Сохранить как...	Сохранение исходных данных и результатов в файл (*.wtr) под другим именем
	 Печать...	Вызов диалогового окна печати исходных данных и результатов расчета;
	Печать в RTF файл...	Вызов диалогового окна печати в *.rtf - файл исходных данных и результатов расчета;
	Экспорт...	Создание рабочего чертежа вала в формате <b>APM Graph</b> (*.agr).
	Выход	Выход из системы APM Shaft
Вид	<input checked="" type="checkbox"/> Инструментальная панель	Вкл./выкл. инструментальную панель с кнопками ускоренного выбора команд
	<input checked="" type="checkbox"/> Линейки	Вкл./выкл. горизонтальные и вертикальные линейки и полосы прокрутки
	<input checked="" type="checkbox"/> Статусная панель	Вкл./выкл. статусной панели для отображения текущей информации
Установки	 Масштаб	Установка масштаба отображения вала
	 Палитра	Настройка цветов отдельных элементов вала и компонентов редактора валов
	 Сетка	Настройка шага и типа сетки
	 Шаг Курсора	Настройка точности задания координат и размеров с помощью мыши
	 Увеличение	Увеличить фрагмент вала с помощью
	 Разместить в окне	Разместить вал в окне, чтобы он был полностью виден на экране
Задать	 Цилиндр	Рисование цилиндрических участков вала
	 Конус   По радиусам	Рисование конических участков вала по начальному и конечному радиусам
	Конус   <input checked="" type="checkbox"/> По конусности	Рисование конуса по текущему значению конусности


	Конус   ✓ По углу	Рисование конуса по текущему значению угла конуса (т.е. угла между образующей конуса и осью вала)
	Конус   Задать конусность...	Задание текущего значения конусности
	Конус   Задать угол...	Задание текущего значения угла конуса
	 Фаска	Задание фасок
	 Галтель	Задание галтелей
	 Канавка	Задание канавок
	 Шпоночный паз   Закругленный слева	Рисование шпоночных пазов, начинающихся на правом краю сегмента и имеющих закругление слева
	 Шпоночный паз   Закругленный справа	Рисование шпоночных пазов, начинающихся на левом краю сегмента и имеющих закругление справа
	 Шпоночный паз   Закруг- ленный с двух сторон	Рисование шпоночных пазов, закругленных с двух сторон
	 Шпоночный паз   Прямоугольный	Рисование прямоугольных шпоночных пазов
	 Шлиц   Эвольвентный	Рисование эвольвентных шлицов
	Шлиц   Прямобочный	Рисование прямобочных шлицов
	Шлиц   Треугольный	Рисование треугольных шлицов
	 Отверстие	Рисование осевых отверстий
	Перпендикулярное отверстие	Рисование отверстий, перпендикулярных оси вала
	 Резьба	Задание резьбы
	 Поперечная сила	Задание поперечных сил
	 Осевая сила	Задание осевых сил
	 Распределенная сила	Задание распределенных сил
	 Момент изгиба	Задание моментов изгиба
	 Момент кручения	Задание моментов кручения
	 Момент инерции	Задание внешних осевых моментов инерции, например от шкива ременной передачи
	 Сосредоточенная масса	Задание внешних сосредоточенных масс, например от зубчатого колеса
	 Концентратор напряжений	Задание концентраторов напряжений на участках вала
	Обработка поверхности	Задания поверхностной обработки участков вала
	Шероховатость поверхности	Задание шероховатости поверхности участка вала
	 Опоры	Задание опор
	Удалить вал	Удаление текущего вала со всеми его конструктивными особенностями, нагрузками и опорами.
	Учет веса вала	Задания множителя веса вала по горизонтальному, вертикальному или осевому направлению
Материал	 М Параметры	Задание механических свойств материала вала
	База данных	Выбор материала из базы данных
	Стандарт	Выбор стандарта из базы данных, по которому будут выбираться шпоночные пазы, шлицы и т.д.

Переменная нагрузка	Задать режим нагружения...	Выбор одного из типовых режимов нагружения или задание режима нагружения пользователем
	<input checked="" type="checkbox"/> Использовать при расчете	Вкл./выкл. использования переменной нагрузки (режима нагружения) при расчете
Рассчитать!	Общий расчет вала	Расчет вала на статическую и усталостную прочность
	Расчет динамических характеристик	Расчет собственных частот и форм изгибных и крутильных колебаний вала
Результаты...	–	Вызов диалогового окна выбора результатов расчета для просмотреть расчетов
Справка	Содержание	Вызов содержания справки по APM Shaft
	О модуле...	Вывод окна с информацией об установленной версии APM Shaft, разработчике и обладателе лицензии на программу

## Глава 3. Как работать с системой APM Shaft

---

### Начало работы

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

Для выполнения расчета вала необходимо выполнить следующие действия:

1. Создание геометрической модели вала (рисование цилиндрических и конических участков вала);
2. Задание конструктивных элементов вала (фаска, галтель, канавка, шпоночный паз, шлицы, отверстия, резьба, концентратор напряжения);
3. Задание обработки поверхности;
4. Размещение опор;
5. Задание нагрузки (поперечная сила, осевая сила, распределенная сила, момент изгиба, момент кручения, момент инерции, сосредоточенная масса, режим нагружения);
6. Задание параметров материала;
7. Выполнение расчета и просмотр результатов, создание рабочего чертежа вала;
8. Сохранение и экспорт результатов.

Достаточным условием для выполнения расчета вала является: создание модели вала (п.1), размещение не менее двух опор (п.4), задание хотя бы одной нагрузки (п.5), материалом по умолчанию является Сталь 08.

Для получения справочной информации по работе с системой воспользуйтесь командой **Справка | Содержание**. В появившемся оглавлении справочной системы выберете интересующий Вас раздел.

### Общие принципы работы с редактором

#### Выбор режима

Для того, чтобы нарисовать вал нужно последовательно задать элементы его конструкции; для проведения расчетов, нужно также ввести нагрузки и разместить опоры. **Чтобы нарисовать или отредактировать какой либо элемент вала, нужно переключить редактор в режим рисования этого элемента.** Для этого нужно выбрать либо соответствующую пиктографическую кнопку на инструментальной панели, либо команду в главном меню. Показателем текущего режима является форма курсора в рабочем поле – она соответствует объектам, с которыми в данный момент работает редактор, а также информация на статусной панели.

#### Рисование

Рисование вала, ввод нагрузок и опор в системе APM Shaft производится с помощью мыши. После активации команды курсор мыши принимает форму активного элемента. В процессе рисования курсором мыши необходимо указать точку или участок где нужно поместить активный элемент; после этого параметры элемента могут быть уточнены в диалоговом окне.

По особенностям задания примитивы редактора валов можно условно разделить на две группы - «точечные» и «протяженные». К «точечным» элементам относятся те, для размещения которых нужно указать либо только осевую координату (сосредоточенные силы, опоры), либо участок (например, для размещения галтели нужно указать зону контакта цилиндров, для задания фаски – край цилиндра). Для задания этих элементов нужно поместить курсор в нужную точку или зону и щелкнуть **левой** кнопкой мыши. На экране появляется диалоговое окно, в котором вводятся характеристики элементов (например, величина силы или радиус галтели). К числу «протяженных» относятся цилиндрические и конические секции вала, участки с резьбой, отверстия, шпоночные пазы и шлицы, распределенные силы. При вводе этих примитивов обычно нужно задать габариты соответствующего элемента (например, начальную и конечную точки цилиндрического участка и его диаметр). Последовательность действий в этом случае следующая. Сначала поместить курсор в ту точку, где начинается элемент, и нажать левую кнопку мыши. Затем, удерживая кнопку, переместить курсор в ту точку, где элемент кончается, и отпустить кнопку. В процессе перемещения курсора при нажатой кнопке мыши на экране рисуется текущая форма (или текущие габариты) эле-

мента, а на статусной панели выводятся текущие значения параметров. Если отпустить кнопку, на экране может появляться диалоговое окно для уточнения значений параметров.

Элементы вала можно также разделить на «первичные» и «вторичные». К первичным относятся цилиндрические и конические секции вала. Все остальные элементы являются вторичными – они могут быть введены только после того, как заданы первичные элементы и только в их границах (например, нельзя задать нагрузку при отсутствии вала или приложить ее за его границами).

### Редактирование

Редактирование в системе APM Shaft включает в себя изменение параметров элементов вала или удаление. **При редактировании нужно переключить редактор в режим рисования элементов того типа, который Вы хотите редактировать.** Затем необходимо указать объект, который вы хотите удалить или изменить. Для этого нужно поместить курсор на объект и нажать **правую** кнопку мыши. (Точность указания объекта курсором должна быть достаточной, чтобы система могла определить какой объект Вы хотите редактировать; не обязательно помещать курсор непосредственно на объект, достаточно, чтобы он был ближайшим среди объектов данного типа). На экране появляется диалоговое окно редактирования, содержащее параметры объекта и кнопку «Удалить». Пользователь может ввести новые значения параметров или удалить объект.

---

**Рисование элементов вала – ЛЕВОЙ кнопкой мыши, а редактирование – ПРАВОЙ.**

---

### Диагностика

В процессе работы система пытается отследить ошибочные действия пользователя. Например, невозможно разместить нагрузки или опоры за пределами вала; ввести отверстие, диаметр которого больше диаметра вала и т.п. Тем не менее, предусмотреть все виды возможных ошибок трудно, поэтому пользователь должен контролировать вал, который он рисует.

Следует быть внимательным при редактировании (изменении) конструкции вала. Например, у Вас есть цилиндрический сегмент вала длиной 100 мм, на котором имеется участок с резьбой длиной 90 мм. Вы решили уменьшить длину сегмента до 50 мм, но не уменьшили длину участка с резьбой. В результате участок с резьбой перейдет на следующий сегмент (который может иметь другой диаметр) или даже выйдет за пределы вала.

### Настройка интерфейса редактора валов

Для удобства работы с системой APM Shaft предусмотрено изменение пользовательских настроек. Для изменения настроек используются команды выпадающего меню **Вид (Инструментальная панель, Линейка, Статусная панель)** и **Установки (Палитра..., Сетка..., Шаг курсора, Масштаб...)**. При этом следует отметить, что настройки «по умолчанию» являются достаточно удобными для построения моделей наиболее распространенных конструкций валов.

#### Палитра...

Палитрой называется совокупность цветов фона, линий вспомогательной сетки, а также компонентов вала, нагрузок и опор. Для настройки и выбора схемы палитры используется команда **Установки | 🎨 Палитра**. В диалоговом окне настройки палитры (рис. 3.1) выбор элемента интерфейса для настройки осуществляется из списка «Элемент». Для задания цвета выбранного элемента нажмите на кнопку «Определить...». Изменения настроек цветов отображаются в верхней части диалогового окна. Пользователь может сохранить схему палитры, нажав кнопку «Сохранить...» и затем ввести имя новой схемы палитры. В дальнейшем переключение между схемами осуществляется посредством выбора нужной схемы из списка «Палитра». Для удаления схемы палитры воспользуйтесь кнопкой «Удалить».

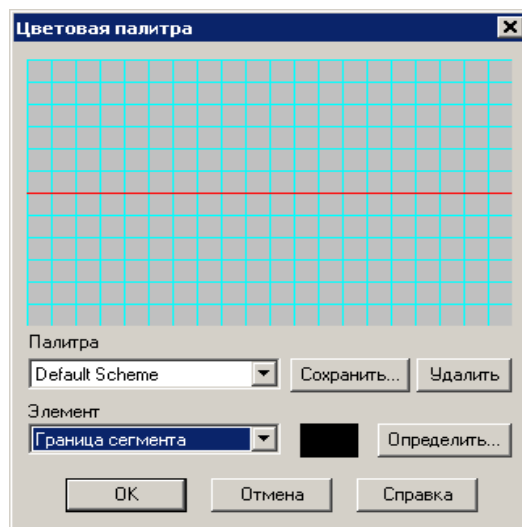



Рис. 3.1 Настройка палитры



### Сетка...

Для лучшего визуального контроля при рисовании вала в поле редактора может выводиться вспомогательная прямоугольная сетка. С помощью команды **Установки** |  **Сетка** пользователь может выбрать шаг сетки и тип линий сетки (рис. 3.2).

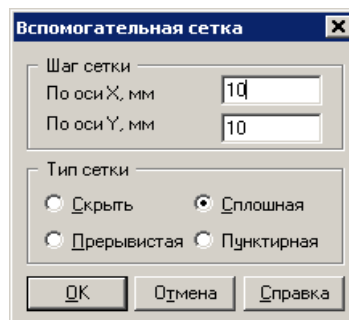



Рис. 3.2 Настройка сетки

### Шаг курсора...

При работе с редактором имеется возможность регулировать точность задания координат и размеров. По умолчанию используется точность равная 1 мм. Это значит, что все размеры элементов вала и все координаты будут округляться до 1 мм. Вы можете ввести другое значение с помощью команды **Установки** |  **Шаг Курсора** (рис. 3.3).

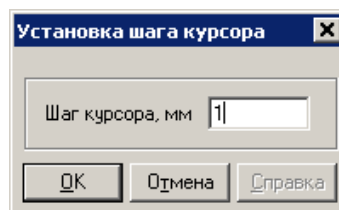




Рис. 3.3 Установка шага курсора

### Масштаб...

Рисование геометрической модели вала осуществляется в масштабе 1:1. Команда **Установки** |  **Масштаб** служит лишь для изменения масштаба отображения вала на рабочем поле реактора. В диалоговом окне (рис. 3.4) Вы можете ввести нужный масштаб в поле *Масштаб* или выбрать один из стандартных масштабов (1:2, 1:5, 1:10 и т.д.).

Для отображения какого-либо фрагмент вала в рабочем окне можно воспользоваться командой **Установки** |  **Увеличение**. Для этого необходимо после активации команды просто выделить фрагмент вала рамкой.

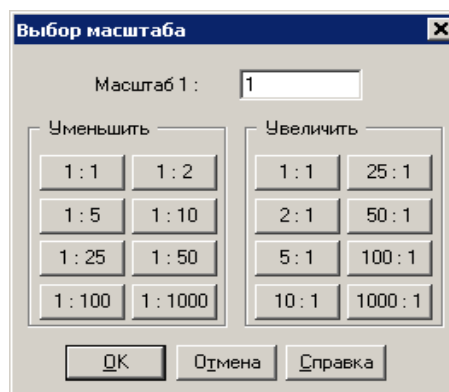




Рис. 3.4 Выбор масштаба

Для отображения всего вала в рабочем окне удобно использовать команду **Установки** |  **Разместить в окне**.

## Рисование цилиндрической секции

Для рисования цилиндрической секции выберите команду **Задать** |  **Цилиндр** или кнопку "Цилиндр" на инструментальной панели.

Рисование цилиндрической секции может осуществляться в трех режимах (рис. 3.5):

- добавление секции слева
- добавление секции справа
- вставка секции

Выбор режима определяется выбором начального положения курсора (имеется в виду положение курсора в тот момент, когда Вы нажимаете левую кнопку мыши). Если ближайшим к курсору в начальный момент рисования будет левый край вала, новая секция будет добавлена к валу слева, если правый - то справа. Если ближайшей является граница между двумя существующими секциями внутри вала, то новая секция будет вставлена между ними (рис. 3.5 в).



Чтобы добавить новую секцию к левому концу вала (рис. 3.5 а) поместите курсор слева от левого конца вала и нажмите левую клавишу мыши. Далее, перемещая курсор, задайте ширину и радиус секции. Текущие значения этих параметров отображаются на *статусной панели*. Форма новой секции показывается на экране цветом отличным от цвета уже введенных участков вала. Когда Вы отпустите кнопку мыши, секция будет перерисована нормальным цветом.

Если первоначально курсор поместить на первую секцию (но ближе к ее левому краю) то новая секция будет добавлена также слева, при этом вал как бы сдвинется вправо, так что его левая граница останется на прежнем месте. Таким же образом добавляется новая секция к правому концу вала (рис. 3.5 б) – начальное положение курсора должно быть ближе к правому концу.

Если Вы хотите вставить новую секцию внутрь вала (рис. 3.5 в), поместите курсор на границу тех участков, между которыми Вы хотите вставить новую секцию, нажмите левую кнопку мыши и удерживая ее задайте размеры вставляемой секции. Для контроля точности отрисовки секции пользуйтесь режимом редактирования.

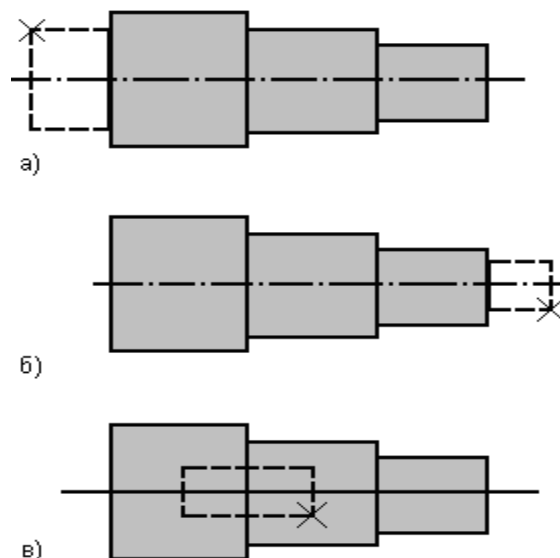


Рис. 3.5 Добавление новых секций к валу

а) добавление секции к левому краю вала,  
 б) добавление секции к правому краю вала,  
 в) вставка секции внутри вала.  
 Крестиком показано начальное положение курсора. При перемещении курсора по горизонтали изменяется длина добавляемой секции, по вертикали - ее радиус.

## Редактирование и удаление секций

Для редактирования или удаления какой-либо секции вала нужно сначала ее выбрать. Для этого войдите в режим рисования этого элемента, выберите нужный элемент, подведя к нему курсор и нажав *правую* кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно содержит поля ввода, заполненные текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления элемента. Для редактирования цилиндрических и конических участков используется одно и то же диалоговое окно (рис. 3.6). В нем можно ввести новые значения длины секции, диаметры секции слева и справа. С помощью редактирования цилиндрический участок можно сделать коническим и наоборот.

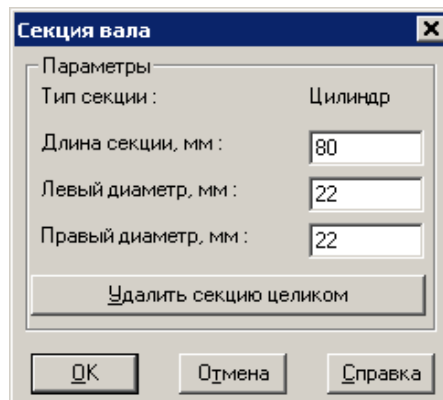


Рис. 3.6 Диалоговое окно редактирования параметров секции вала

## Рисование конической секции

Конический участок в редакторе валов может быть задан тремя способами:

- по начальному и конечному радиусам;
- по начальному радиусу и значению конусности;
- по начальному радиусу и углу между образующей конуса и осью вала.

Для выбора способа рисования нужно открыть всплывающее меню **Задать | Конус** и в нем выбрать в нем одну из команд **По радиусам**,  **По конусности** или  **По углу**. Если Вы выберете один из двух последних способов, нужно ввести значения конусности или угла конуса. Для этого служат команды **Задать | Конус | Задать Конусность** и **Задать | Конус | Задать Угол**. Рисование конуса похоже на рисование цилиндра. Предположим, что Вы решили добавить конический участок к правому краю вала, задав его начальным и конечным радиусами (рис. 3.7). Поместите курсор справа от вала и нажмите левую кнопку мыши. Удерживая кнопку мыши нажатой, переместите курсор по горизонтали так, чтобы он расположился на правом краю вала (рис. 3.7 а).

Теперь перемещайте курсор по вертикали до тех пор, пока левый радиус конуса не примет то значение, которое Вам нужно (значение левого радиуса выводится на статусной панели). После этого перемещайте курсор по горизонтали до тех пор, пока длина секции не примет нужное значение (рис. 3.7 б). Далее снова перемещайте курсор по вертикали, чтобы установить величину правого радиуса конуса (рис. 3.7 в). Когда конус примет нужную форму, отпустите кнопку мыши. Для уточнения параметров конуса, щелкните на нем *правой* кнопкой мыши и в диалоговом окне редактирования (рис. 3.6), введите новые значения.

Если Вы рисуете конус по углу или по величине конусности, то после задания начального радиуса, «резиновый» конус рисуется сразу с нужным углом (или с нужным значением конусности). При этом пользователю необходимо только задать один из радиусов и длину конуса, второй радиус определится автоматически.

В этой ситуации возможны два варианта – если при перемещении курсора последний будет находиться выше чем верхний край или ниже чем нижний край конуса, диаметр конуса будет увеличиваться (начальный радиус будет меньше конечного); в противном случае диаметр конуса будет уменьшаться.

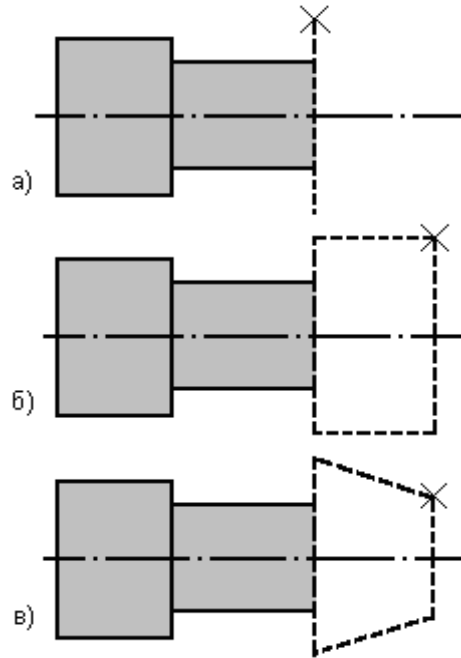


Рис. 3.7 Последовательность рисования конуса по начальному и конечному радиусам

- а) задание начального радиуса;
  - б) задание длины конического участка;
  - в) задание конечного радиуса.
- Крестиком показано положение курсора.

## Задание конструктивных элементов вала

Используя графический редактор можно задать следующие конструктивные элементы вала (рис. 3.8): фаски, галтели, канавки, шпоночные пазы, шлицы, отверстия, участки с резьбой.

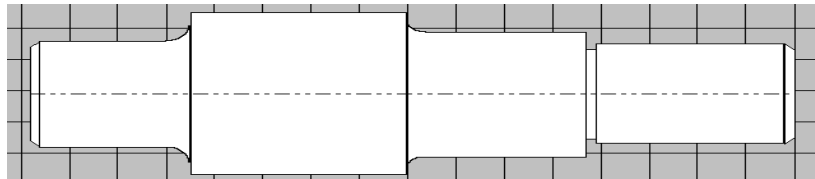


Рис. 3.8 Редактор APM Shaft. Фрагмент вала с фасками, галтелями и канавкой

### Фаска

Фаска – небольшая коническая расточка на краю цилиндрического участка вала (рис. 3.8).

Для рисования фаски выберите команду **Задать | [иконка] Фаска** или кнопку «**Фаска**» на инструментальной панели. Подведите курсор к тому краю сегмента, на котором Вы хотите поместить фаску и нажмите левую кнопку мыши. На экране появляется диалог (рис. 3.9), в котором необходимо указать ширину фаски и угол между образующей фаски и осью вала. Введите нужные значения или используйте те, которые предлагаются по умолчанию. Для редактирования или удаления фаски войдите в режим ее рисования, выберите нужную фаску для редактирования, подведя к ней курсор и нажав *правую* кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.9) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления элемента.

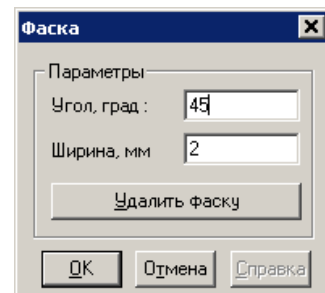



Рис. 3.9 Задание и редактирование фаски

### Галтель

Галтель – переходный элемент, предназначенный для уменьшения концентрации напряжений в зоне контакта двух участков вала, имеющих различный диаметр (рис. 3.8).

Чтобы задать галтель выберите команду **Задать |  Галтель** или пиктограмму «Галтель» в пиктографическом меню. Поместите курсор в тот сегмент вала, где Вы хотите задать галтель и нажмите левую клавишу мыши. В появившемся диалоговом окне (рис. 3.10) введите радиус галтели.

Для редактирования или удаления галтели войдите в режим ее рисования, выберите галтель для редактирования, подведя к ней курсор и нажав *правую* кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.10) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления.

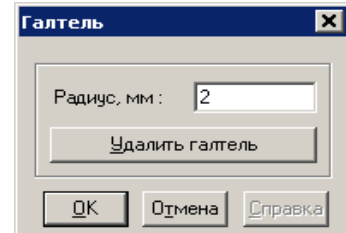



Рис. 3.10 Задание и редактирование галтели

### Канавка

В **APM Shaft** предусмотрено задание канавок трех типов (рис. 3.11). Чтобы задать канавку выберите команду **Задать |  Канавка** или соответствующую пиктограмму. Далее поместите курсор в то место где Вы хотите поместить канавку. На экране появится диалоговое окно (рис. 3.11) которое позволит Вам выбрать тип канавки. Вслед за ним будет показано окно (рис. 3.12), в котором Вы можете ввести параметры канавки. По умолчанию используются стандартные значения, которые зависят от диаметра вала.

Для редактирования или удаления канавки войдите в режим ее рисования, выберите нужную канавку для редактирования, подведя к ней курсор и нажав *правую* кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.12) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления элемента.

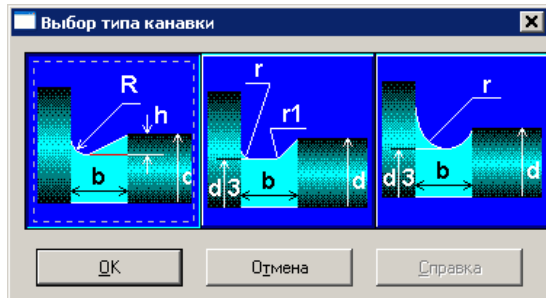


Рис. 3.11 Диалоговое окно выбора типа канавки

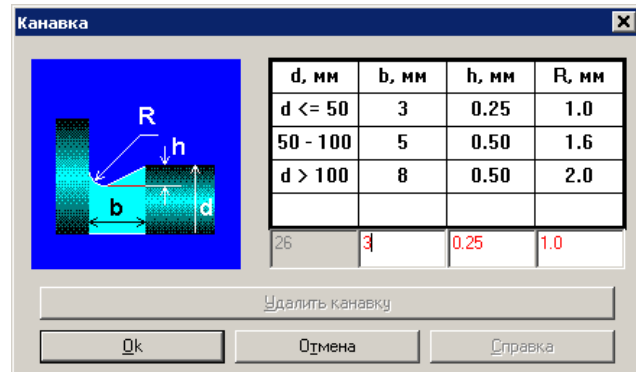


Рис. 3.12 Диалоговое окно редактирования канавки

### Шпоночный паз

Шпоночные соединения служат для передачи вращающего момента между валом и укрепленной на нем деталью, например ступицей зубчатого колеса. Конструктивно шпонка представляет собой стальной брусок, вставляемый в пазы вала и насаженной на него детали. В редакторе **APM Shaft** Вы можете нарисовать шпоночные пазы четырех типов – закругленные влево и вправо, закругленные с обеих сторон, а также прямоугольные.

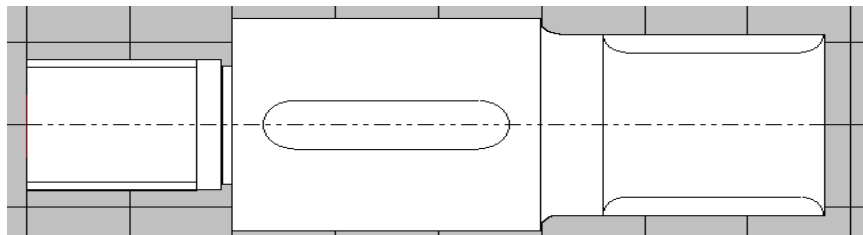


Рис. 3.13 Фрагмент вала с резьбой, шпоночным пазом и шлицем

Для рисования шпоночного паза сначала выберите нужный вам тип, например закругленный справа в меню **Задать | Шпоночный паз |  Закругленный справа** или выбрав соответствующую пиктограмму. Затем поместите курсор в точку, соответствующую левой или правой границе шпоночного паза и нажмите левую кнопку мыши. Удерживая кнопку мыши, переместите курсор в точку соответствующую другой границе шпоночного паза соединения (при этом на экране будет изображен габаритный прямоугольник шпоночного паза) и отпустите кнопку. На экране появится диалоговое окно (рис. 3.14), в котором пользователь может уточнить параметры шпоночного паза. Для использования стандартной шпонки нажмите кнопку «База данных...». В появившемся диалоговом окне (рис. 3.15) выберете тип шпонки (клиновые, призматические, сегментные, тангенциальные), строчку базы данных и нажмите «Ok». При этом такие параметры шпоночного паза как ширина и глубина будут выбраны автоматически в зависимости от диаметра вала. Рассчитать необходимую длину шпонки можно в системе **APM Joint**. При рисовании одного шпоночного паза поверх другого происходит замена паза.

Для редактирования или удаления шпоночного паза войдите в режим его рисования, выберете шпоночный паз для редактирования, подведя к нему курсор и нажав *правую* кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.14) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления элемента.

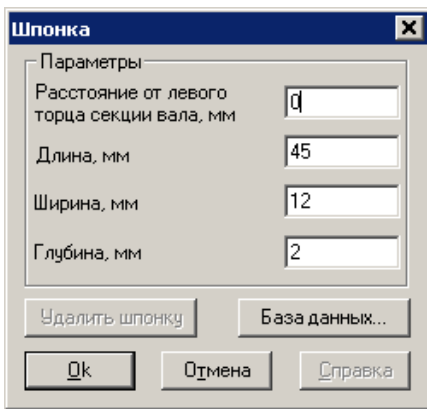


Рис. 3.14 Задание и редактирование шпоночного паза

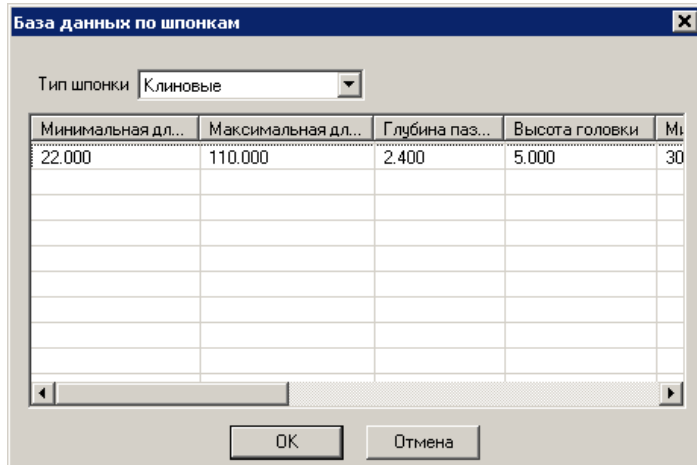



Рис. 3.15 База данных по шпонкам

Задание других типов шпоночных пазов аналогично. Следует только иметь в виду, что шпоночный паз, закругленный слева всегда начинается на правой границе сегмента, а шпоночный паз закругленный справа – на левой.

### Шлиц

Шлицевые соединения, как и шпоночные служат для передачи вращающего момента между валом и насаженной на него деталью.

При вводе шлица нужно сначала выбрать его тип в меню **Задать |  Шлиц** – эвольвентный, прямобочный или треугольный. Затем поместите курсор в точку, соответствующую левой или правой границе шлица и нажмите левую кнопку мыши. Удерживая кнопку мыши, переместите курсор в точку, соответствующую другой границе шлица (при этом на экране будет изображен габаритный прямоугольник шлица) и отпустите кнопку. В появившемся диалоговом окне (рис. 3.16) Вы можете уточнить параметры соединения. Задание шлица возможно только на цилиндрической секции вала. Рассчитать необходимую длину шлицов можно в системе **APM Joint**.

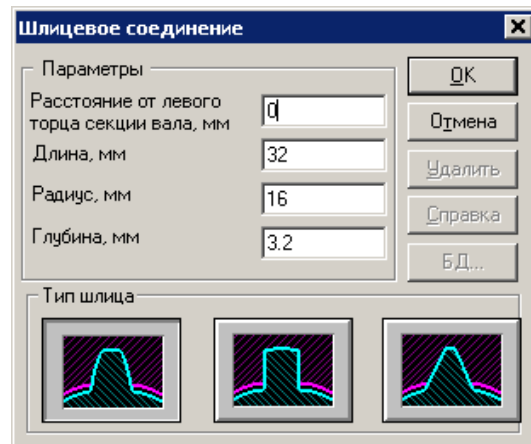




Рис. 3.16 Задание и редактирование шлица

Для редактирования или удаления шлица войдите в режим его рисования, выберите шлиц для редактирования, подведя к нему курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.16) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления.

### Осевое и перпендикулярное отверстие

Редактор *APM Shaft* позволяет задавать осевые отверстия используя команду **Задать | ** **Отверстие**. Пользователь может задать два отверстия, которые начинаются, соответственно, на левой и правой торцевых поверхностях вала. Отверстия могут иметь ступенчатую форму. Отверстия рисуются и редактируются так же как цилиндрические участки вала (рис. 3.17). *APM Shaft* позволяет также задать перпендикулярные отверстия используя команду **Задать | ** **Перпендикулярное отверстие**. Укажите мышью место расположения перпендикулярного отверстия на валу и нажмите левую клавишу мыши. В появившемся диалоговом окне (рис. 3.18) Вы можете уточнить параметры отверстия.

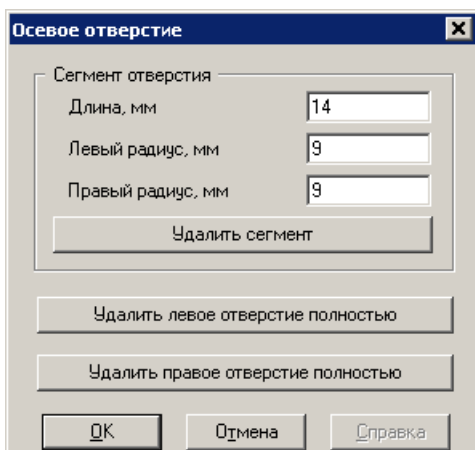


Рис. 3.17 Редактирование и редактирование осевых отверстий

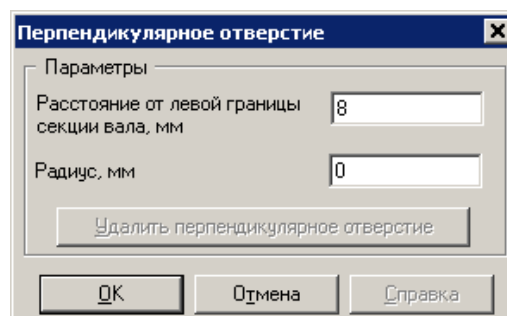



Рис. 3.18 Задание и редактирование перпендикулярных отверстий

Для редактирования или удаления отверстия войдите в режим его рисования, выберите отверстие для редактирования, подведя к нему курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.17 или 3.18) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления. Следует отметить, что редактирование ступенчатых осевых отверстий предполагает редактирования (удаление) каждой ступени.

### Резьба

При вводе резьбы нужно выбрать команду **Задать | ** **Резьба**. Участки с резьбой вводятся также как и шлицы – указывается одна граница, затем другая, окончательно параметры уточняются в диалоговом окне (рис. 3.19).

Для редактирования или удаления резьбы войдите в режим ее рисования, выберите резьбу для редактирования, подведя к ней курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.19) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления.

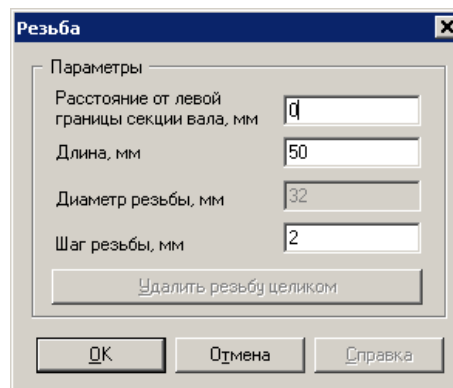


Рис. 3.19 Задание и редактирование резьбы

### Концентратор напряжений

APM Shaft позволяет задавать концентраторы напряжений посредством введения эффективных коэффициентов концентрации. Такая необходимость возникает если в конструкции вала есть элементы, не предусмотренные APM Shaft, но которые являются концентраторами напряжений. После активации команды **Задать** |

**Концентратор напряжений** укажите курсором место расположения на валу концентратора напряжений и нажмите левую кнопку мыши. В появившемся диалоговом окне (рис. 3.20) введите необходимые параметры.

Для редактирования или удаления концентратора напряжений войдите в режим его рисования, выберите концентратор напряжений для редактирования, подведя к нему курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.20) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления.

### Поверхностная обработка вала

APM Shaft позволяет учесть тип обработки поверхности вала. Пользователь может задать участки вала со следующими типами обработки: закалка, азотирование, цементация, цианирование, обкатка роликом, обдувка дробью. Участки обработки задаются и редактируются так же как и участки с резьбой и цилиндрические участки вала используя команду **Задать** | **Обработка поверхности**. В появившемся диалоговом окне (рис. 3.21) выберите тип обработки и уточните параметры.

Для редактирования или удаления поверхностной обработки войдите в режим ее рисования, выберите поверхностную обработку для редактирования, подведя к ней курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.21) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления.

### Шероховатость поверхности

APM Shaft позволяет задать шероховатость участка вала для расчета усталостной прочности. Участки обработки задаются и редактируются так же как и участки с резьбой и цилиндрические участки вала используя команду **Задать** | **Шероховатость поверхности**. В появившемся диалоговом окне (рис. 3.22) введите значение шероховатости, Rz, мм.

Для редактирования или удаления шероховатости войдите в режим ее задания, выберите участок вала для редактирования, подведя к нему курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.22) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления.

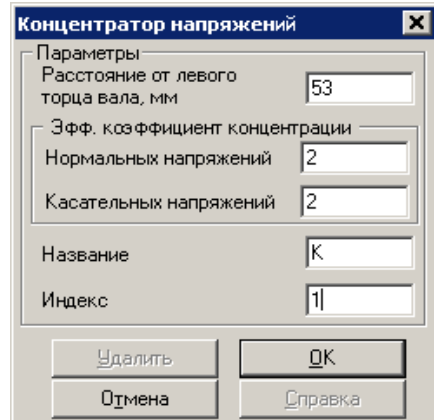


Рис. 3.20 Задание и редактирование параметров концентратора напряжений

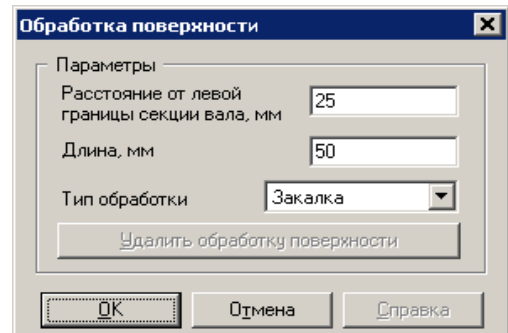


Рис. 3.21 Задание и редактирование обработки поверхности

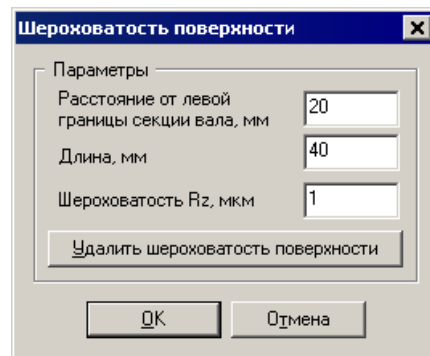



Рис. 3.22 Задание и редактирование обработки поверхности



## Опоры

Для выполнения расчета должны быть заданы хотя бы две опоры. Иначе при попытке расчета система выдаст соответствующее предупреждение. Для размещения опоры выберите команду **Задать |  Опоры** которая переключает редактор в режим рисования опор. Затем щелкните мышью в той точке, где должна быть установлена опора. В появившемся диалоговом окне (рис. 3.23) выберите тип опоры и уточните ее параметры. Количество опор не должно превышать пятидесяти

Для редактирования или удаления опоры войдите в режим ее рисования, выберите опору для редактирования, подведя к ней курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.23) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемого элемента и клавишу для удаления.

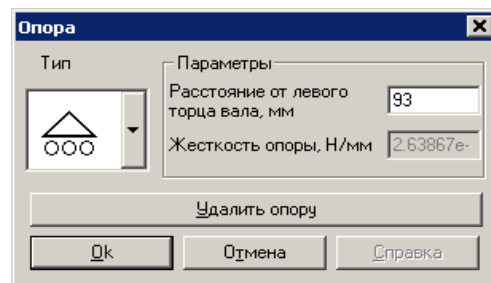



Рис. 3.23 Диалоговое окно ввода и редактирования опор

## Нагрузки, действующие на вал

С помощью редактора APM Shaft можно задать поперечные и осевые сосредоточенные силы, распределенные силы, моменты изгиба и кручения, а также внешние осевые моменты инерции и сосредоточенные массы. Для выполнения расчета должна быть задана хотя бы одна нагрузка. Иначе при попытке расчета система выдаст соответствующее предупреждение.

### Поперечная сила

Поперечные силы направлены перпендикулярно оси вала. После активации команды **Задать |  Поперечная сила** поместите курсор в ту точку, где эта сила должна быть приложена и щелкните левой кнопкой мыши. На экране появится диалоговое окно для ввода параметров (рис. 3.24).

Поперечная сила характеризуется осевой координатой (расстоянием от начала вала), направлением и величиной. Вы можете задать силу двумя способами. В одном случае Вы вводите модуль силы и угол который составляет направление линии действия силы с вертикалью; эти параметры вводятся в полях *Модуль* и *Угол*. Во втором случае Вы задаете горизонтальную и вертикальную проекцию силы в полях *Вертикальная* и *Горизонтальная*. Переключение между способами задания силы производится с помощью кнопок-переключателей *Модуль* и *Проекция*.

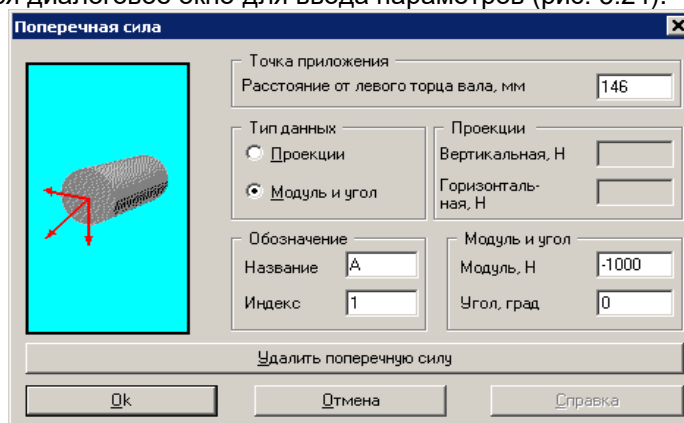



Рис. 3.24 Диалоговое окно ввода и редактирования поперечных сил

Пользователь может задать идентификатор силы, который состоит из названия и индекса, которые вводятся в соответствующих полях. Примеры идентификаторов – F<sub>1</sub>, Весдвигателя.

Для редактирования или удаления поперечной силы войдите в режим ее рисования, выберите поперечную силу для редактирования, подведя к ней курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.24) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемой нагрузки и клавишу для удаления.

### Осевая сила

После активации команды **Задать** |  **Осевая сила** нужно щелкнуть левой кнопкой мыши в точке приложения силы. На экране появляется диалоговое окно (рис. 3.25), в котором необходимо ввести величину силы. Пользователь может задать идентификатор силы, который состоит из названия и индекса ( $F_2$ ,  $F_{ax}$ ), которые вводятся в соответствующих полях.

Осевые силы для выполнения расчета должны быть скомпенсированы. Иначе при попытке расчета система выдаст соответствующее предупреждение.

Для редактирования или удаления осевой силы войдите в режим ее рисования, выберите осевую силу для редактирования, подведя к ней курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.25) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемой нагрузки и клавишу для удаления.

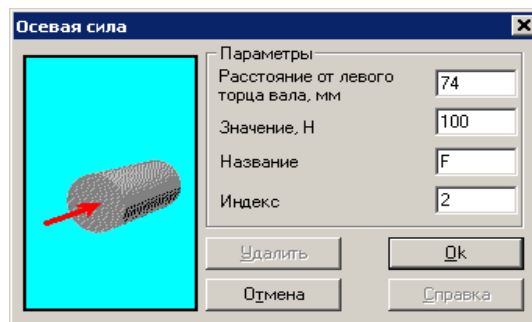



Рис. 3.25 Диалоговое окно ввода и редактирования осевой силы

### Распределенная сила

Распределенная сила характеризуется участком, на котором она действует, а также значениями удельной силы на левой и правой границах (промежуточные значения получаются линейной интерполяцией).

После активации команды **Задать** |  **Распределенная сила** поместите курсор на одну из границ зоны действия силы (безразлично, левую или правую), нажать левую кнопку мыши и удерживая ее переместить курсор в точку, соответствующую другой границе зоны. После того, как Вы отпустите кнопку, на экране появится диалоговое окно (рис. 3.26), в котором Вы можете уточнить границы зоны действия распределенной силы и ввести значения удельной силы, действующие на левой и правой границах.

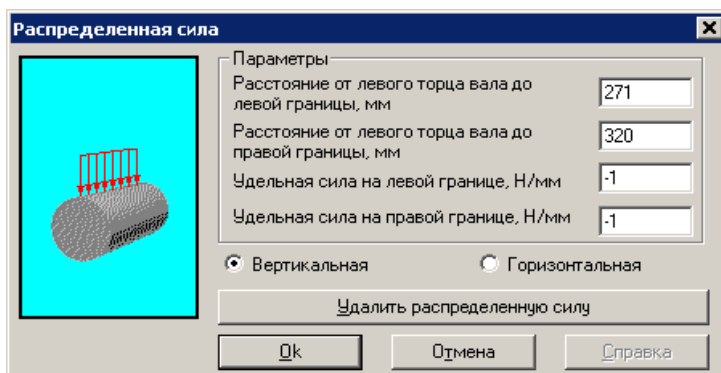


Рис. 3.26 Диалоговое окно ввода и редактирования распределенных сил

Для редактирования или удаления распределенной силы войдите в режим ее рисования, выберите распределенную силу для редактирования, подведя к ней курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.26) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемой нагрузки и клавишу для удаления.



### Момент изгиба

Момент изгиба задается также как поперечная сила. После активации команды **Задать** |  **Момент изгиба** укажите точку приложения момента левой кнопкой мыши, на экране появляется диалоговое окно (рис. 3.27), которое позволяет задать момент изгиба либо совокупностью проекций на координатные оси, либо через модуль и угол с вертикалью. Пользователь может задать идентификатор момента, который состоит из названия и индекса ( $M_1$ ), которые вводятся в соответствующих полях.

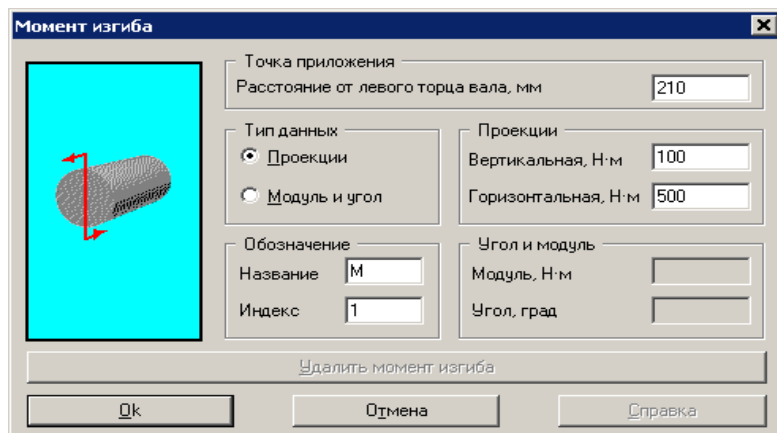



Рис. 3.27 Диалоговое окно ввода и редактирования момента изгиба

Для редактирования или удаления момента изгиба войдите в режим его рисования, выберите момент изгиба для редактирования, подведя к нему курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.27) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемой нагрузки и клавишу для удаления.

### Момент кручения

Момент кручения характеризуется величиной и координатой точки приложения

После активации команды **Задать** |  **Момент кручения** поместите курсор в точку приложения момента и щелкнуть левой кнопкой мыши. В появившемся диалоговом окне (рис. 3.28) необходимо ввести величину момента. Пользователь может задать идентификатор момента, который состоит из названия и индекса ( $T_1$ ), которые вводятся в соответствующих полях.

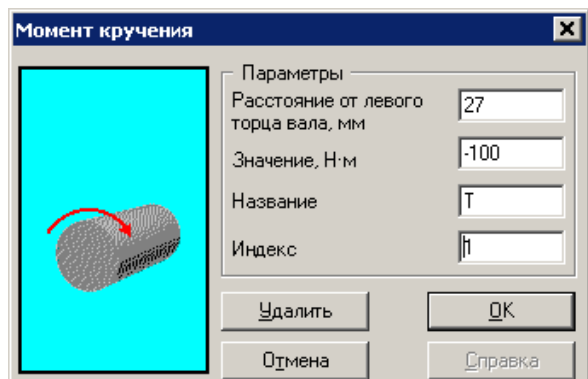



Рис. 3.28 Диалоговое окно ввода и редактирования моментов кручения

Моменты кручения для выполнения расчета должны быть скомпенсированы. Иначе при попытке расчета система выдаст соответствующее предупреждение.

Для редактирования или удаления момента кручения войдите в режим его рисования, выберите момент кручения для редактирования, подведя к нему курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.28) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемой нагрузки и клавишу для удаления.

### Момент инерции

Внешний осевой момент инерции, например, маховика, характеризуется величиной и осевой координатой точки приложения.

После активации команды **Задать** |  **Момент инерции** поместите курсор в точку приложения момента и щелкнуть левой кнопкой мыши. В появившемся диалоговом окне (рис. 3.29) необходимо ввести величину момента.

Пользователь может задать идентификатор момента инерции, который состоит из названия и индекса ( $J_1$ ), которые вводятся в соответствующих полях. Момент инерции учитывается только для расчета динамических характеристик вала.

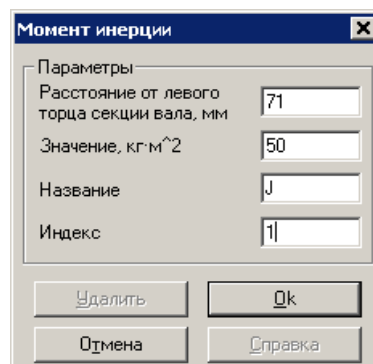


Рис. 3.29 Диалоговое окно ввода и редактирования момента инерции.

Для редактирования или удаления момента инерции войдите в режим его рисования, выберите момент инерции для редактирования, подведя к нему курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.29) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемой нагрузки и клавишу для удаления.

### Сосредоточенная масса

Сосредоточенная масса, например от зубчатого колеса, характеризуется величиной и координатой точки приложения

После активации команды **Задать | Сосредоточенная масса** поместите курсор в точку размещения массы и щелкните левой кнопкой мыши. В появившемся диалоговом окне (рис. 3.30) необходимо ввести величину сосредоточенной массы.

Пользователь может задать идентификатор сосредоточенной массы, который состоит из названия и индекса ( $G_1$ ), которые вводятся в соответствующих полях. Сосредоточенная масса учитывается только для расчета динамических характеристик вала.

Для редактирования или удаления сосредоточенной массы войдите в режим ее рисования, выберите сосредоточенную массу для редактирования, подведя к ней курсор и нажав правую кнопку мыши. Появившееся диалоговое окно (рис. 3.30) содержит поля ввода с текущими значениями параметров редактируемой нагрузки и клавишу для удаления.

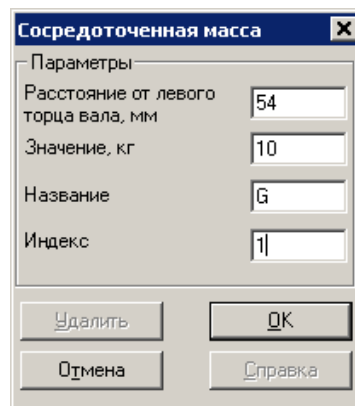


Рис. 3.30 Диалоговое окно ввода и редактирования сосредоточенной массы.

### Удаление вала

Для удаления вала выберите команду **Задать | Удалить вал**. Команда удаляет текущий вал со всеми его конструктивными особенностями, нагрузками и опорами. Перед удалением на экран выдается запрос на подтверждение операции (рис. 3.31).

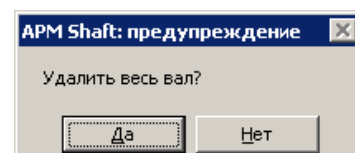


Рис. 3.31 Предупреждение об удалении.

### Учет веса вала

Учет собственного веса вала особенно актуален для длинных, тонких и вертикальных валов. Для учета собственного веса вала служит команда **Задать | Учет веса вала**. В появившемся диалоговом окне введите множитель веса вала в строке, соответствующей направлению.

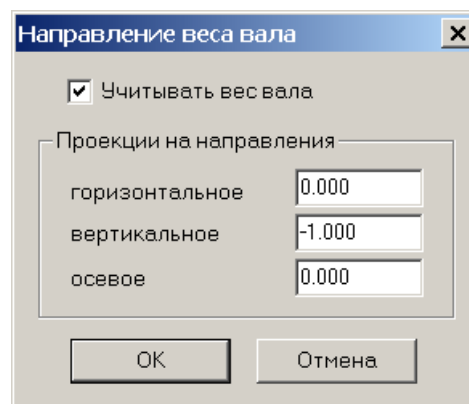


Рис. 3.32 Диалоговое окно задания параметров учета собственного веса.

## Задание Переменной нагрузки

Команда **Переменная нагрузка | Задать режим нагружения...** вызывает меню (рис. 3.33а) выбора режима нагружения (постоянный, тяжелый, средневероятностный, средненормальный, легкий, очень легкий, задан пользователем). Если выбран режим, заданный пользователем, автоматически запустится редактор задания графика переменной нагрузки, который показан на рис. 3.33б.

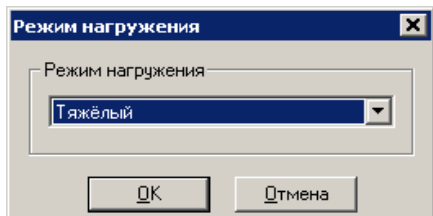


Рис. 3.33а Диалоговое окно выбора режима нагружения.

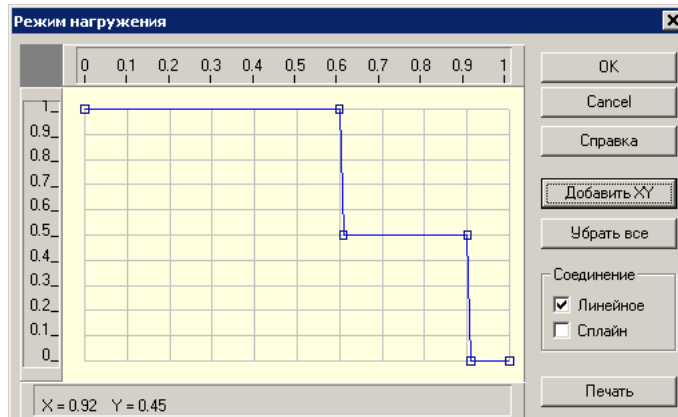


Рис. 3.33б Редактор задания режима нагружения.

Координата  $X = 0 \dots 1$  редактора режима нагружения соответствует относительному времени одного полного оборота вала. Координата  $Y = 0 \dots 1$  редактора соответствует относительному значению фактических нагрузок и показывает долю нагрузки относительно номинальной. Максимальное значение  $Y = 1$  соответствует номинальному значению прикладываемых нагрузок. Для задания режима нагружения необходимо указать характерные точки. Сделать это можно или с помощью мыши, используя для контроля значения текущих координат курсора или нажать на кнопку «Добавить XY» и ввести координаты характерных точек с клавиатуры. Соединение точек может быть линейное или сплайном. Чтобы учесть режим нагружения (переменную нагрузку) при расчете необходимо отметить флагом пункт меню **Переменная нагрузка |  Использовать при расчете.**

## Характеристика материала

Для расчета вала необходимо задать характеристики материала, из которого он изготовлен. К числу этих характеристик относятся предел прочности, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и плотность. Задать значения этих параметров можно одним из двух способов:

- 1) ввести в диалоговом окне (команда **Материал | М Параметры**) (рис. 3.34);
- 2) выбрать материал из базы данных, входящей в состав системы APM WinMachine (команда **Материал | База Данных**) (рис. 3.35)

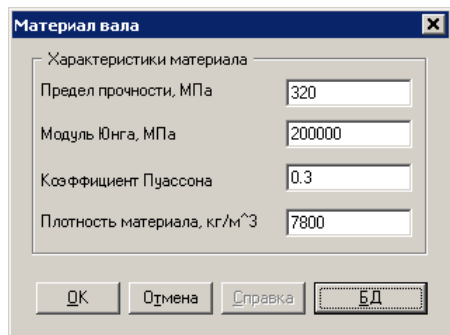


Рис. 3.34 Диалоговое окно характеристик материала

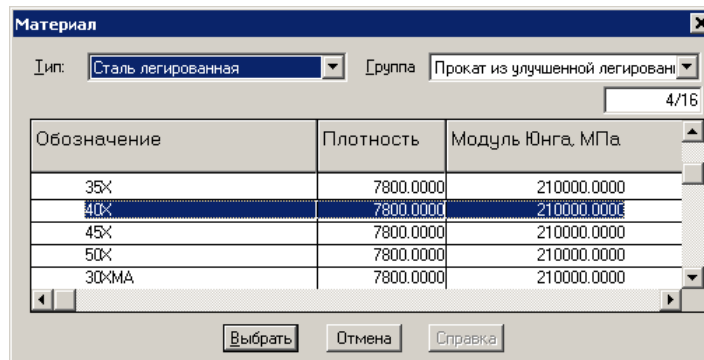


Рис. 3.35 Диалоговое окно выбора материала из базы данных

По умолчанию используются характеристики стали 08 (рис. 3.34).

Команда **Материал | Стандарт** позволяет выбрать стандарт ГОСТ или ISO. По умолчанию используется ГОСТ.

## Расчет

По команде **Расчет | Общий расчет вала** выполняются расчеты вала на статическую и усталостную прочность. Перед расчетом на экран выводится диалоговое окно задания ресурса работы вала и частоты вращения (рис. 3.36).

По команде **Расчет | Расчет динамических характеристик** выполняются расчеты динамических характеристик вала: собственных частот и форм изгибных и крутильных колебаний.

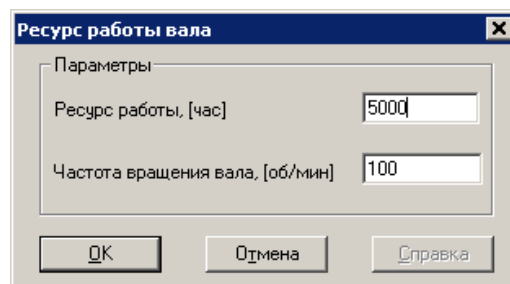


Рис. 3.36 Диалог Ресурс работы вала

## Результаты расчета

Для просмотра результатов расчета выберите команду **Результаты**.

Диалоговое окно *общего расчета* вала представлено на рис. 3.37, с помощью которого Вы можете выбрать результат для просмотра. Каждая кнопка этого окна выводит на экран значения соответствующего параметра, представленные в виде графика (рис. 3.38) или таблицы (рис. 3.39). Если включить флаг  *Рисовать вал*, то на графиках расчетных параметров будет отображаться модель вала.

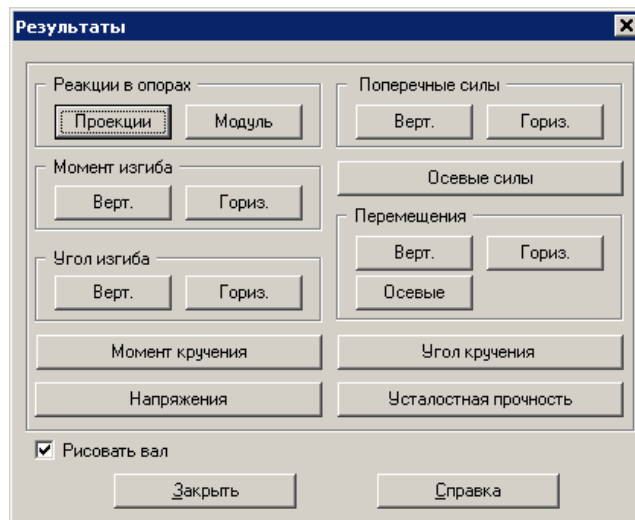


Рис. 3.37 Диалоговое окно Результаты расчета

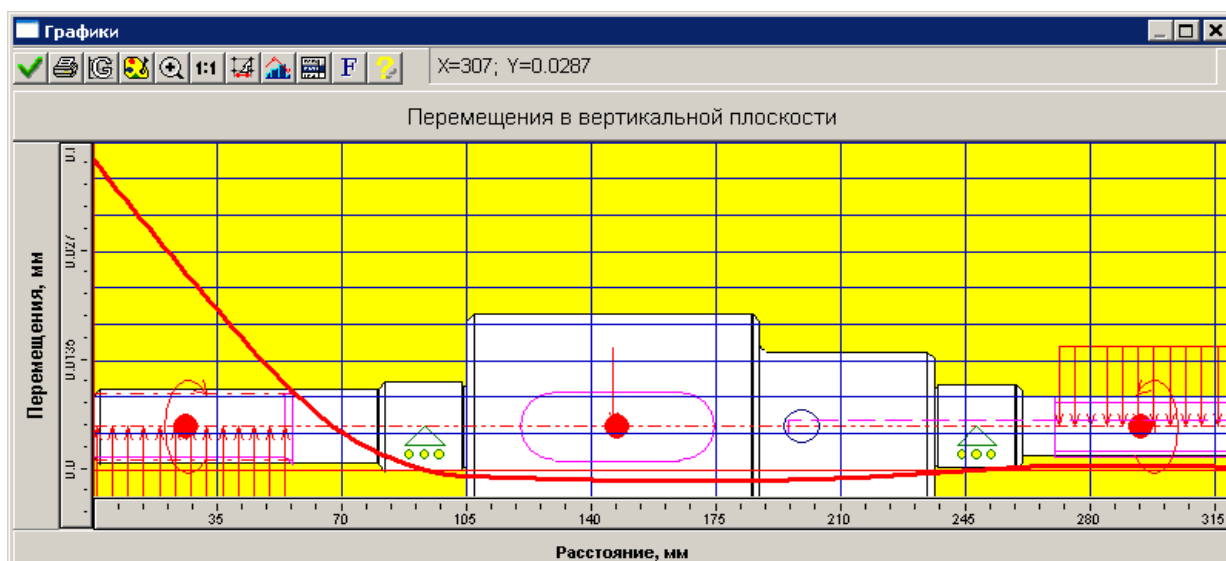


Рис. 3.38 График перемещений в вертикальной плоскости

Н	Координата ...	Осевая реак...	Радиальная ...	Верт. реакци...	Гориз. реакц...
1	69.500	629.411	4213.688	-1635.990	3883.131
2	278.500	773.456	4726.250	-1494.872	4483.615

Рис. 3.39 Результаты расчета реакций в опорах вала

Система показа графиков предназначена для представления результатов расчета в графическом виде. Система может одновременно показывать несколько графиков, причем Вы настроить как видимость каждого из них, так и их стиля (тип линии, цвет, вид маркера и т.д.). Кроме графического представления данных, Вы можете просмотреть их и в численном виде. Справочник команд для работы с графиками результатов представлен в таблице 3.1. В верхней части окна показа графиков отображаются текущие координаты курсора. Для уточнения значения параметра необходимо навести курсор на интересующую точку графика.

Таблица 3.1 – Справочник команд системы показа графиков

Пиктограмма и наименование команды	Описание команды
Ок	Закреть окно системы показа графиков
Печать	Печать графика и/или таблицы значений на принтере или в *.rtf-файл
Сетка	Настройка шага для каждой оси и типа сетки
Палитра	Настройка цветовой палитры
Увеличить	Увеличение рамкой участка графика
Масштаб 1:1	Масштаб 1:1
Шаг курсора	Настройка шага курсора для каждой оси
Стилль графика	Настройка стиля графика: вид графика; тип, толщина и цвет линии; тип и размер маркера.
Значения	Табличное представление данных
Шрифт	Настройка шрифта графика
Справка	Справка по работе с системой показа графиков
Сохранить	Сохранить данные графика в формате Excel (*.xls)

Результаты динамического расчета вала представлены на рис. 3.40 – 3.42.

Порядковый Номер	Частота [рад/с]	Частота [Гц]
1	1293.5241	205.8707
2	14980.1840	2384.1703
3	16344.4632	2601.3021
4	28437.6915	4525.9992
5	88381.3716	14066.3322

Рис. 3.40 Собственные частоты изгибных колебаний

Порядковый Номер	Частота [рад/с]	Частота [Гц]
1	54707.8927	8707.0316
2	68932.2867	10970.9142
3	91445.2447	14553.9627

Рис. 3.41 Собственные частоты крутильных колебаний

Для просмотра формы колебаний вала выберете порядковый номер собственной частоты и нажмите на кнопку «Показать форму». Пример 2-й собственной формы изгибных колебаний вала представлен на рис. 3.42. Для отображения результатов по крутильным колебаниям нажмите кнопку «Ок» диалогового окна изгибных колебаний (рис. 3.40).



Рис. 3.42 2-я собственная форма изгибных колебаний вала

### Сохранение модели вала и результатов расчета

Для сохранения модели вала и результатов расчета в файл APM Shaft (\*.wsh) служит команды **Файл | Сохранить**. В появившемся диалоговом окне выберете папку и введите имя файла. При проведении серии расчетов одного вала для сохранения файла под другим именем служит команда **Файл | Сохранить как...**

Для открытия ранее сохраненного файла воспользуйтесь командой **Файл | Открыть....** В ответ на эту команду на экране появляется диалоговое окно выбора файла.

## Печать результатов

С помощью команды **Файл | Печать...** пользователь в появившемся диалоговом окне (рис. 3.43) может выбрать исходные данные модели вала и результаты для вывода на печать.

## Печать в RTF файл...

Команда **Файл | Печать в RTF файл...** позволяет сгенерировать и сохранить текстовый файл отчета в формате RTF. Для этого в появившемся диалоговом окне (рис. 3.43) нужно выбрать необходимые исходные данные модели вала и результаты и нажать кнопку «Печать». Далее необходимо указать папку для сохранения и ввести имя файла.

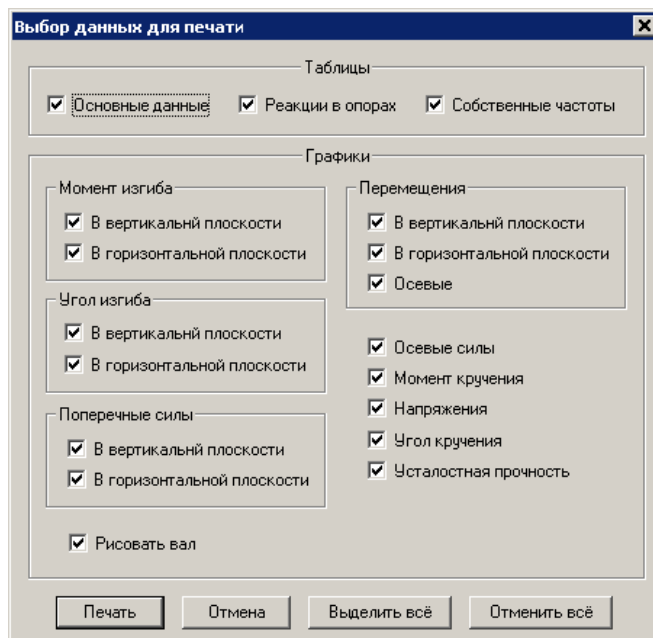


Рис. 3.43 Диалоговое окно выбора результатов для печати

## Создание рабочего чертежа вала

Для создания рабочего чертежа вала воспользуйтесь командой **Файл | Экспорт...**. Используя диалоговое окно (рис. 3.44) заполните основную надпись чертежа, кроме того, Вы можете 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.

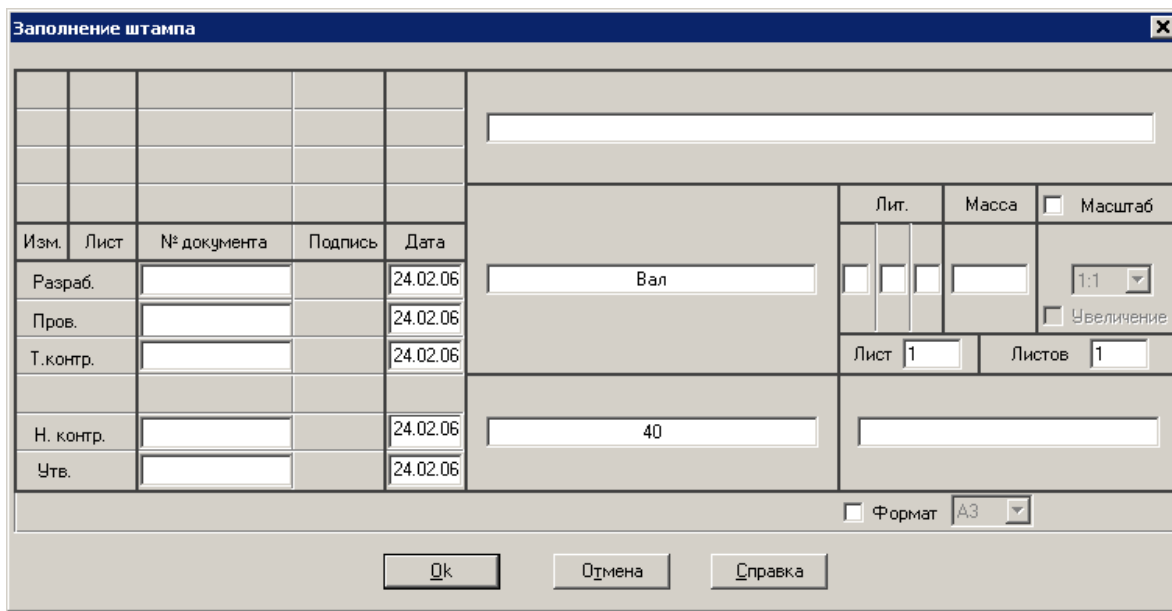


Рис. 3.44 Диалоговое окно заполнения основной надписи чертежа вала

После нажатия кнопки «Ok» появляется диалоговое окно сохранения чертежа (рис. 3.45). Укажите папку для сохранения чертежа, введите имя файла и нажмите кнопку «Сохранить».

Если необходимо, выполните окончательное редактирование чертежа в системе **APM Graph**. Печать чертежа и экспорт в формат DXF(\*.dxf) возможен из графического редактора **APM Graph**. Выйдите из системы **APM Graph** для продолжения работы с **APM Shaft**.

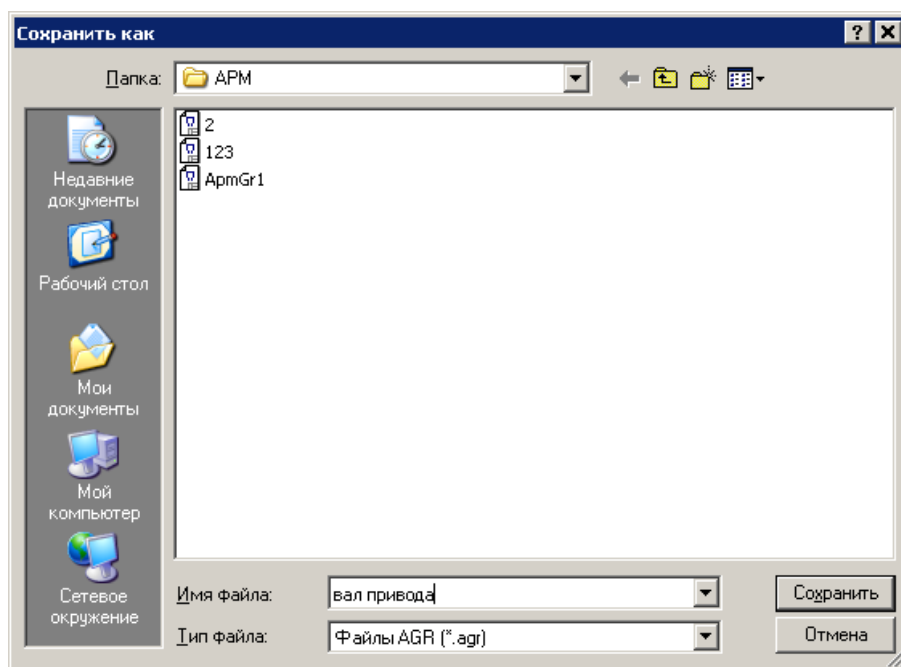


Рис. 3.45 Диалоговое окно сохранения чертежа вала

## Выход из программы

Для выхода из **APM Shaft** используйте команду **Файл | Выход** или сочетание клавиш **Alt+F4**. При этом система предложит сохранить текущий вал.



## Рисунки

Рис. 2.1 Общий вид APM Shaft .....	9
Рис. 2.2 Структура главного меню системы APM Shaft.....	10
Рис. 3.1 Настройка палитры .....	15
Рис. 3.2 Настройка сетки.....	16
Рис. 3.3 Установка шага курсора.....	16
Рис. 3.4 Выбор масштаба .....	16
Рис. 3.5 Добавление новых секций к валу .....	17
Рис. 3.6 Диалоговое окно редактирования параметров секции вала.....	17
Рис. 3.7 Последовательность рисования конуса по начальному и конечному радиусам .....	18
Рис. 3.8 Редактор APM Shaft. Фрагмент вала с фасками, галтелями и канавкой .....	18
Рис. 3.9 Задание и редактирование фаски .....	18
Рис. 3.10 Задание и редактирование галтели .....	19
Рис. 3.11 Диалоговое окно выбора типа канавки .....	19
Рис. 3.12 Диалоговое окно редактирования канавки .....	19
Рис. 3.13 Фрагмент вала с резьбой, шпоночным пазом и шлицом .....	19
Рис. 3.14 Задание и редактирование шпоночного паза .....	20
Рис. 3.15 База данных по шпонкам .....	20
Рис. 3.16 Задание и редактирование шлица.....	20
Рис. 3.17 Редактирование и редактирование осевых отверстий.....	21
Рис. 3.18 Задание и редактирование перпендикулярных отверстий .....	21
Рис. 3.19 Задание и редактирование резьбы .....	21
Рис. 3.20 Задание и редактирование параметров концентратора напряжений .....	22
Рис. 3.21 Задание и редактирование обработки поверхности .....	22
Рис. 3.22 Задание и редактирование обработки поверхности .....	22
Рис. 3.23 Диалоговое окно ввода и редактирования опор.....	23
Рис. 3.24 Диалоговое окно ввода и редактирования поперечных сил .....	23
Рис. 3.25 Диалоговое окно ввода и редактирования осевой силы .....	24
Рис. 3.26 Диалоговое окно ввода и редактирования распределенных сил .....	24
Рис. 3.27 Диалоговое окно ввода и редактирования момента изгиба .....	25
Рис. 3.28 Диалоговое окно ввода и редактирования моментов кручения.....	25
Рис. 3.29 Диалоговое окно ввода и редактирования момента инерции.....	25
Рис. 3.30 Диалоговое окно ввода и редактирования сосредоточенной массы. ....	26
Рис. 3.31 Предупреждение об удалении. ....	26
Рис. 3.32 Диалоговое окно задания параметров учета собственного веса. ....	26
Рис. 3.33а Диалоговое окно выбора режима нагружения.....	27
Рис. 3.33б Редактор задания режима нагружения. ....	27
Рис. 3.34 Диалоговое окно характеристик материала .....	27
Рис. 3.35 Диалоговое окно выбора материала из базы данных .....	27
Рис. 3.36 Диалог Ресурс работы вала .....	28
Рис. 3.37 Диалоговое окно Результаты расчета.....	28
Рис. 3.38 График перемещений в вертикальной плоскости .....	28
Рис. 3.39 Результаты расчета реакций в опорах вала.....	29
Рис. 3.40 Собственные частоты изгибных колебаний.....	30
Рис. 3.41 Собственные частоты крутильных колебаний.....	30
Рис. 3.42 2-я собственная форма изгибных колебаний вала .....	30
Рис. 3.43 Диалоговое окно выбора результатов для печати.....	31
Рис. 3.44 Диалоговое окно заполнения основной надписи чертежа вала .....	32
Рис. 3.45 Диалоговое окно сохранения чертежа вала .....	32