



3 РАСЧЕТ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В МОДУЛЕ АРМ BEAR

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа **АРМ Bear** представляет систему для расчета неидеальных подшипников качения, в ходе задания параметров нагрузки и условий работы, выполнения сопутствующих расчетов, оптимального выбора подходящего варианта, и обеспечивает вывод результатов на экран (в файл, на печать).

С помощью АРМ Bear могут быть рассчитаны:

- перемещения в подшипниках качения;
- наибольшие контактные напряжения;
- долговечность;
- силы, действующие на тела качения;
- моменты трения;
- потери мощности;
- тепловыделение в подшипнике.

Расчеты могут быть выполнены для подшипников восьми типов:

- шариковых радиальных;
- шариковых сферических;
- шариковых радиально-упорных;
- шариковых упорных;
- роликовых радиальных;
- роликовых сферических;
- роликовых радиально-упорных;
- роликовых упорных.

Новый подход к расчету подшипников в программе АРМ Bear

Подшипники качения представляют собой один из наиболее массовых видов деталей машин, используемых в современном машиностроении. Достоверное определение параметров и оптимальный выбор режима работы подшипников имеют первостепенное значение для характеристик проектируемого механического оборудования, в первую очередь для его точности и долговечности.

Не будет преувеличением сказать, что определение жесткости и перемещений является краеугольным камнем и в то же время камнем преткновения при расчете подшипников. Жесткость имеет важное значение сама по себе, кроме того, она используется при расчете многих других параметров.



Классический метод расчета жесткости основан на решении так называемой контактной задачи. Для решения этой задачи используются методы теории упругости. Решение контактной задачи базируется на ряде допущений, известных как условия Герца. Одним из наиболее важных среди этих условий является требование абсолютной гладкости контактирующих поверхностей. В то же время поверхности реальных объектов всегда имеют погрешности формы. Амплитуда этих погрешностей сопоставима с величиной контактных перемещений.

Это делает классические методы решения контактной задачи непригодными, ошибки могут достигать 100% и более.

В Центре научного и программного обеспечения "Автоматизированное Проектирование Машин" разработана общая теория контакта неидеальных поверхностей. В этой теории учитывается существенно статистическая природа процессов, имеющих место при контакте неидеальных поверхностей. Разработаны эффективные методы определения контактной жесткости и перемещений. Надежность этих методов подтверждена данными экспериментальных исследований.

Важный момент, который нужно иметь в виду при расчете подшипников состоит в том, что реальный контакт между телами качения и дорожками качения имеет статистический характер. Следовательно, характеристики подшипника, такие как жесткость и перемещения, можно определить только в статистическом смысле - как выборочную реализацию, среднее значение, дисперсию и т.п.

В **APM Bear** рассчитывается выборочная реализация контактных перемещений подшипника, состоящая из 100 элементов. Используя ее вы можете определить средние значения перемещений и жесткости, их дисперсии, максимальные, минимальные и наиболее частые значения, форму полей рассеяния и т.д. Те параметры, которые рассчитываются с использованием контактных перемещений (момент трения, потери мощности, нагрузки, действующие на тела качения), также представлены как массивы из 100 элементов (с соответствующими статистическими характеристиками). Эти результаты могут быть отображены различными способами - в виде таблицы, гистограммы, графика, эпюры и даже с помощью анимации. Это дает вам реальную картину поведения подшипника во всей ее сложности и полноте.

Перемещения и жесткость

Жесткость представляет собой способность тела сопротивляться деформации, вызванной внешней нагрузкой, действующей на тело. Численно жесткость равна силе, которая вызывает единичную деформацию (в выбранной системе единиц измерения).



Податливость характеризует способность тела деформироваться под действием внешней нагрузки. Численно податливость равна деформации вызванной единичной внешней силой.

Под перемещением будет пониматься абсолютное перемещение центра подшипника, вызванное действием внешней силы.

Компоненты перемещения

В зависимости от типа подшипника и характера приложенной нагрузки, перемещение может быть одно-, двух- и трехмерным. Мы будем использовать следующие названия для компонент перемещения подшипника (см. рисунок 3.1):

- осевое перемещение - составляющая общего перемещения, направленная вдоль оси вала, на котором смонтирован подшипник;
- радиальное перемещение - составляющая общего перемещения, параллельная линии действия радиальной силы и перпендикулярная оси вала;
- боковое перемещение - составляющая, перпендикулярная оси вала и направлению радиальной силы.

Биениями называются относительные перемещения центра подшипника, обусловленные его вращением и зависящие от геометрии, точности и внешней нагрузки.

В **APM Bear** абсолютные и относительные перемещения совпадают, поэтому термины перемещения и биения используются как взаимозаменяемые.

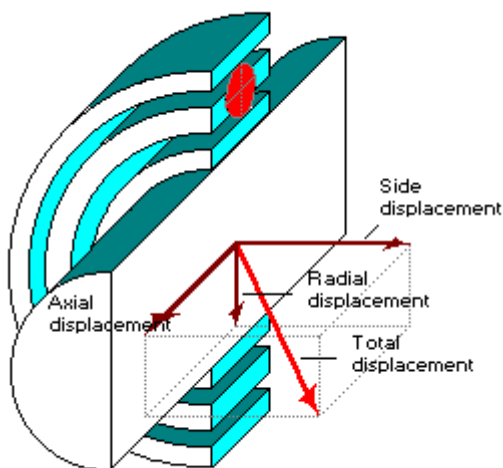


Рисунок 3.1 Компоненты перемещения подшипника. В общем случае суммарное перемещение подшипника может иметь до трех составляющих - осевую, радиальную и боковую. Осевое перемещение направлено вдоль оси вала; радиальное перпендикулярно оси вращения и параллельно направлению радиальной силы; боковое перемещение перпендикулярно осевому и радиальному



Что рассчитывается

Расчет перемещений представляет собой ядро **APM Bear**. Пользователю системы дается уникальная возможность определить (и даже, непосредственно наблюдать) во всех подробностях реальную картину движения подшипника.

Для того, чтобы охарактеризовать перемещения рассчитывается (моделируется) массив из 100 положений центра подшипника. Для каждого положения может быть вычислено до 3 составляющих (осевая, радиальная и боковая, см. рисунок 3.1). В случае радиально-упорных подшипников, которые устанавливаются парами, перемещения рассчитываются для каждого подшипника отдельно.

Используя этот массив, вы можете оценить максимальные и минимальные перемещения, наблюдать форму поля рассеяния перемещений, определить, какие компоненты преобладают и т.п. Основываясь на перемещениях легко рассчитать жесткость и податливость подшипника. Таким образом, вы получаете исчерпывающее описание движения подшипника.

Представление

Результаты расчета перемещений могут быть продемонстрированы в **APM Bear** следующими способами:

1) **В виде таблицы.** На экране отображается диалоговое окно, содержащее окно списка, заполненное значениями контактных перемещений центра подшипника. В нижней части окна показаны статистические характеристики распределения перемещений - среднее значение, дисперсия и среднеквадратическое отклонение. Каждая компонента суммарного перемещения (осевая, радиальная и боковая) показывается отдельно. На рисунке 3.2 приведен пример таблицы радиальных перемещений шарикового радиального подшипника.

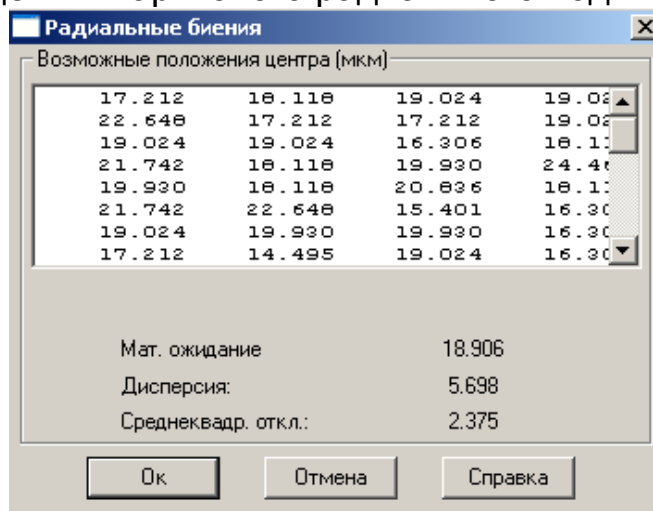


Рисунок 3.2 Массив радиальных биений подшипника. В верхней части окна расположена таблица значений радиальных смещений, в нижней - статистические характеристики распределения смещений



2) **В виде гистограммы.** Гистограмма используется для того, чтобы продемонстрировать особенности распределения значений смещений. Промежуток между наибольшим и наименьшим значениями перемещений делится на двадцать равных интервалов, для каждого интервала рассчитывается доля перемещений, попадающих в его границы. На рисунке 3.3 показана гистограмма боковых перемещений для радиального шарикового подшипника.

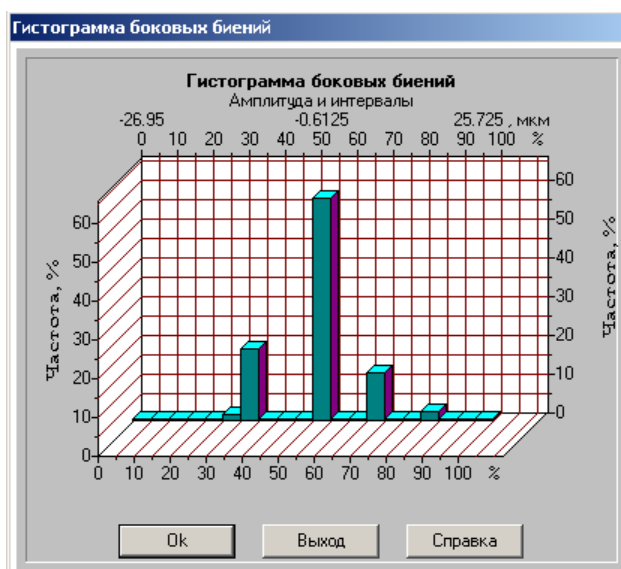


Рисунок 3.3 Пример гистограммы боковых биений радиального шарикового подшипника

3) **В виде поля положений центра подшипника.** С помощью таблиц и гистограмм компоненты суммарного перемещения показываются по отдельности. Для того, чтобы продемонстрировать совместное распределение компонент используются двух- и трехмерные поля рассеяния. На рисунке 3.5 показано трехмерное поле биений для шарикового радиально-упорного подшипника.

4) **В виде анимации.** Для того, чтобы дать вам общее представление о реальном характере движения подшипника используется анимация. Для этого используется все тот же массив из 100 положений центра подшипника. На рисунке 3.4 показан фрагмент анимации биений шарикового радиально-упорного подшипника.

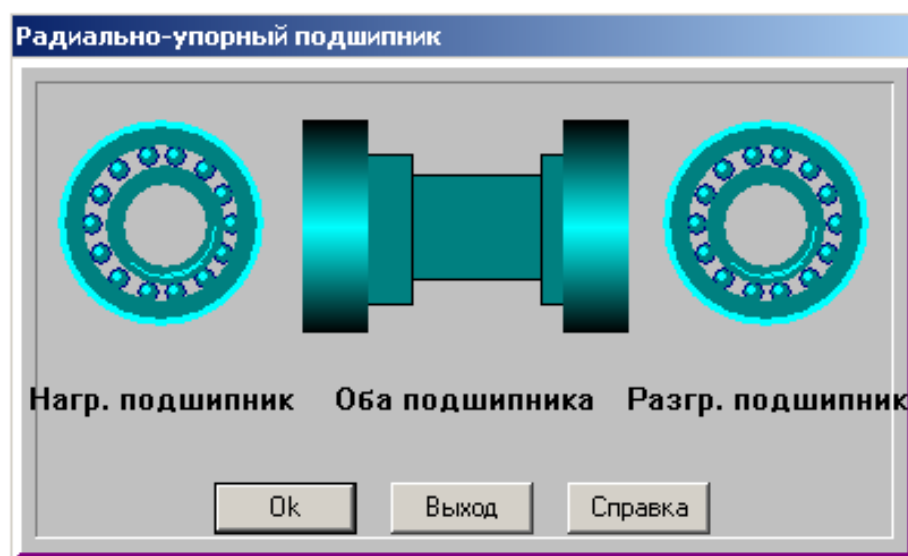


Рисунок 3.4 Фрагмент анимации движения для радиально-упорного подшипника. В левой и правой частях окна пользователь может наблюдать радиальные и боковые перемещения подшипников, образующих парный узел. В центральной части показаны оба подшипника и часть вала, на котором они смонтированы. Это позволяет наблюдать осевые и радиальные перемещения, а также перекос вала.

Наибольшие контактные напряжения

Наибольшее контактное напряжение представляет собой напряжение в контакте наиболее нагруженного тела качения или его части.

Что рассчитывается

В **APM Bear** определяется наибольшее контактное напряжение, действующее в подшипнике. Это значение выводится в поле "Резюме" диалогового окна "Результаты".

Долговечность

Под долговечностью понимается период времени в течении которого 90 подшипников из каждых 100 не будут иметь усталостных разрушений.

Что рассчитывается

Значение расчетной долговечности выводится в поле "Резюме" диалогового окна "Результаты".

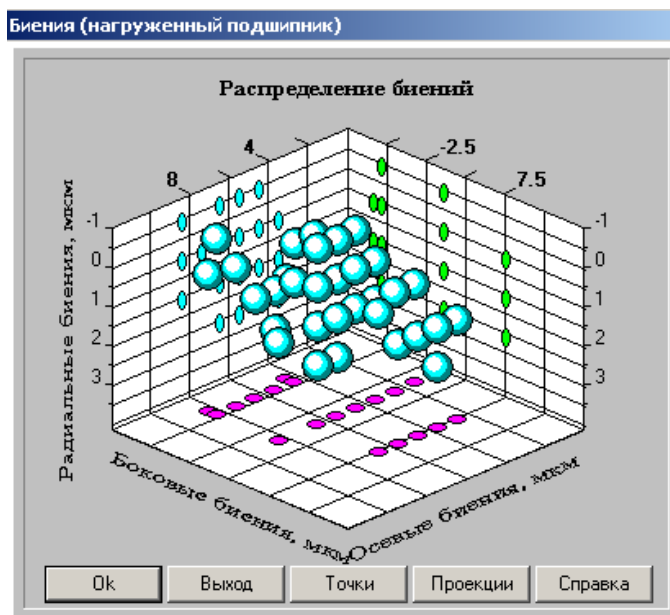


Рисунок 3.5 Пример пространственного поля рассеяния положений центра подшипника. Такие графики используются для радиально-упорных подшипников (шарикового и роликового). Перемещения подшипников этого типа в общем случае имеют три составляющих - осевую, радиальную и боковую. Эти компоненты откладываются вдоль осей графика. Сферические точки на графике соответствуют суммарному смещению. Значками, имеющими форму эллипсов, расположенными на координатных плоскостях, показаны парные распределения компонент биений: осевые-радиальные, осевые-боковые, радиальные-боковые. По желанию пользователя суммарные и парные распределения могут не показываться

Силы, действующие на тела качения

Силы, действующие на тела качения, представляют собой нормальные силы, приложенные к телам качения со стороны дорожек качения с которыми они контактируют. Эти силы зависят от геометрии подшипника, точности изготовления, внешних нагрузок и относительного положения тел качения и колец.

Что рассчитывается

В **APM Bear** для каждого из 100 положений центра подшипника (см. выше) рассчитываются силы, действующие на тела качения.

Представление

Силы, действующие на тела качения, могут быть показаны:

- 1) **В виде эпюры**
- 2) **В виде графика**

На рисунок 3.6 приведено диалоговое окно, в котором показаны эпюра и график сил, действующих на тела качения.

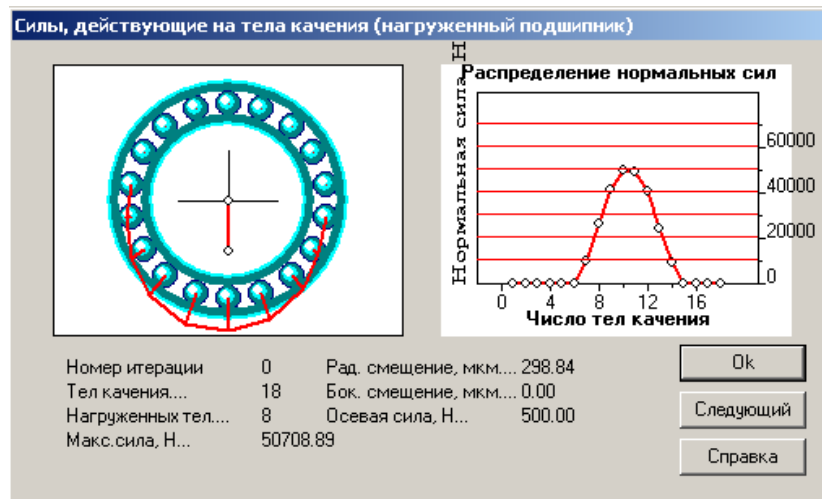


Рисунок 3.6 Силы, действующие на тела качения. Диалоговое окно с эпюрой и графиком сил, действующих на тела качения (радиально-упорный шариковый подшипник). Используя клавишу "Следующий" вы можете перейти к следующему виртуальному положению центра подшипника и таким образом проследить как изменяются нормальные силы в процессе вращения подшипника. Чтобы исправить положение можно, например, использовать более точный подшипник или изменить величину преднатяга

Момент трения

Момент трения можно определить как момент, который должен быть приложен к подшипнику, чтобы компенсировать действие сил трения.

Что рассчитывается

В **APM Bear** рассчитывается (моделируется) массив из 100 значений момента трения (соответствующий массиву перемещений).

Представление

Значения сил трения могут быть показаны

- 1) в виде таблицы, дополненной статистическими характеристиками (среднее, дисперсия, среднеквадратическое отклонение);
- 2) в виде гистограммы;
- 3) в виде графика.

Среднее значение момента трения показывается в поле "Резюме" диалогового окна Результаты".

Потери мощности

Потери мощности представляют собой мощность, рассеянную в подшипнике в результате действия сил трения в контакте между телами качения и дорожками качения.

Что рассчитывается

В **APM Bear** рассчитывается (моделируется) массив из 100 значений потерь мощности (соответствующий массиву перемещений).



Представление

Значения потерь мощности могут быть показаны

- 1) в виде таблицы, дополненной статистическими характеристиками (среднее, дисперсия, среднеквадратическое отклонение);
- 2) в виде гистограммы;
- 3) в виде графика;

Среднее значение потерь мощности показывается в поле "Резюме" диалогового окна "Результаты".

Тепловыделение

Тепловыделение представляет собой количество тепла, выделенное в подшипнике в результате действия сил трения.

Значение тепловыделения показывается в поле "Резюме" диалогового окна "Результаты".

Типы подшипников

В данном разделе приводится краткое описание типов подшипников, которые вы можете рассчитать с помощью **APMBear**.

Таблица 3.1

Подшипник	<i>- часть опорной структуры вала, воспринимающая действие нагрузки и обеспечивающая вращение вала</i>
Подшипник качения	<i>- подшипник, в котором между опорной и вращающейся поверхностями расположены тела качения (сферические или роликовые). Кроме тел качения подшипник включает в себя внешнее и внутреннее кольца.</i>
Шариковый подшипник	<i>- подшипник качения с телами качения сферической формы</i>
Роликовый подшипник	<i>- подшипник качения, у которого тела качения имеют форму цилиндрических либо конических роликов</i>
Неидеальный подшипник	<i>- подшипник качения, геометрические размеры которого имеют отклонения от номинальных значений</i>

С помощью **APM Bear** вы можете рассчитать подшипники восьми наиболее часто используемых типов (таблица 3.2).



Таблица 3.2

Тип	Схема	Определение	Тип	Схема	Определение
Радиальный шариковый подшипник		Шариковый подшипник для работы в условиях радиальной нагрузки	Радиальный роликовый подшипник		Роликовый подшипник для работы в условиях радиальной нагрузки
Сферический шариковый подшипник		Шариковый подшипник с двумя рядами тел качения для работы в условиях радиальной нагрузки.	Сферический роликовый подшипник		Роликовый подшипник с двумя рядами тел качения для работы в условиях радиальной нагрузки.
Радиально-упорный шариковый подшипник		Шариковый подшипник, работающий в условиях комбинированной нагрузки, включающей осевую и радиальную силы	Радиально-упорный роликовый подшипник		Роликовый подшипник, работающий в условиях комбинированной нагрузки, включающей осевую и радиальную силы
Упорный шариковый подшипник		Шариковый подшипник, работающий в условиях чисто осевой нагрузки	Упорный роликовый подшипник		Роликовый подшипник, работающий в условиях чисто осевой нагрузки

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Настоящий раздел содержит описание всех параметров, используемых в **APMBear** в качестве исходных данных для расчетов.

Геометрия

Для задания геометрии подшипника используются следующие параметры:



Таблица 3.3

Внешний диаметр	<i>Диаметр внешнего кольца подшипника, номинальное значение которого совпадает с диаметром отверстия. Единицы измерения – миллиметры (мм).</i>
Внутренний диаметр	<i>Диаметр внутреннего кольца подшипника, номинальное значение которого совпадает с диаметром вала. Единицы измерения – миллиметры (мм).</i>
Диаметр тел качения	<i>Номинальное значение диаметра тела качения. Единица измерения – миллиметры.</i>
Длина ролика	<i>Теоретическое значение длины зоны контакта между роликом и дорожкой качения. Единица измерения – миллиметры.</i>
Угол контакта	<i>Угол между направлением действия нагрузки и плоскостью, нормальной к оси подшипника. Единица измерения – градусы.</i>
Число тел качения	<i>Для однорядных подшипников – общее число тел качения, для многорядных – число тел качения в одном ряду.</i>
Число рядов тел качения	<i>Число рядов тел качения в подшипнике.</i>

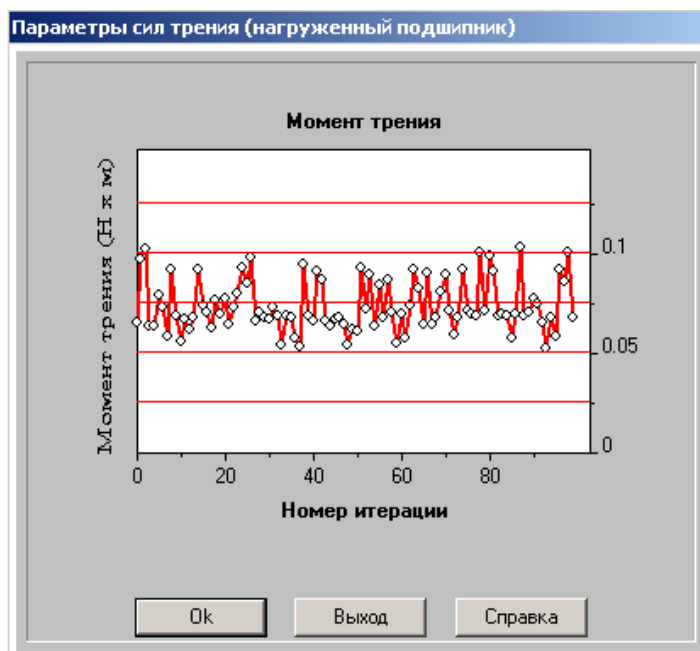


Рисунок 3.7 Распределение значений момента трения. График значений момента трения (радиально-упорный шариковый подшипник). По оси Y отложены значения момента трения, по оси X - номер позиции центра подшипника, которому соответствует значение момента трения.



Точность

Для того, чтобы охарактеризовать точность подшипника используются два параметра (см. таблицу 3.4).

Таблица 3.4

Радиальные биения дорожки качения внешнего кольца подшипника	<i>Разность между максимальной и минимальной толщиной внешнего кольца подшипника.</i>
Радиальные биения дорожки качения внутреннего кольца подшипника	<i>Разность между максимальной и минимальной толщиной внутреннего кольца подшипника.</i>

Условия работы

Для описания условий, в которых должен работать подшипник в **APM Bear**, используются следующие параметры.

Таблица 3.5

Радиальная сила	<i>Составляющая суммарной нагрузки, которая направлена вдоль радиуса к центру вращения. Единицы измерения – ньютоны (Н).</i>
Осевая сила	<i>Составляющая суммарной нагрузки, которая параллельна оси вращения. Единицы измерения – ньютоны (Н).</i>
Радиальная сила на нагруженной опоре	<i>Радиальная сила, действующая на нагруженный подшипник. Этот параметр используется только для радиально-упорных подшипников. Единицы измерения – ньютоны (Н).</i>
Радиальная сила на ненагруженной опоре	<i>Радиальная сила, действующая на ненагруженный подшипник. Этот параметр используется только для радиально-упорных подшипников. Единицы измерения – ньютоны (Н).</i>
Осевая сила преднатяга	<i>Осевая сила, обеспечивающая преднатяг; прикладывается путем относительного осевого смещения внутреннего и внешнего колец подшипника. Единицы измерения – ньютоны (Н).</i>



Коэффициент динамичности нагрузки	<i>Коэффициент, учитывающий степень ударности нагрузки, приложенной к подшипнику; зависит от характера внешнего воздействия. Безразмерный параметр.</i>
Радиальное смещение преднатяга	<i>Радиальное смещение колец подшипника, которое достигается в процессе сборки подшипникового узла. Единица измерения – миллиметры.</i>
Скорость вращения	<i>Количество полных оборотов подшипника за единицу времени. Единица измерения – об/мин.</i>

Нагруженные и ненагруженные подшипники

В **APM Bear** радиально-упорные подшипники рассматриваются установленными в паре.

*Подшипник, нагрузка которого увеличивается под действием внешней осевой силы, называется **нагруженным**.*

*Подшипник, нагрузка которого уменьшается под действием внешней осевой силы называется **ненагруженным**.*

Интерфейс APM Bear

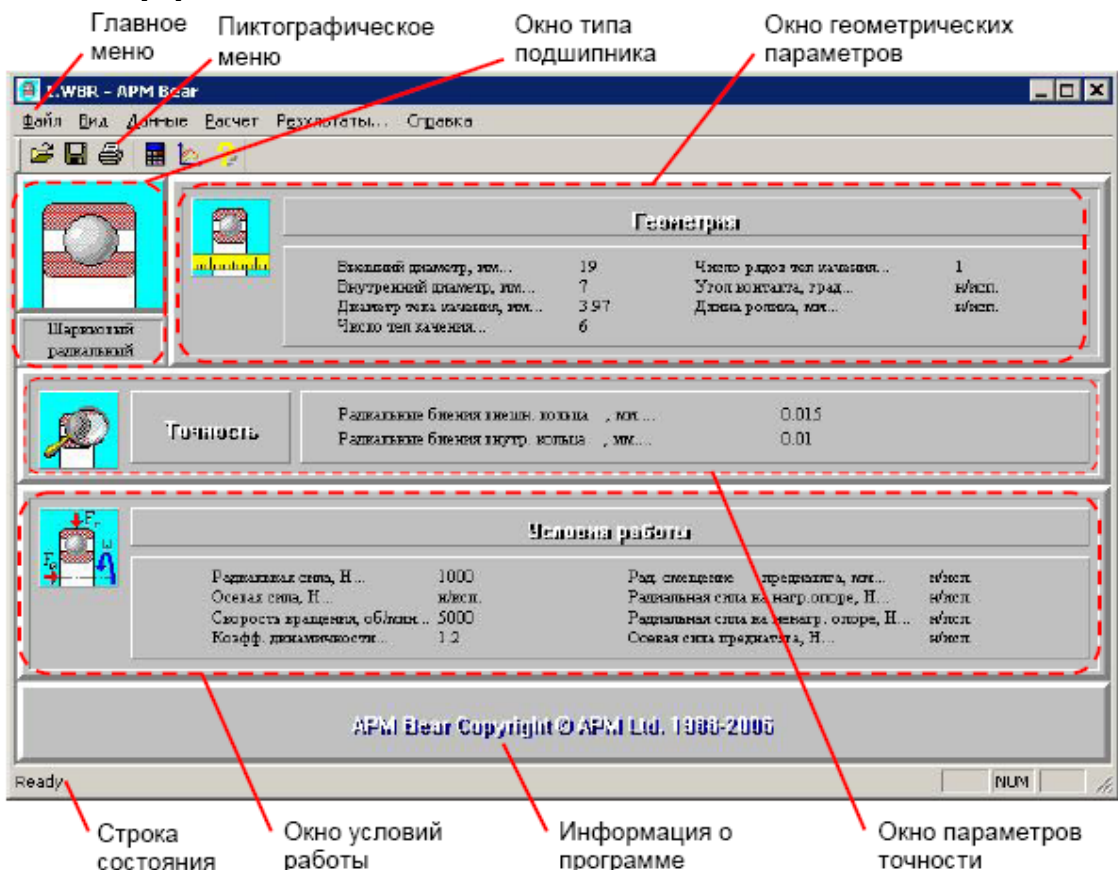


Рисунок 3.8 Общий вид системы **APM Bear**

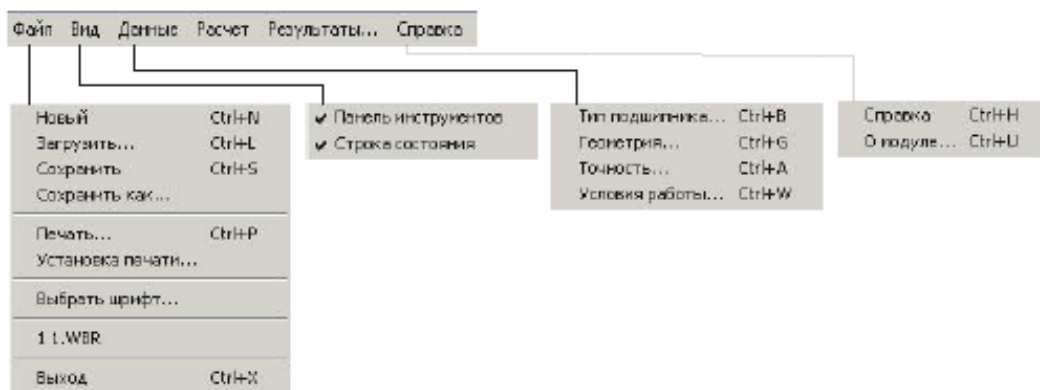


Рисунок 3.9 Структура главного меню **APM Bear**

Таблица 3.6 Справочник команд **APM Bear**

Команда	Описание команды
Файл Новый (Ctrl+ N)	Создание нового расчета подшипника
Файл Загрузить... (Ctrl+L)	Открытие файла <i>APM Bear</i> (*.wbr).
Файл Сохранить (Ctrl+S)	Сохранение исходных данных и результатов расчета в файл <i>APM Bear</i> (*.wbr).
Файл Сохранить как...	Сохранение исходных данных и результатов расчета с запросом имени в файл (*.wbr).
Файл Печать...(Ctrl+P)	Вызов диалогового окна выбора исходных данных и результатов расчета для вывода на принтер или печати в текстовый файл отчета (*.rtf).
Файл Установки печати...	Вызов стандартного диалогового окна настройки печати.
Файл Выбрать шрифт	Вызов стандартного диалогового окна выбора параметров шрифта информационных окон.
Файл Последние файлы	Открытие последнего сохраненного файла. Имя команды соответствует имени файла.
Файл Выход (Ctrl+X)	Выход из системы <i>APM Bear</i> .
Вид <input checked="" type="checkbox"/> Панель инструментов	Вкл./выкл. панели инструментов с кнопками ускоренного выбора команд
Вид <input checked="" type="checkbox"/> Строка состояния	Вкл./выкл. строки состояния для отображения текущей информации
Данные Тип подшипника (Ctrl+B)	Вызов диалогового окна выбора типа подшипника.
Данные Геометрия... (Ctrl+G)	Вызов диалогового окна ввода геометрических параметров.
Данные Точность... (Ctrl+G)	Вызов диалогового окна ввода параметров точности.
Данные Условия работы... (Ctrl+G)	Вызов диалогового окна ввода условий работы.
Расчет (Alt+H)	Запуск расчета подшипника.
Результаты... (Alt+T)	Вызов окна просмотра результатов.
Справка Содержание (Ctrl+H)	Вызов содержания справки по <i>APM Bear</i>
Справка О модуле... (Ctrl+U)	Вывод окна с информацией об установленной версии <i>APM Bear</i> , разработчике и обладателе лицензии на программу.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научиться рассчитывать подшипники качения в системе **APM Bear**.