



# *APM Plain*

---

Руководство пользователя

# *APM Plain*

---

Система расчета подшипников скольжения

*Версия 16*

Руководство пользователя

Научно-технический центр «Автоматизированное Проектирование Машин»  
141070, Россия, Московская область, г. Королёв, Октябрьский бул. 14, оф. 6  
тел./факс: +7 (498) 600-25-10, (495) 514-84-19.

Наш адрес в Интернете: <http://www.apm.ru>, e-mail: [com@apm.ru](mailto:com@apm.ru)

Авторские права © 1989 – 2018 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>4</b>
Основные положения.....	4
Требования к аппаратному и программному обеспечению.....	4
Краткий путеводитель по руководству.....	4
<b>Глава 1. Трение в подшипниках скольжения.....</b>	<b>5</b>
Общие сведения.....	5
Режим жидкостного трения.....	5
Режим полужидкостного трения.....	5
Типы подшипников.....	5
<b>Глава 2. Интерфейс APM Plain.....</b>	<b>7</b>
Общий вид.....	7
Информационные окна.....	7
Справочник команд.....	8
<b>Глава 3. Как работать с системой APM Plain.....</b>	<b>9</b>
Начало работы.....	9
Ввод исходных данных.....	9
<i>Выбор типа подшипника.....</i>	<i>9</i>
<i>Ввод геометрических параметров.....</i>	<i>9</i>
<i>Ввод условий работы.....</i>	<i>10</i>
<i>Ввод параметров масла.....</i>	<i>10</i>
Выполнение расчета.....	11
Просмотр результатов.....	12
Сохранение исходных данных и результатов.....	12
Печать исходных данных и результатов расчета.....	12
Генерация текстового файла отчета.....	12
Выход.....	12
<b>Глава 4. Радиальный подшипник жидкостного трения.....</b>	<b>13</b>
Исходные данные.....	13
<i>Геометрия.....</i>	<i>13</i>
<i>Условия работы.....</i>	<i>13</i>
<i>Параметры масла.....</i>	<i>14</i>
Результаты расчета.....	14
<b>Глава 5. Радиальный подшипник полужидкостного трения.....</b>	<b>16</b>
Исходные данные.....	16
<i>Геометрия.....</i>	<i>16</i>
<i>Условия работы.....</i>	<i>16</i>
<i>Параметры масла.....</i>	<i>17</i>
Результаты расчета.....	17
<b>Глава 6. Упорный подшипник жидкостного трения.....</b>	<b>19</b>
Исходные данные.....	19
<i>Геометрия.....</i>	<i>19</i>
<i>Условия работы.....</i>	<i>19</i>
<i>Параметры масла.....</i>	<i>20</i>
Результаты расчета.....	20
<b>Приложение. Предупреждения APM Plain.....</b>	<b>22</b>
Предупреждения при вводе исходных данных.....	22
Предупреждения при расчете.....	22

# Введение

---

## Основные положения

**APM Plain** представляет собой систему расчета основных типов подшипников скольжения, разработанную в НТЦ «Автоматизированное Проектирование Машин». Название системы происходит от англ. «plain bearing» (подшипник скольжения).

С помощью **APM Plain** Вы можете рассчитать подшипники скольжения следующих типов:

- радиальный подшипник, работающий в режиме жидкостного трения;
- радиальный подшипник, работающий в режиме полужидкостного трения;
- упорный подшипник, работающий в режиме жидкостного трения.

В модуле **APM Plain** можно посчитать основные характеристики подшипника, включая:

- параметры зазора,
- расход масла,
- среднюю и максимальную температуру масла,
- потери мощности на трение и т.д.

## Требования к аппаратному и программному обеспечению

Система **APM Plane** предназначены для работы в операционных средах семейства Windows (соответственно MS Windows Vista, 7, 8 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

Во **Введении** (настоящий раздел) приводятся общие сведения о назначении системы **APM Plain**, рассчитываемых параметрах и типах подшипников, а также системные требования к аппаратному и программному обеспечению.

**Глава 1. Трение в подшипниках скольжения** содержит общие сведения о подшипниках скольжения, описание режимов трения и типов подшипников, рассчитываемых в **APM Plain**.

**Глава 2. Интерфейс APM Plain** знакомит пользователя с основными элементами интерфейса. В главе приводится описание главного окна системы, а также справочник всех команд главного и пиктографического меню.

**Глава 3. Как работать с системой APM Plain** содержит полное руководство по работе с системой. В главе приводится последовательное описание типичного сеанса работы с **APM Plain**. Показано как выполняются основные операции - ввод исходных данных, выполнение расчета, просмотр и сохранение результатов, печать исходных данных и результатов расчета, генерация текстового файла отчета.

Последующие главы:

**Глава 4. Радиальный подшипник жидкостного трения**

**Глава 5. Радиальный подшипник полужидкостного трения**

**Глава 6. Упорный подшипник жидкостного трения**

содержат подробное описание исходных данных и получаемых результатов расчета. В главах содержатся рисунки диалоговых окон системы для каждого типа подшипников.

В **Приложении** приведены предупреждения и сообщения, выдаваемые системой в процессе работы.

# Глава 1. Трение в подшипниках скольжения

---

## Общие сведения

Подшипником называется опора, которая воспринимает нагрузку, приложенную к валу, и обеспечивает его вращение. Подшипники скольжения это такие опоры, поверхности которых находятся в относительном движении и разделены слоем жидкости. В качестве жидкости обычно используют масло; в отдельных случаях могут применяться другие жидкие материалы.

Оптимальным режимом работы таких подшипников является режим жидкостного трения, при котором исключен контакт деталей, нет износа и коэффициент трения минимален.

Если масляная пленка имеет разрывы, а относительное движение деталей сопровождается непосредственным их контактом, то такой режим работы называется режимом полужидкостного трения. В случае полужидкостного трения имеют место износ, повышенное тепловыделение, большие потери энергии, опасность возникновения задира и т.д. Режим жидкостного трения, в отличие от полужидкостного требует принудительного подвода масла, что существенно ограничивает области его применения. В некоторых конструкциях подшипники скольжения не требуют смазки, поскольку изготавливаются из металлических материалов с низким коэффициентом трения и хорошей износостойкостью. Режим работы подшипника в этом случае называется режимом сухого трения

Модуль *APM Plain* предназначен для выполнения всего комплекса расчетов по проектированию подшипников скольжения. Проектирование выполняется в форме проверочных расчетов. Под проверочным понимается расчет, при котором по известной внешней нагрузке, известным геометрическим размерам и выбранным материалам определяются выходные характеристики подшипника. Эти характеристики являются основой для анализа его работоспособности.

## Режим жидкостного трения

Нагрузочная способность подшипника, работающего в режиме жидкостного трения, определяется решением задачи ламинарного течения жидкости применительно к опоре скольжения. При этом вводятся поправки, учитывающие утечку масла через торцы. Опора скольжения считается пригодной для работы если минимальный зазор в рабочем состоянии больше суммы высот микронеровностей вала и вкладыша в 1,5 и большее число раз. Кроме этого из уравнения теплового баланса определяется температура масла, которая должна быть меньше допускаемой для выбранного сорта масла. Если это условие не выполняется, следует изменить геометрические размеры подшипника, либо использовать принудительное охлаждение.

## Режим полужидкостного трения

В основу определения нагрузочной способности подшипника, работающего в режиме полужидкостного трения, положены экспериментальные исследования контактного взаимодействия поверхностей, находящихся в относительном движении и работающих при наличии ограниченного количества масла. Эта проблема включает в себя задачу трения и связанную с ней задачу теплопроводности. Кроме этого в процессе контактного взаимодействия имеет место износ; в данной версии системы его величина не рассчитывается, предполагается ввести определение этого параметра в последующих версиях.

Выполнив анализ выходных параметров для нескольких различных конструктивных вариантов можно выбрать наилучшее решение, и в этом смысле модуль *APM Plain*, позволяет получать рациональные конструкции подшипников скольжения.

## Типы подшипников

Как было сказано выше, с помощью *APM Plain* Вы можете рассчитать опоры скольжения двух типов:

- радиальные подшипники (работающие в режиме жидкостного и полужидкостного трения) (рис. 1.1 а);
- упорные подшипники жидкостного трения (рис. 1.1 б).



Рис. 1.1 Конструкция радиального (а) и упорного (б) подшипников скольжения.

Все исходные данные, используемые для расчета можно разделить на три группы:

- данные, характеризующие геометрию подшипника;
- параметры, описывающие условия работы подшипника;
- характеристики смазочного материала.

## Глава 2. Интерфейс APM Plain

### Общий вид

Система *APM Plain* предназначена для работы под управлением операционной системы *MS Windows* всех модификаций. Интерфейс пользователя *APM Plain* прост и понятен. Для изучения системы *APM Plain* и начала работы с ней Вам потребуется не более 1-2 сеансов. В этой главе описаны основные элементы пользовательского интерфейса системы. Общий вид системы *APM Plain* представлен на рисунке 2.1. Описание всех команд главного и пиктографического меню приводится в справочнике.

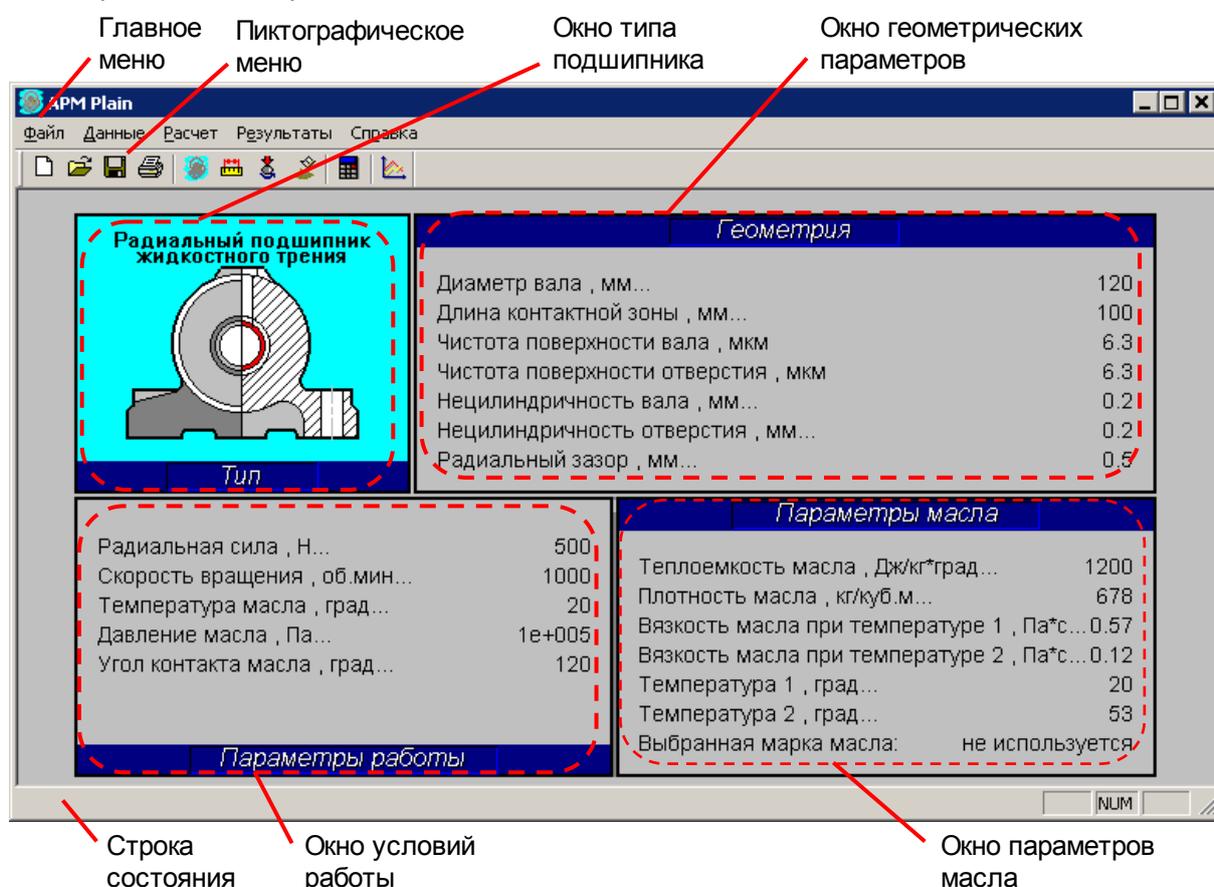


Рис. 2.1 Общий вид системы APM Plain.

### Информационные окна

Информационные окна используются для того, чтобы отобразить исходные данные и состояние расчета. Эти окна присутствуют на экране постоянно: *Тип подшипника*, *Геометрические параметры*, *Условия работы*, *Параметры масла*. Если в процессе расчета какие-либо параметры не определены, то в информационных окнах напротив таких параметров отображается «Не определено» или «0».

Окно *Тип подшипника* расположено в левой верхней части экрана (рис. 2.1). В этом окне отображается пиктограмма подшипника, который рассчитывается в данный момент.

Окна *Геометрические параметры*, *Условия работы* и *Параметры масла* отображают значения соответствующих параметров. Если какой-либо параметр не используется в расчете выбранного типа подшипника, то отображается надпись «не используется».

## Справочник команд

В этом разделе представлено описание всех команд главного и пиктографического меню.

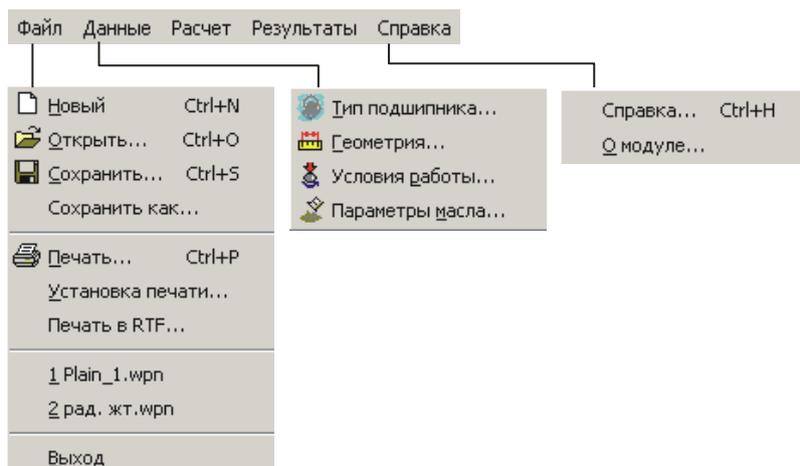


Рис. 2.2 Структура главного меню APM Plain.

Таблица 2.1 – Справочник команд APM Plain

Команда	Описание команды
Файл   Новый (Ctrl+ N)	Создание нового расчета подшипника скольжения.
Файл   Открыть... (Ctrl+O)	Открытие файла <i>APM Plain</i> (*.wpr).
Файл   Сохранить... (Ctrl+S)	Сохранение исходных данных и результатов расчета в файл <i>APM Plain</i> (*.wpr).
Файл   Сохранить как...	Сохранение исходных данных и результатов расчета с запросом имени в файл (*.wpr).
Файл   Печать...(Ctrl+P)	Вызов диалогового окна печати исходных данных и результатов расчета.
Файл   Установки печати...	Вызов стандартного диалогового окна настройки печати.
Файл   Печать в RTF...	Вызов диалогового окна сохранения текстового файла отчета (*.rtf) исходных данных и результатов расчета.
Файл   Последние файлы	Открытие последнего сохраненного файла. Имя команды соответствует имени файла.
Файл   Выход (Alt+F4)	Выход из системы <i>APM Plain</i> .
Данные   Тип подшипника...	Вызов диалогового окна выбора типа подшипника.
Данные   Геометрия...	Вызов диалогового окна ввода геометрических параметров.
Данные   Условия работы...	Вызов диалогового окна ввода условий работы.
Данные   Параметры масла...	Вызов диалогового окна ввода параметров смазочного материала.
Расчет (Alt+H)	Запуск расчета подшипника.
Результаты... (Alt+T)	Вызов окна просмотра результатов.
Справка   Содержание (Ctrl+H)	Вызов содержания справки по <i>APM Plain</i> .
Справка   О модуле...	Вывод окна с информацией об установленной версии <i>APM Plain</i> , разработчике и обладателе лицензии на программу.

## Глава 3. Как работать с системой APM Plain

### Начало работы

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

Чтобы рассчитать подшипник скольжения с помощью *APM Plain* необходимо выполнить следующие действия:

1. Ввод исходных данных
  - 1.1. Выбор типа подшипника.
  - 1.2. Ввод геометрических параметров.
  - 1.3. Ввод условий работы.
  - 1.4. Ввод параметров смазочного материала
2. Выполнение расчета.
3. Просмотр результатов.
4. Сохранение исходных данных и результатов расчета.
5. Печать исходных данных и результатов расчета.
6. Генерация текстового файла отчета

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

**Замечание.** Порядок выполнения расчета является достаточно строгим, то есть нельзя ввести исходные данные пока не выбран тип подшипника. Последующие команды будут просто не активны, и выбрать их невозможно.

### Ввод исходных данных

Ввод исходных данных предполагает выбор, прежде всего типа подшипника, ввод геометрических параметров, условий работы и параметров смазочного материала. Для ввода исходных данных служат команды меню **Данные**.

#### Выбор типа подшипника

Для выбора типа подшипника служит команда **Данные |  Тип подшипника**;

В появившемся диалоговом окне (рис. 3.1) выберете тип подшипника и нажмите «Ок». Проконтролировать выбор можно по изображению подшипника в окне (рис. 3.1).

Одновременно все значения параметров в окнах *Геометрия*, *Условия работы*, *Параметры масла* будут установлены в состояние «не определено» или «0». Команды  **Геометрия...**,  **Условия работы...** и  **Параметры масла...** меню **Данные** становятся доступными и Вы можете ввести все необходимые для расчета исходные данные.

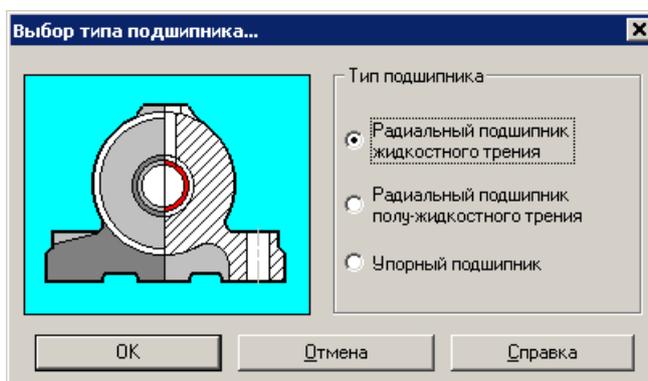


Рис. 3.1 Диалоговое окно выбора типа подшипника.

#### Ввод геометрических параметров

Для ввода геометрических параметров подшипника служит команда **Данные |  Геометрия...**. Для ввода дополнительных параметров нажмите кнопку «Дополнительные параметры». Дополнительные параметры используются для задания дополнительных ограничений расчета.

Число параметров, которые должны быть введены, зависит от типа подшипника. Подробное описание геометрических параметров каждого типа подшипника представлено в соответствующих главах данного руководства.

### Ввод условий работы

Для ввода условий работы служит команда **Данные** |  **Условия работы...** Для ввода дополнительных параметров нажмите кнопку «Дополнительные параметры». Дополнительные параметры используются для задания дополнительных ограничений расчета.

Как и в случае данных по геометрии, набор параметров зависит от типа подшипника. Подробное описание условий работы каждого типа подшипника представлено в соответствующих главах данного руководства.

### Ввод параметров масла

Команда **Данные** |  **Параметры масла** позволяет ввести параметры, описывающие физические характеристики смазочного материала, используемого для смазки в подшипнике. На экране появляется диалоговое окно *Ввод характеристик масла* (рис. 3.2).

В группе *Основные параметры* вводятся теплоемкость и плотность масла. Кроме этого пользователь должен указать динамическую вязкость. Введение этих характеристик смазочного материала осуществляется для всех типов подшипников. Для радиального подшипника жидкостного трения необходимо, кроме того, выбрать способ подачи масла. Описание характеристик смазочного материала приведено в таблице 3.1.

**Таблица 3.1 – Описание характеристик смазочного материала.**

Наименование параметра, ед. изм.	Описание
Теплопроводность, Дж/(кг·°С)	Количество теплоты, поглощенное телом единичной массы при повышении его температуры на один градус.
Плотность масла, кг / м <sup>3</sup>	Масса единицы объема вещества.
Вязкость, Па·с (задается в зависимости от температуры)	Способность жидкости оказывать сопротивление относительному смещению ее слоев. Динамическая вязкость численно равна касательному напряжению, которое необходимо создать на поверхности жидкости, чтобы получить единичный градиент скорости смещения слоев.
Способ подачи масла	Определяет метод подачи масла: направляется масло в рабочую или в нерабочую зону.

Ввести значение вязкости можно двумя способами: выбрав марку масла либо задав два значения вязкости, соответствующие различным температурам. Выбор способа задания вязкости осуществляется с помощью кнопок группы *Данные по вязкости*. Если пользователь выбрал кнопку «Марка масла», он должен выбрать марку смазочного материала в списке *Марка масла* в нижней левой части диалогового окна. При выборе кнопки «Значения» необходимо задать значения вязкости при двух различных температурах. Эти значения можно ввести непосредственно в полях группы *Значения вязкости* либо задать графически в окне, вызываемом с помощью кнопки «Определить зависимость». Общий вид этого окна показан на рисунке 3.3. Пользователь должен с помощью мыши указать две точки, по которым будет восстановлена вязкостно-температурная характеристика масла.

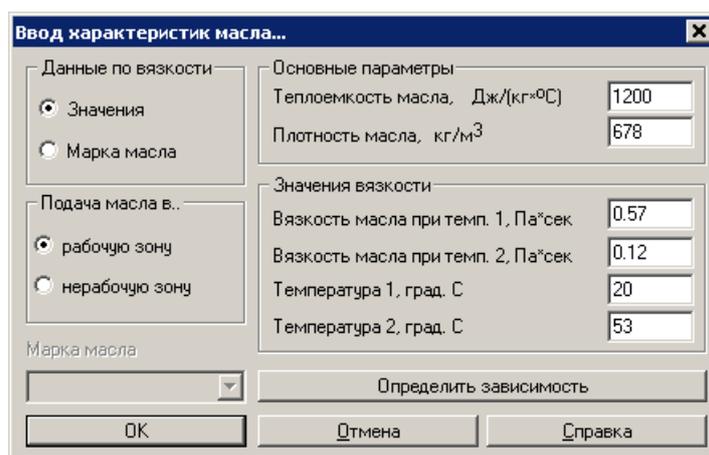


Рис. 3.2 Диалоговое окно Ввод характеристик масла.

Окно содержит линейки, полосы прокрутки, информационную панель и кнопки управления. Горизонтальная линейка соответствует температуре в градусах Цельсия, вертикальная линейка соответствует вязкости в Паскаль\*секунда. Информационная панель показывает значение температуры и вязкости, соответствующие текущему положению курсора. Описание кнопок окна графического задания вязкости приведено в таблице 3.2.

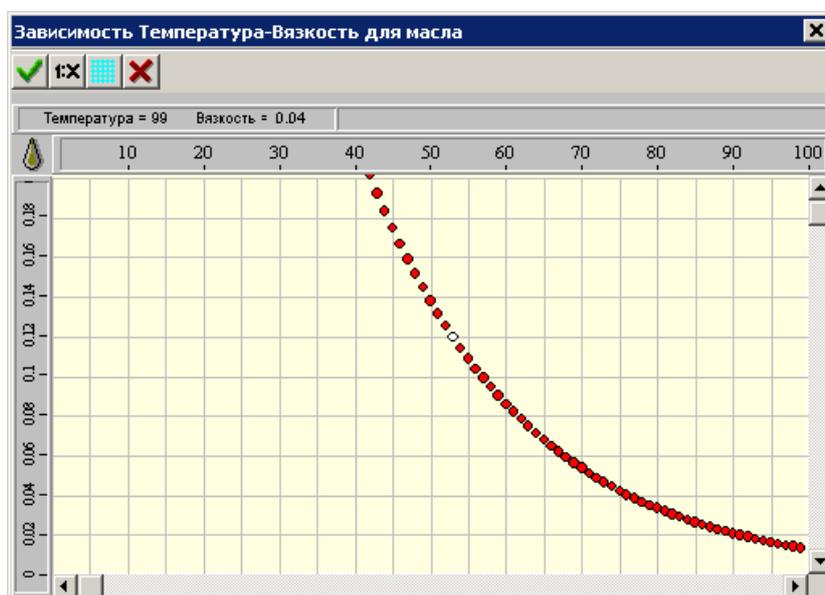


Рис. 3.3 Диалоговое окно Зависимость Температура-Вязкость для масла.

Таблица 3.2 – Описание кнопок окна графического задания вязкости.

	подтверждает введенные значения и закрывает окно
	изменяет масштаб графика
	изменяет шаг вспомогательной сетки
	удаляет отмеченные ранее точки

Удалить поставленные точки можно также нажав правую кнопку мыши.

## Выполнение расчета

После ввода всех исходных данных, команда **Расчет** становится доступной. Для выполнения расчета выберите соответствующую команду главного меню или нажмите кнопку *Расчет* пиктографического меню. Во время расчета появляется информационное окно, показывающее процент выполнения вычислений.

## Просмотр результатов

Результаты доступны только после выполнения расчета, просмотреть их можно двумя способами:

- выбрать команду **Результаты...** главного меню;
- нажать кнопку  пиктографического меню.

На экране появится диалоговое окно с результатами расчетов. Содержание окна зависит от типа подшипника. Подробное описание результатов расчета каждого типа подшипника представлено в соответствующих главах данного руководства.

## Сохранение исходных данных и результатов

При работе с системой *APM Plain* Вы можете сохранить исходные данные и результаты расчётов в файл на жёстком диске или съёмном носителе. Для сохранения исходных данных и результатов расчета в файл *APM Plain* (\*.wpr) служит команды **Файл |  Сохранить** (Ctrl+S). В появившемся диалоговом окне выберете папку и введите имя файла. При проведении серии расчетов для сохранения файла под другим именем служит команда **Файл | Сохранить как...**

## Печать исходных данных и результатов расчета

Полученные результаты расчета, а также исходные данные могут быть напечатаны. Вызов диалогового окна печати может быть осуществлен несколькими способами:

- нажать кнопку **Печать**  пиктографического меню;
- выбрать команду **Файл | Печать**;
- нажать на клавиатуре комбинацию клавиш Ctrl + P.

В появившемся стандартном диалоговом окне выберете печатное устройство, сделайте необходимые настройки: качество печати, формат и ориентация бумаги, число копий и т.д. и нажмите кнопку «Печать» для вывода информации на принтер.

## Генерация текстового файла отчета

Для генерации текстового файла отчета формата RTF выберете команду **Файл | Печать в RTF**. В появившемся диалоговом окне введите имя файла отчета и нажмите «Ок».

## Выход

Для выхода из системы *APM Plain* используйте команду **Файл | Выход** или сочетание клавиш *Alt+F4*. При выходе система предложит сохранить текущие изменения.

## Глава 4. Радиальный подшипник жидкостного трения

Для выбора типа подшипника используйте команду **Данные** |  **Тип подшипника**.

### Исходные данные

#### Геометрия

Для ввода геометрических параметров (рис. 4.1) подшипника служит команда **Данные** |  **Геометрия....** Для ввода дополнительных параметров (рис. 4.2) нажмите кнопку «Дополнительные параметры».

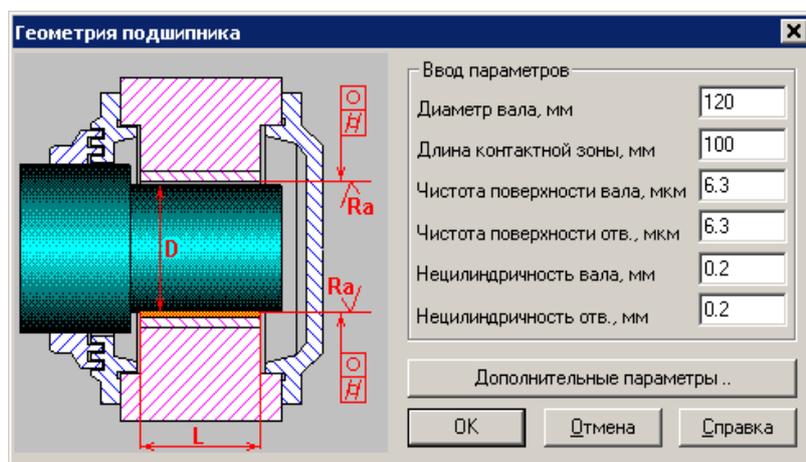


Рис. 4.1 Диалоговое окно Геометрия подшипника.

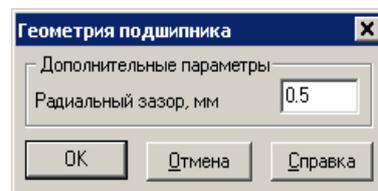


Рис. 4.2 Диалоговое окно Геометрия подшипника (Доп. параметр).

Таблица 4.1 – Геометрические параметры подшипника.

Наименование параметра, ед. изм.	Описание
Диаметр вала, мм	Наружный диаметр участка вала воспринимающего давление масла. Такой участок называется цапфой.
Длина контактной зоны, мм	Длина цапфы вала.
Чистота поверхности вала (отверстия), мкм	Чистота обработки поверхности, зависящая от величины микронеровностей поверхности вала или вкладыша. В качестве числовой характеристики высоты микронеровностей используется параметр Ra – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины.
Нецилиндричность вала, мм	Наибольшее расстояние от точек реальной поверхности вала до прилегающего цилиндра.
Нецилиндричность вкладыша, мм	Наибольшее расстояние от точек реальной поверхности вкладыша до прилегающего цилиндра.
Радиальный зазор, мм (Доп. параметр)	Разница между радиусом втулки и вала.

#### Условия работы

Для ввода условий работы (рис. 4.3) служит команда **Данные** |  **Условия работы....** Для ввода дополнительных параметров (рис. 4.4) нажмите кнопку «Дополнительные параметры».

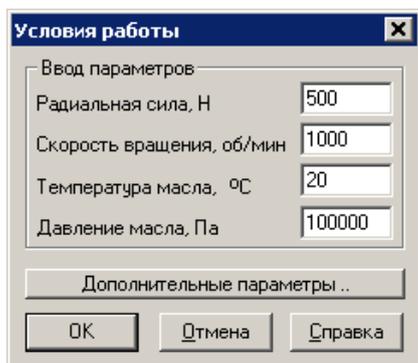


Рис. 4.3 Диалоговое окно Условия Работы.

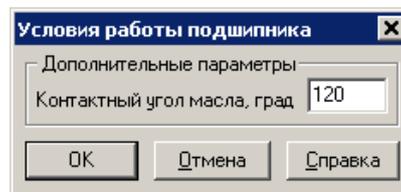


Рис. 4.4 Диалоговое окно Условия работы (Дополнительный параметр).

Таблица 4.2 – Условия работы подшипника.

Наименование параметра, ед. изм.	Описание
Радиальная сила, Н	Сила, перпендикулярная оси вращения подшипника и направленная к центру вращения.
Скорость вращения, об/мин	Число оборотов вала под подшипником.
Температура масла, °С	Наибольшее значение температуры масляного слоя при установившемся режиме.
Давление масла, Па	Избыточное давление масла на входе в рабочую зону подшипника.
Контактный угол масла, град. (Доп. параметр)	 Угол, величина которого определяет длину несущей поверхности. По умолчанию контактный угол масла принимается равным 120 град.

### Параметры масла

Для ввода характеристик смазочного материала служит команда **Данные** |  **Параметры масла...** Для всех типов подшипников используется единое диалоговое окно (рис. 3.2). Подробное описание представлено в разделе Ввод параметров масла главы 3.

### Результаты расчета

После выполнения расчета (команда  **Расчет**) становятся доступны результаты. Для просмотра результатов (рис. 4.5) используйте соответствующую команду  **Результаты...**

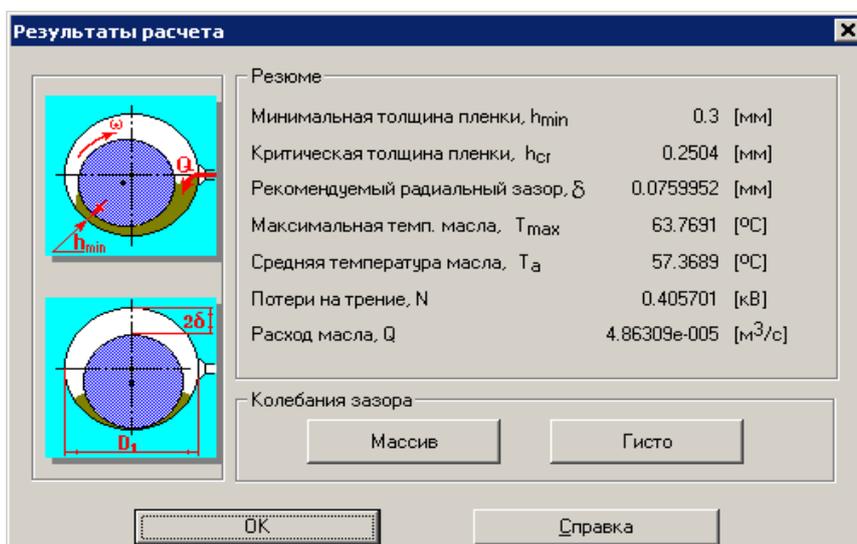
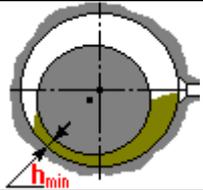


Рис. 4.5 Диалоговое окно Результаты расчета.

Таблица 4.3 – Результаты расчета подшипника.

Наименование параметра, ед. изм.	Описание	
Минимальная толщина пленки - $h_{min}$ , мм		Минимальная толщина пленки масла между контактирующими поверхностями.
Критическая толщина пленки - $h_{cr}$ , мм		Значение минимальной толщины смазочной пленки, при котором происходит переход из жидкостного режима работы в полужидкостный.
Рекомендуемый радиальный зазор, мм		Зазор, оптимальный с точки зрения работоспособности подшипника.
Максимальная температура масла, °C		Максимальное значение температуры в рабочей зоне подшипника.
Средняя температура масла, °C		Среднее значение температуры в рабочей зоне подшипника.
Потери на трение, кВт		Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в подшипнике.
Расход масла, м <sup>3</sup> /с		Объем масла протекающий через подшипник в единицу времени.
Колебания радиального зазора, мкм		Возможные изменения радиального зазора с учетом погрешностей изготовления деталей.

Погрешности изготовления оказывают существенное влияние на величину фактического эксцентриситета, образовавшегося после приложения нагрузки к валу подшипника. Главным фактором, влияющим на точность вращения, является некруглость и нецилиндричность цапфы вала и вкладыша подшипника. Очевидно, что при вращении вала наличие указанных выше погрешностей приведет к изменению величины эксцентриситета и к радиальному биению вала. Для определения величин этих биений были выполнены специальные исследования, по результатам которых удалось определить как величину максимального биения, так и плотности рассеяния величин этих биений. По результатам такого расчета можно просмотреть массивы радиальных биений (рис. 4.6), построенные по результатам имитационных испытаний при равномерном вращении вала. Кроме того, можно просмотреть гистограммы рассеяния радиальных биений подшипника (рис. 4.7), построенные по результатам статистической обработки числовых массивов.

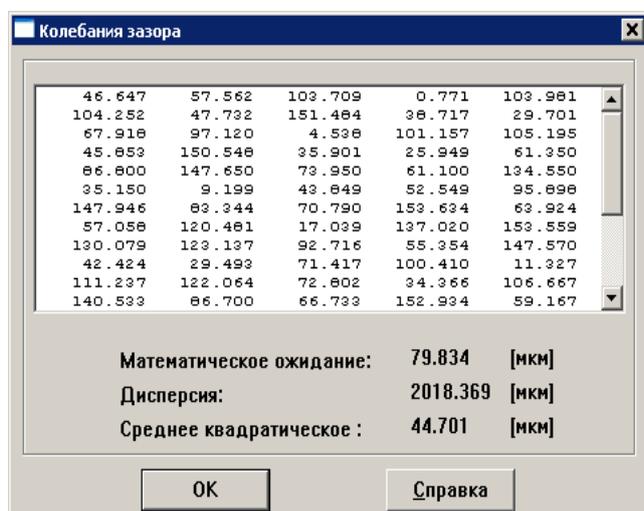


Рис. 4.6 Колебания зазора (таблица).

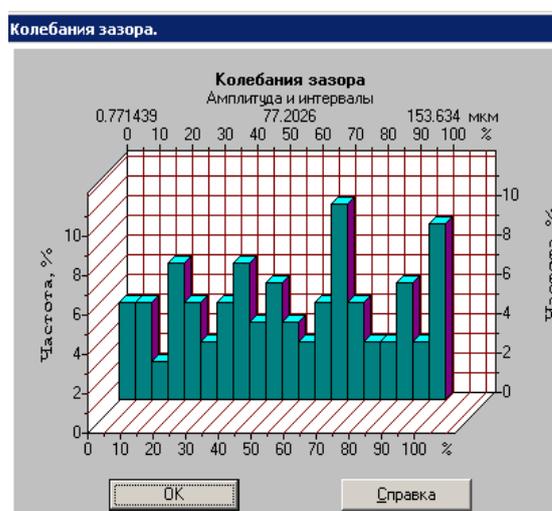


Рис. 4.7 Колебания зазора (Гистограмма).

## Глава 5. Радиальный подшипник полужидкостного трения

Для выбора типа подшипника используйте команду **Данные** |  **Тип подшипника**.

### Исходные данные

#### Геометрия

Для ввода геометрических параметров (рис. 5.1) подшипника служит команда **Данные** |  **Геометрия....** Для ввода дополнительных параметров (рис. 5.2) нажмите кнопку «Дополнительные параметры».

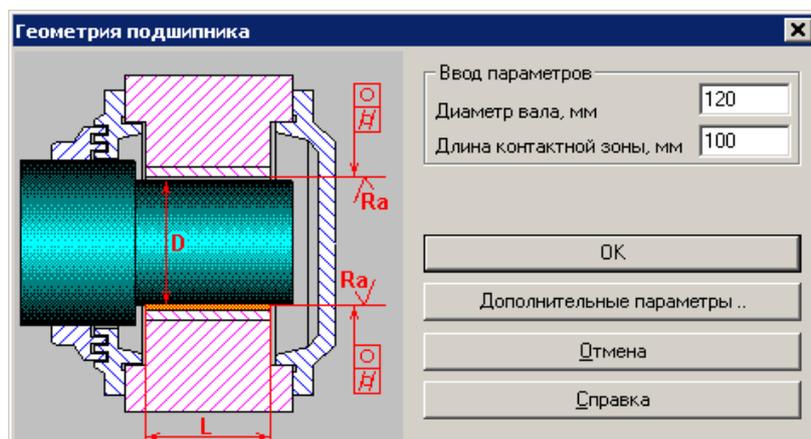


Рис. 5.1 Диалоговое окно Геометрия подшипника.

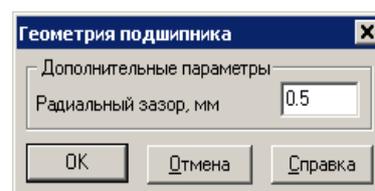


Рис. 5.2 Диалоговое окно Геометрия подшипника (Доп. параметр).

Таблица 5.1 – Геометрические параметры подшипника.

Наименование параметра, ед. изм.	Описание
Диаметр вала, мм	Наружный диаметр участка вала воспринимающего давление масла. Такой участок называется цапфой.
Длина контактной зоны, мм	Длина цапфы вала.
Радиальный зазор, мм (Доп. параметр)	Разница между радиусом втулки и вала.

#### Условия работы

Для ввода условий работы (рис. 5.3) служит команда **Данные** |  **Условия работы....**

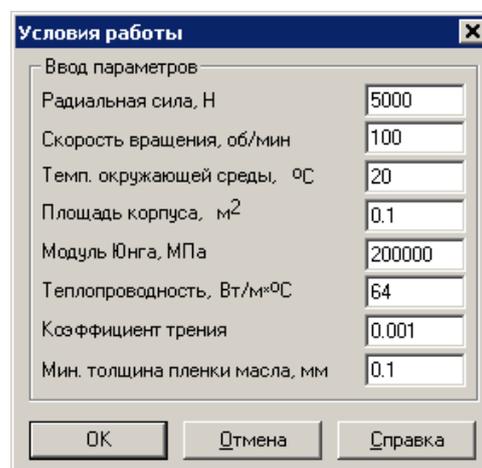


Рис. 5.3 Диалоговое окно Условия Работы.

**Таблица 5.2 – Условия работы подшипника.**

Наименование параметра, ед. изм.	Описание
Радиальная сила, Н	Сила, перпендикулярная оси вращения подшипника и направленная к центру вращения.
Скорость вращения, об/мин	Число оборотов вала под подшипником.
Температура окружающей среды, °С	Температура воздуха в месте установки подшипника.
Площадь корпуса, м <sup>2</sup>	Площадь внешней поверхности корпуса подшипника.
Модуль Юнга, МПа	Модуль упругости первого рода.
Теплопроводность, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	Направленный перенос тепла от более нагретых частей тела к менее нагретым. Теплопроводность материала корпуса характеризуется количеством тепла отведенного с единицы поверхности в единицу времени при разности температур в один градус.
Коэффициент трения	Отношение силы трения к силе нормальной реакции, возникающей при контакте сопряженных тел
Минимальная толщина пленки, мм	Наименьшая толщина пленки масла в рабочей зоне подшипника.
Давление масла, Па	Избыточное давление масла на входе в рабочую зону подшипника.

### Параметры масла

Для ввода характеристик смазочного материала служит команда **Данные** |  **Параметры масла...** Для всех типов подшипников используется единое диалоговое окно (рис. 3.2). Подробное описание представлено в разделе Ввод параметров масла главы 3.

### Результаты расчета

После выполнения расчета (команда  **Расчет**) становятся доступны результаты. Для просмотра результатов (рис. 5.4) используйте соответствующую команду  **Результаты...**

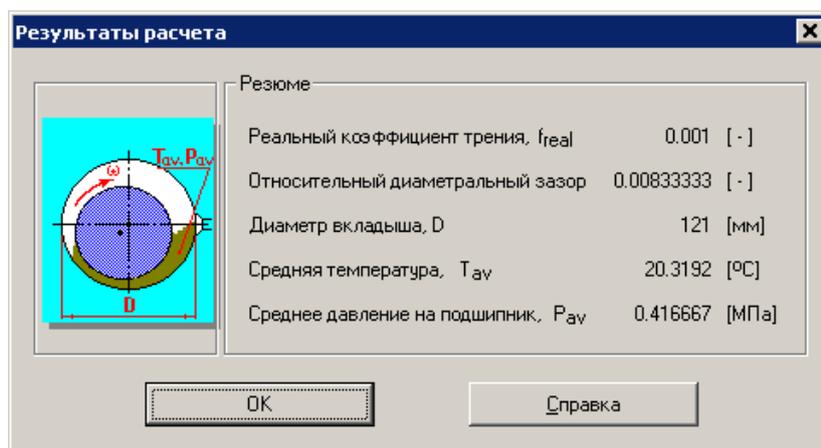


Рис. 5.4 Диалоговое окно Результаты расчета.

**Таблица 5.3 – Результаты расчета подшипника.**

Действительный коэффициент трения	Действительное значение коэффициента трения между трущимися поверхностями (валом и вкладышем).
Относительный диаметальный зазор	Отношение радиального зазора к диаметру вала.
Диаметр вкладыша, мм	Внутренний диаметр вкладыша подшипника.
Средняя температура масла, °С	Среднее значение температуры масла в рабочей зоне подшипника.
Среднее давление на	Отношение среднего значения радиальной силы к опорной площади

подшипник, МПа	подшипника.
----------------	-------------

## Глава 6. Упорный подшипник жидкостного трения

Для выбора типа подшипника используйте команду **Данные** |  **Тип подшипника**.

### Исходные данные

#### Геометрия

Для ввода геометрических параметров (рис. 6.1) подшипника служит команда **Данные** |  **Геометрия....**

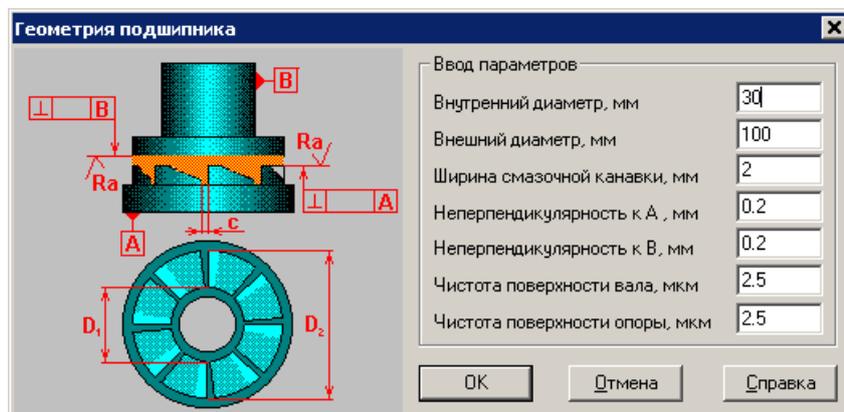


Рис. 6.1 Диалоговое окно Геометрия подшипника.

Таблица 6.1 – Геометрические параметры подшипника.

Наименование параметра, ед. изм.	Описание	
Внутренний диаметр, мм	Диаметр, определяющий внутреннюю границу зоны гидродинамической реакции.	
Внешний диаметр, мм	Диаметр, определяющий внешнюю границу зоны гидродинамической реакции.	
Ширина смазочной канавки, мм		Ширина технологической канавки, входящей в состав нерабочей зоны.
Неперпендикулярность к А (В), мм	Ошибка перпендикулярности обозначенных поверхностей.	
Чистота поверхности вала (отверстия), мкм	Чистота обработки поверхности, зависящая от величины микронеровностей поверхности вала или вкладыша. В качестве числовой характеристики высоты микронеровностей используется параметр Ra – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины.	

#### Условия работы

Для ввода условий работы (рис. 6.2) служит команда **Данные** |  **Условия работы....**

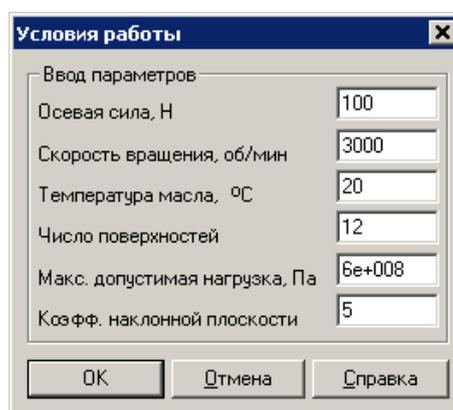


Рис. 6.2 Диалоговое окно Условия Работы.

Таблица 6.2 – Условия работы подшипника.

Наименование параметра, ед. изм.	Описание	
Осевая сила, Н	Сила, направленная вдоль оси вала, на котором установлен подшипник.	
Скорость вращения, об/мин	Число оборотов вала под подшипником.	
Температура масла, °С	Наибольшее значение температуры масляного слоя при установившемся режиме.	
Число наклонных плоскостей	Конструкционный коэффициент, определяющий число масляных клиньев, уравнивающих внешнюю нагрузку.	
Максимально допустимая нагрузка, Па	Напряжение, превышение которого ведет к возникновению пластических деформаций в упорном подшипнике.	
Коэффициент наклонной плоскости		Конструкционный коэффициент, равный отношению максимального зазора к минимальному.

### Параметры масла

Для ввода характеристик смазочного материала служит команда **Данные** |  **Параметры масла...** Для всех типов подшипников используется единое диалоговое окно (рис. 3.2). Подробное описание представлено в разделе Ввод параметров масла главы 3.

### Результаты расчета

После выполнения расчета (команда  **Расчет**) становятся доступны результаты. Для просмотра результатов (рис. 6.3) используйте соответствующую команду  **Результаты...**

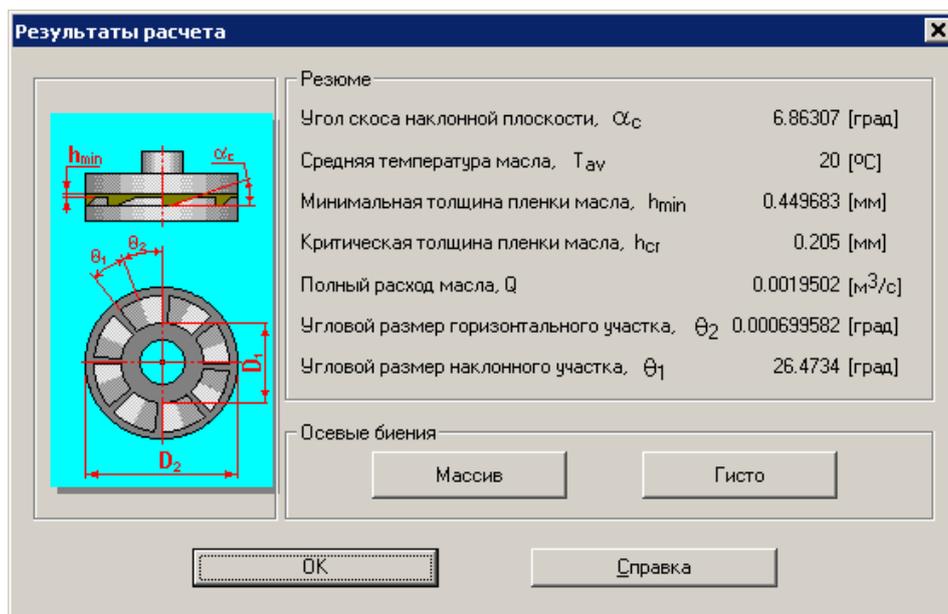
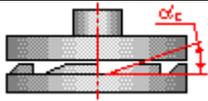
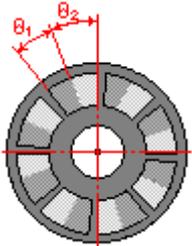


Рис. 6.3 Диалоговое окно Результаты расчета.

Таблица 6.3 – Результаты расчета подшипника.

Наименование параметра, ед. изм.	Описание	
Угол скоса наклонной плоскости - $\alpha_N$		
Средняя температура	Среднее значение температуры масла в рабочей зоне подшипника.	

масла, °С		
Минимальная толщина пленки масла, мм	Минимальная толщина пленки масла между контактирующими поверхностями.	
Критическая толщина пленки масла, мм	Значение минимальной толщины смазочной пленки, при котором происходит переход из жидкостного режима в полужидкостный.	
Полный расход масла, м <sup>3</sup> /с	Объем масла протекающий через подшипник в единицу времени.	
Угол наклона плоско-параллельного участка - $\theta_1$ , рад		Центральный угол плоско-параллельного участка колодки подшипника
Угол наклонного участка - $\theta_2$ , рад		Центральный угол наклонного участка колодки подшипника
Осевые биения, мкм	Возможные изменения осевого зазора с учетом погрешностей изготовления деталей.	

Погрешности изготовления оказывают существенное влияние на величину осевого зазора. Главным фактором, влияющим на точность вращения, является неперпендикулярность и чистота обработки рабочих поверхностей пяты и подпятника. Очевидно, что при вращении вала наличие указанных выше погрешностей приведет к осевому биению вала. Для определения величин этих биений были выполнены специальные исследования, по результатам которых удалось определить как величину максимального биения, так и плотности рассеяния величин этих биений. По результатам такого расчета можно просмотреть массивы осевых биений (рис. 6.4), построенные по результатам имитационных испытаний при равномерном вращении вала. Кроме того, можно просмотреть гистограммы рассеяния осевых биений подшипника (рис. 6.5), построенные по результатам статистической обработки числовых массивов.

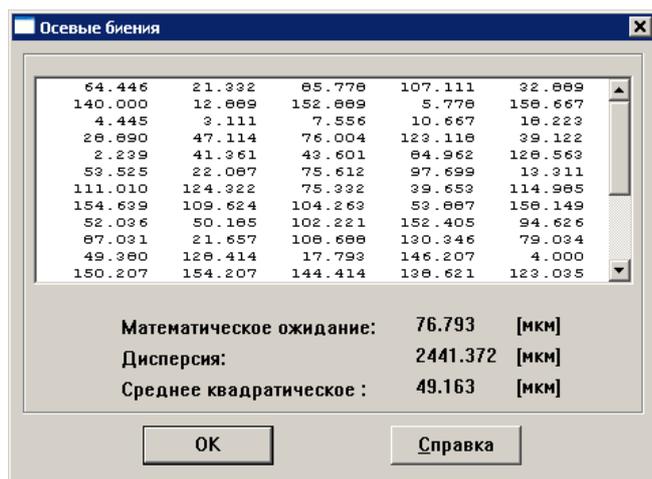


Рис. 6.4 Колебания зазора (таблица).

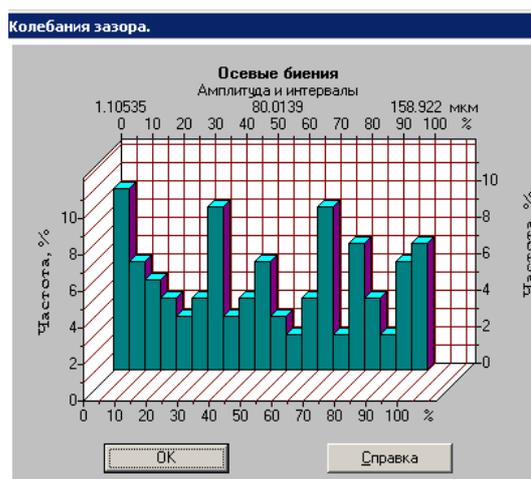
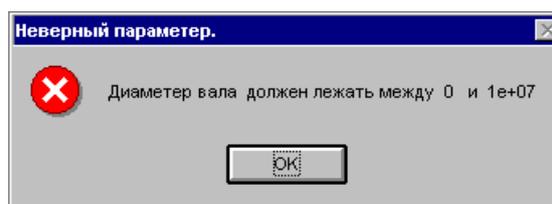


Рис. 6.5 Колебания зазора (Гистограмма).

## Приложение. Предупреждения APM Plain

### Предупреждения при вводе исходных данных

При вводе исходных данных выдается предупреждающее сообщение, если введенное значение выходит за пределы области допустимых значений. Пример такого сообщения приведен на рисунке справа. После нажатия кнопки «Ок» система вернет Вас в поле ввода того параметра, для которого Вы указали неверное значение.



Предупреждение модуля APM Plain.

### Предупреждения при расчете

#### Осевая сила слишком велика для данного подшипника.

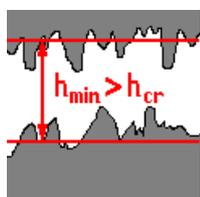
Это сообщение выдается, когда введенная осевая нагрузка превышает максимально допустимую. Подшипник в этих условиях работать не может, поэтому расчеты прерываются. Рекомендуется увеличить геометрические размеры или уменьшить осевую силу. Также возможно увеличить максимально допустимую нагрузку, то есть применить для изготовления подшипника материал с более высокими прочностными характеристиками.

#### Температура масляного слоя слишком велика.

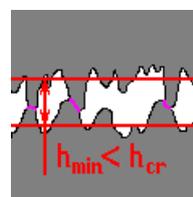
Это сообщение выдается, если температура масла в рабочей зоне подшипника превышает 80 С. При высоких температурах (больше 80 С) смазывающие свойства большинства масел резко ухудшаются. Это может привести к нарушению сплошности масляной пленки и быстрому износу трущихся поверхностей деталей. В этом случае рекомендуется увеличить геометрические размеры подшипника, радиальный зазор или уменьшить угловую скорость вращения. Возможно также применение внешней системы охлаждения.

#### Минимальная толщина масляного слоя меньше критической.

Данное сообщение выводится, когда минимальная толщина масляного слоя становится меньше критической; в этом случае поверхности подшипника и вкладыша будут соприкасаться, что приведет к переходу в полужидкостный режим и резкому повышению тепловыделения. Это может привести к быстрому износу трущихся поверхностей и разрушению подшипника. Рекомендуется увеличить геометрические размеры подшипника или уменьшить нагрузку на него.



Режим жидкостного трения



Режим полужидкостного трения.