



APM Bear

Руководство пользователя

APM Bear

Система расчета подшипников качения

Версия 17

Руководство пользователя

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

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

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

Отпечатано в России.

Содержание

| | |
|--|-----------|
| Содержание | 3 |
| Введение | 4 |
| Основные положения..... | 4 |
| Требования к аппаратному и программному обеспечению | 4 |
| Краткий путеводитель по руководству..... | 4 |
| Глава 1. Задачи, исходные данные и результаты | 5 |
| Подход к расчету подшипников в APM Bear | 5 |
| Типы подшипников | 5 |
| Исходные данные..... | 6 |
| <i>Геометрия</i> | 6 |
| <i>Точность изготовления</i> | 7 |
| <i>Условия работы</i> | 7 |
| Результаты расчета | 9 |
| <i>Долговечность, ч</i> | 9 |
| <i>Максимальные контактные напряжения, МПа</i> | 9 |
| <i>Тепловыделение в подшипнике, Дж/ч</i> | 9 |
| <i>Перемещения и жесткость, мкм</i> | 9 |
| <i>Момент трения, Н*м</i> | 12 |
| <i>Потери мощности, Вт</i> | 12 |
| <i>Силы, действующие на тела качения, Н</i> | 12 |
| Глава 2. Интерфейс APM Bear | 14 |
| Общий вид | 14 |
| Информационные окна | 14 |
| Справочник команд | 15 |
| Глава 3. Как работать с системой APM Bear | 17 |
| Начало работы | 17 |
| Ввод исходных данных | 17 |
| <i>Выбор типа подшипника</i> | 17 |
| <i>Ввод геометрических параметров</i> | 17 |
| <i>Ввод параметров точности</i> | 18 |
| <i>Ввод условий работы</i> | 19 |
| Выполнение расчета | 20 |
| Просмотр результатов | 21 |
| Печать исходных данных и результатов расчета..... | 23 |
| Сохранение исходных данных и результатов..... | 24 |
| Выход | 24 |
| Глава 4. База данных | 25 |
| Структура базы данных | 25 |
| Использование базы данных для ввода исходных данных..... | 26 |
| Редактирование базы данных..... | 26 |
| Глава 5. APM Bear в вопросах и ответах | 27 |

Введение

Основные положения

APM Bear представляет собой систему расчета параметров неидеальных подшипников качения, разработанную в НТЦ «Автоматизированное проектирование машин». Название системы происходит от англ. «bearing» (подшипник). Неидеальный подшипник – подшипник качения, геометрические размеры которого имеют отклонения от номинальных значений.

С помощью **APM Bear** могут быть рассчитаны следующие характеристики подшипника:

- 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 шариковых и роликовых подшипников восьми типов:

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

Требования к аппаратному и программному обеспечению

Система **APM Bear** предназначена 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 Bear**, рассчитываемых параметрах и типах подшипников, а также системные требования к аппаратному и программному обеспечению.

Глава 1. Задачи, исходные данные и результаты содержит описание задач, которые могут быть решены с помощью **APM Bear**. Приводится точное определение всех исходных данных и рассчитываемых параметров. Рассматриваются формы представления результатов расчетов.

Глава 2. Интерфейс APM Bear 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 Bear содержит полное руководство по работе с системой. В главе приводится последовательное описание типичного сеанса работы с **APM Bear**. Показано как выполняются основные операции - ввод исходных данных, выполнение расчета, просмотр и сохранение результатов, печать исходных данных и результатов расчета, генерация текстового файла отчета.

Глава 4. База данных приводит описание работы с базой данных подшипников. Представлена структура базы данных, ее использование и редактирование.

Глава 5. APM Bear в вопросах и ответах включает ответы на вопросы, которые могут возникнуть при работе с системой.

Глава 1. Задачи, исходные данные и результаты

Подход к расчету подшипников в APM 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 большое значение и, 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 НТЦ «Автоматизированное Проектирование Машин» разработана общая теория контакта неидеальных поверхностей. В этой теории существенно учитывается статистическая природа процессов, имеющих место при контакте неидеальных поверхностей. Разработаны эффективные методы определения контактной жесткости и перемещений. Надежность этих методов подтверждена данными экспериментальных исследований.

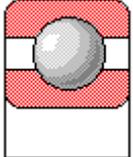
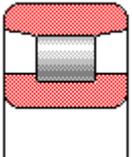
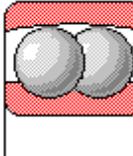
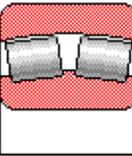
Важный момент, который нужно иметь в виду при расчете подшипников состоит в том, что реальный контакт между телами качения и дорожками качения имеет статистический характер. Следовательно, характеристики подшипника, такие как жесткость и перемещения, можно определить только в статистическом смысле –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

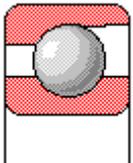
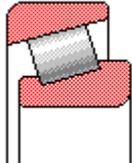
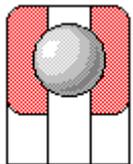
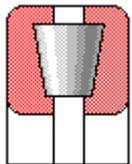
В *APM Bear* рассчитывается выборочная реализация контактных перемещений подшипника, состоящая из 100 элементов. Используя ее, Вы можете определить средние значения перемещений и жесткости, их дисперсии, максимальные, минимальные и наиболее частые значения, форму полей рассеяния и т.д. Т.е. параметры, 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.

Типы подшипников

С помощью *APM Bear* можно рассчитать шариковые и роликовые подшипники восьми наиболее часто используемых типов (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Типы подшипников, рассчитываемые APM Bear.

| 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 силу | Радиально-упорный роликовый подшипник |  | Роликовый подшипник, работающий в условиях комбинированной нагрузки, включающей осевую и радиальную силу |
| Упорный шариковый подшипник |  | Шариковый подшипник, работающий в условиях чисто осевой нагрузки. | Упорный роликовый подшипник |  | Роликовый подшипник, работающий в условиях чисто осевой нагрузки. |

Исходные данные

Геометрия...

Для задания геометрии подшипника используются следующие параметры (таблица 1.2). Параметры могут быть введены автоматически из базы данных для стандартных подшипников качения. Для облегчения выбора в базе данных будут отображены только подшипники выбранного ранее типа. Диалог ручного ввода позволяет вводить параметры подшипников, которые не включены в базу данных.

Таблица 1.2 – Геометрические данные.

| Наименование параметра | Определение параметра | Типы подшипников |
|--------------------------|---|--|
| Внешний диаметр, мм. | Диаметр внешнего кольца подшипника, номинальное значение которого совпадает с диаметром отверстия. | Для всех типов подшипников. |
| Внутренний диаметр, мм. | Диаметр внутреннего кольца подшипника, номинальное значение которого совпадает с диаметром вала. | Для всех типов подшипников. |
| Диаметр тел качения, мм. | Номинальное значение диаметра тела качения. | Для всех типов подшипников. |
| Число тел качения, [-]. | Для однорядных подшипников – общее число тел качения, для многорядных - число тел качения в одном ряду. | Для всех типов подшипников. |
| Число рядов, [-]. | Число рядов тел качения в подшипнике (1 или 2). | Для радиальных (одиночных) и упорных подшипников |
| Угол контакта, град. | Угол между направлением действия нагрузки и плоскостью, нормальной к оси подшипника. | Для сферических и радиально-упорных подшипников, а также для упорного роликового подшипника. |
| Длина ролика, мм. | Теоретическое значение длины зоны контакта между роликом и дорожкой качения. | Только для роликовых подшипников. |
| Ширина подшипника, мм. | Ширина подшипника установочная. | Для всех типов подшипников. |

Для того, чтобы избежать ошибок при вводе данных, в программе реализована проверка на допустимый интервал. Ширина допустимых интервалов достаточно велика для того, чтобы включать все случаи, представляющие практический интерес. Для параметров геометрии эти интервалы имеют следующие значения (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Допустимые интервалы для параметров геометрии.

| Наименование параметра | Минимальное допустимое значение | Максимальное допустимое значение |
|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Внешний диаметр, мм | > 0 | 2000 |
| Внутренний диаметр, мм | > 0 | 2000 |
| Диаметр тел качения, мм | > 0 | 300 |
| Число тел качения | > 0 | 200 |

| | | |
|-------------------------|-----------|-----------|
| Число рядов тел качения | > 0 | 10 |
| Угол контакта, град | 0 | 90 |
| Длина ролика, мм | > 0 | 700 |
| Ширина подшипника, мм. | Не задано | Не задано |

В случае ввода значения вне допустимого интервала система выдаст сообщение об ошибке (рис. 1.1).

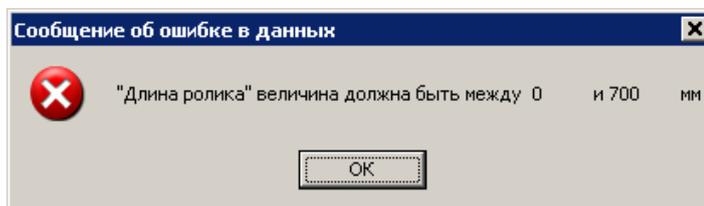


Рис. 1.1 Сообщение об ошибке.

Точность изготовления

Для того, чтобы охарактеризовать точность всех типов подшипников используются биения колец подшипников (таблица 1.4). Задать биение колец можно, используя базу данных отклонений в зависимости от класса точности и номинального размера (диаметра кольца). Допустимые интервалы для параметров точности приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.4 – Данные точности изготовления подшипника.

| Наименование параметра | Определение параметра |
|-------------------------------|---|
| Биение внешнего кольца, мм | Разность между максимальной и минимальной толщиной внешнего кольца подшипника. |
| Биение внутреннего кольца, мм | Разность между максимальной и минимальной толщиной внутреннего кольца подшипника. |

Таблица 1.5 – Допустимые интервалы для параметров точности

| Наименование параметра | Минимальное допустимое значение | Максимальное допустимое значение |
|--|---------------------------------|----------------------------------|
| Радиальные биения дорожки качения внешнего кольца, мм | > 0 | 10.0 |
| Радиальные биения дорожки качения внутреннего кольца, мм | > 0 | 10.0 |

Условия работы...

Для описания условий работы подшипника в APM Bear используются следующие параметры (таблица 1.6). Допустимые значения для параметров, характеризующих условия работы подшипника перечислены в таблице 1.7.

Таблица 1.6 – Данные условий работы.

| Наименование параметра | Определение параметра | Типы подшипников |
|--|--|-----------------------------------|
| Тип установки, «О» или «Х». | Тип установки радиально-упорных подшипников на валу (рис. 1.2-1.3). | Для радиально-упорных подшипников |
| Радиальная сила, Н. | Составляющая суммарной нагрузки, которая направлена вдоль радиуса к центру вращения. | Кроме упорных подшипников. |
| Осевая сила, Н. | Составляющая суммарной нагрузки, которая параллельна оси вращения. | Кроме радиальных подшипников. |
| Радиальная сила на нагруженной опоре, Н. | Радиальная сила, действующая на нагруженный подшипник (рис. 1.4). | Для радиально-упорных подшипников |
| Радиальная сила на ненагруженной опоре, Н. | Радиальная сила, действующая на ненагруженный подшипник (рис. 1.4). | Для радиально-упорных подшипников |
| Осевая сила преднатяга, Н. | Осевая сила, обеспечивающая преднатяг; прикладывается путем относительного осевого смещения внутреннего и внешнего колец подшипника. | Для радиально-упорных подшипников |

| | | |
|--|---|-----------------------------|
| Коэффициент динамичности нагрузки, [-]. | Коэффициент, учитывающий степень ударности нагрузки, приложенной к подшипнику; зависит от характера внешнего воздействия. | Для всех типов подшипников. |
| Смещение радиального преднатяга, мм | Радиальное смещение колец подшипника, которое достигается в процессе сборки подшипникового узла. | Для сферических подшипников |
| Скорость вращения, об/мин. | Количество полных оборотов подшипника за единицу времени. | Для всех типов подшипников. |
| Тип нагрузки, постоянная или переменная. | Характеризует интенсивность действия нагрузки во времени. | Для всех типов подшипников. |

Таблица 1.7 – Допустимые значения для параметров условия работы.

| Наименование параметра | Минимальное допустимое значение | Максимальное допустимое значение |
|---|---------------------------------|----------------------------------|
| Радиальная сила, Н | 0 | 10000000 |
| Осевая сила, Н | 0 | 10000000 |
| Скорость вращения, об/мин | 0 | 100000 |
| Коэффициент динамичности | 1 | 5.0 |
| Радиальное смещение преднатяга, мм | 0 | 10.0 |
| Радиальная сила на нагруженной опоре, Н | 0 | 10000000 |
| Радиальная сила на ненагруженной опоре, Н | 0 | 10000000 |
| Осевая сила преднатяга, Н | 0 | 100000 |

В APM Bear радиально-упорные подшипники рассматриваются установленными в паре с зеркальной установкой с обязательной осевой затяжкой (рис. 1.2-1.3). Затяжка внутренних ободов, когда оси тел качения скрещиваются между подшипниками (схема «О»), обеспечивает большую жесткость узла.

В зависимости от схемы установки подшипники по-разному реагируют на тепловые деформации системы. Если корпус при работе нагревается больше, чем вал, или выполнен из материала с более высоким коэффициентом линейного расширения, то с схеме «О» осевой натяг увеличивается, а в схеме «Х» – уменьшается. Если же температура вала больше температуры корпуса, то с схеме «О» натяг ослабевает, а в схеме «Х» – увеличивается.

Подшипник, нагрузка которого увеличивается под действием внешней осевой силы, называется нагруженным. Подшипник, нагрузка которого уменьшается под действием внешней осевой силы, называется ненагруженным (рис. 1.4).

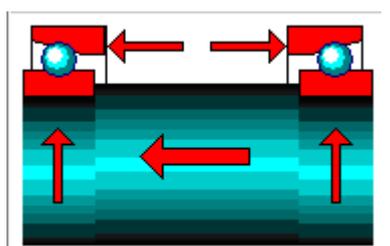


Рис. 1.2 Схема установки «О».

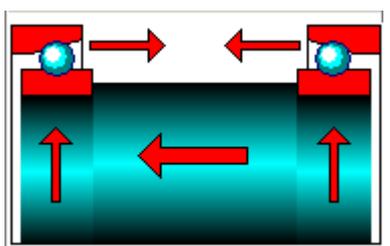


Рис. 1.3 Схема установки «Х».

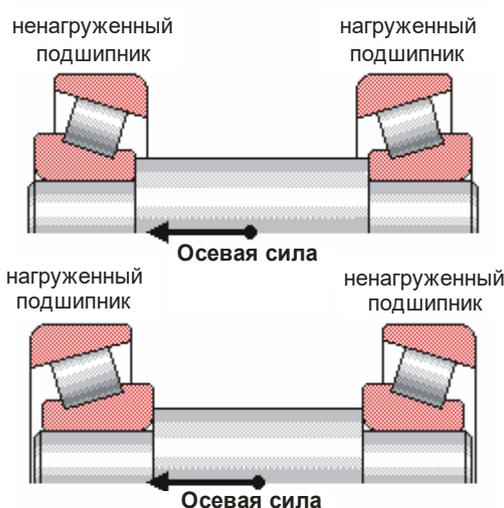


Рис. 1.4 Нагруженный и ненагруженный радиально-упорные подшипники.

После выбора переменной нагрузки активной становится кнопка «Задать переменную нагрузку», нажатие которой вызывает меню (рис. 1.5) 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. 1.6.

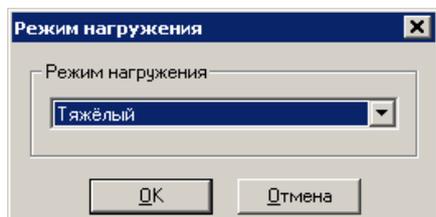


Рис. 1.5 Диалоговое окно выбора режима нагружения.

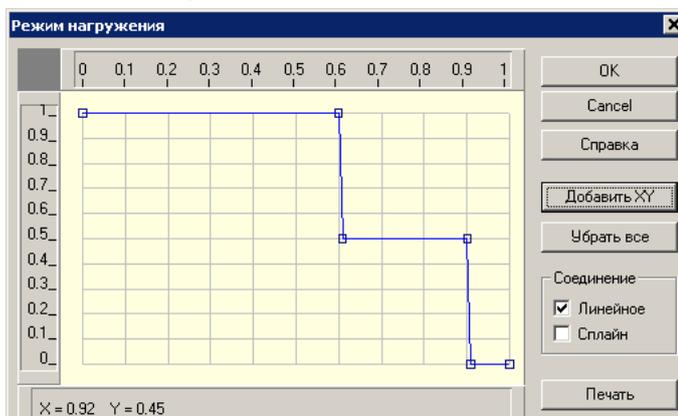


Рис. 1.6 Редактор задания режима нагружения.

Координата $X = 0...1$ редактора режима нагружения соответствует относительному времени работы подшипника. Координата $Y = 0...1$ 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.

Результаты расчета

С помощью *APM Bear* можно рассчитать следующие параметры:

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

Основные результаты представлены в поле «Резюме» диалогового окна «Результаты».

Долговечность, ч

Под **долговечностью** понимается период времени, в течение которого 90 подшипников из 100 не будут иметь усталостных разрушений. В диалоговом окне «Результаты» для расчета долговечности вероятность безотказной работы по умолчанию принимается равной 90%.

Если для подшипника требуется большая надежность, то расчетное время работы уменьшится. Время работы при этом определяется численными методами теории надежности. Для просмотра графика долговечности (час.) от вероятности безотказной работы (%) служит команда **Результаты | Долговечность...**

Максимальные контактные напряжения, МПа

Максимальное контактное напряжение представляет собой напряжение в контакте наиболее нагруженного тела качения или его части. В *APM Bear* определяется наибольшее контактное напряжение, действующее в подшипнике.

Тепловыделение в подшипнике, Дж/ч

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

Перемещения и жесткость, мкм

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. В общем случае суммарное перемещение подшипника может иметь до трех составляющих (рис. 1.7) – 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.

Биения. 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.

Расчет перемещений представляет собой ядро *APM Bear*. Пользователю системы дается уникальная возможность определить (и даже, как мы увидим ниже, 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). В случае радиально-упорных подшипников, которые устанавливаются парами, перемещения рассчитываются для каждого подшипника отдельно (нагруженного и ненагруженного).

Результаты расчета перемещений могут быть представлены в виде: таблицы со статическими характеристиками (среднее, дисперсия, среднеквадратическое отклонение), гистограммы, поля положений центра подшипника или анимации. Математическое ожидание определяет положение центра распределения. Корень квадратный из дисперсии называется разбросом или средним квадратичным отклонением. Каждая компонента суммарного перемещения (осевая, радиальная и боковая) показывается отдельно.

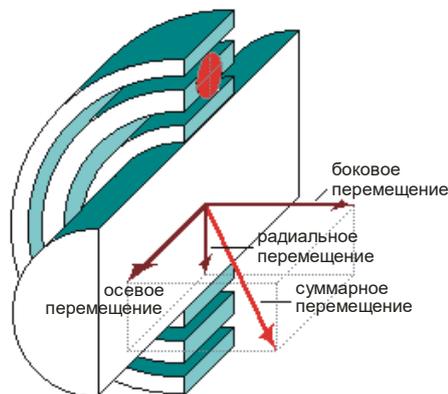


Рис. 1.7 Компоненты перемещения в подшипнике.

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.

На рисунке 1.8 приведен пример таблицы шарикового радиально-упорного подшипника.

Используя этот массив, можно оценить максимальные и минимальные перемещения, определить центр и разброс распределения. Основываясь на перемещениях легко рассчитать жесткость и податливость подшипника. Таким образом, Вы получаете исчерпывающее описание движения подшипника.

| Радиальные биения (нагруженный подшипник) | | | |
|---|--------|--------|--------|
| Возможные положения центра [мкм] | | | |
| 24.381 | 27.381 | 27.381 | 27.381 |
| 28.381 | 30.381 | 28.381 | 25.381 |
| 25.381 | 28.381 | 27.381 | 27.381 |
| 30.381 | 29.381 | 23.381 | 24.381 |
| 25.381 | 25.381 | 25.381 | 26.381 |
| 24.381 | 24.381 | 29.381 | 29.381 |
| 27.381 | 27.381 | 27.381 | 26.381 |
| 26.381 | 24.381 | 27.381 | 27.381 |
| Мат. ожидание | 27.151 | | |
| Дисперсия: | 1.936 | | |
| Среднеквадр. откл.: | 1.385 | | |

Рис. 1.8 Массив радиальных биений подшипника.

2) **В виде гистограммы.** Гистограмма используется для того, чтобы продемонстрировать особенности распределения значений перемещений. Промежуток между наибольшим и наименьшим значениями перемещений делится на двадцать равных интервалов, для каждого интервала рассчитывается доля перемещений, попадающих в его границы (частота).

На рисунке 1.9 показана гистограмма радиальных перемещений шарикового радиально-упорного подшипника.

В верхней части окна показано минимальное, максимальное и среднее значение распределения.

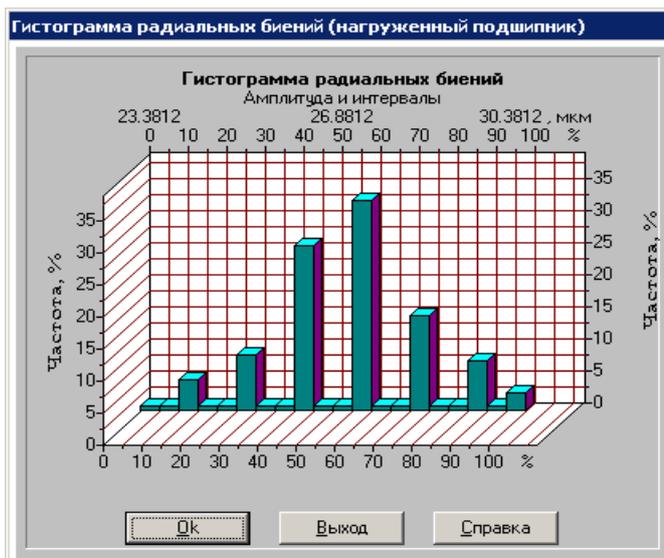


Рис. 1.9 Пример гистограммы радиальных биений.

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 1.10 показано двумерное поле биений шарикового радиального подшипника. Подобные графики в APM Bear строятся для подшипников, перемещения которых характеризуются двумя компонентами - радиальной и боковой. К этому типу относятся радиальные и сферические подшипники. Радиальные смещения откладываются вдоль вертикальной оси, боковые - вдоль горизонтальной. Точки на графике обозначают положения центра подшипника.

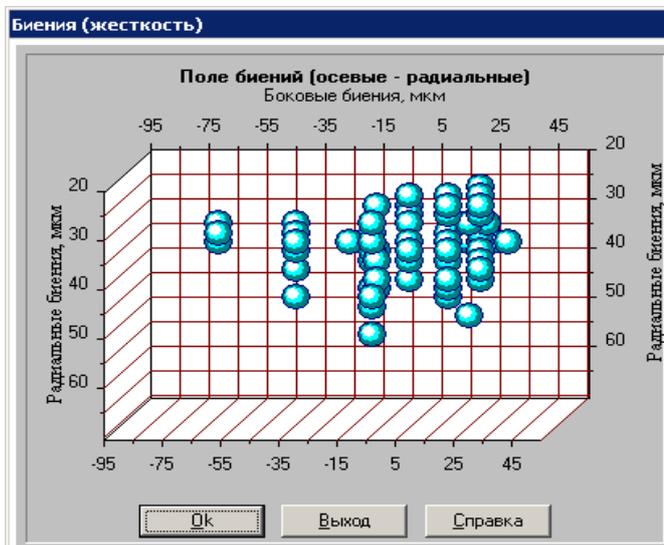


Рис. 1.10 Пример двумерного распределения перемещений для радиального шарикового подшипника.

На рисунке 1.11 показано трехмерное поле биений шарикового радиально-упорного 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.

Используя кнопки «Точки» и «Проекция» можно включать/выключать отображение соответствующих компонентов на графике.

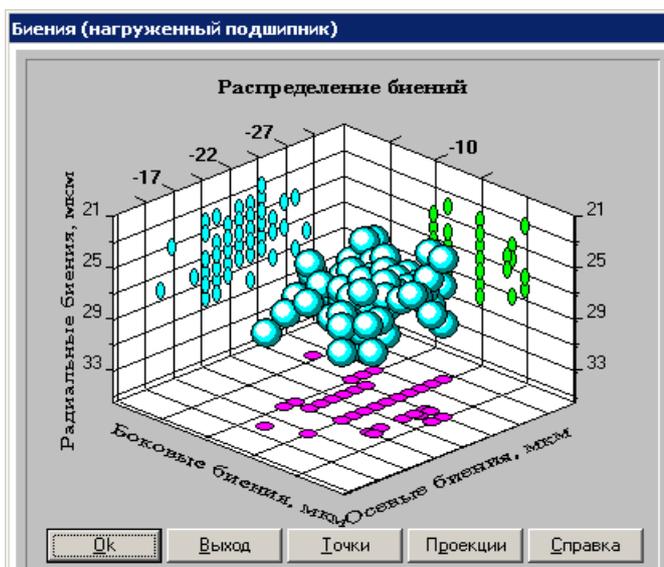


Рис. 1.11 Пример пространственного поля положений центра радиально-упорного подшипника.

4) **В виде анимации.** Для того, чтобы дать общее представление о реальном характере движения подшипника используется анимация. Для этого используется все тот же массив из 100 положений центра подшипника.

На рисунке 1.12 показан фрагмент анимации биений шарикового 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 перекося вала.



Рис. 1.12 Фрагмент анимации движения для шарикового радиально-упорного подшипника.

Момент трения, Н*м

Момент трения можно определить как момент, который должен быть приложен к подшипнику, чтобы компенсировать действие сил трения. В *APM Bear* рассчитывается (моделируется) массив из 100 значений момента трения (соответствующий массиву перемещений).

Значения сил трения могут быть представлены в виде: таблицы со статистическими характеристиками (среднее, дисперсия, среднеквадратическое отклонение), гистограммы или графика. Среднее значение момента трения показывается в поле «Резюме» диалогового окна «Результаты».

Пример графика момента трения представлен на рисунке 1.13. По оси Y отложены значения момента трения, по оси X - номер позиции центра подшипника, которому соответствует значение момента трения.

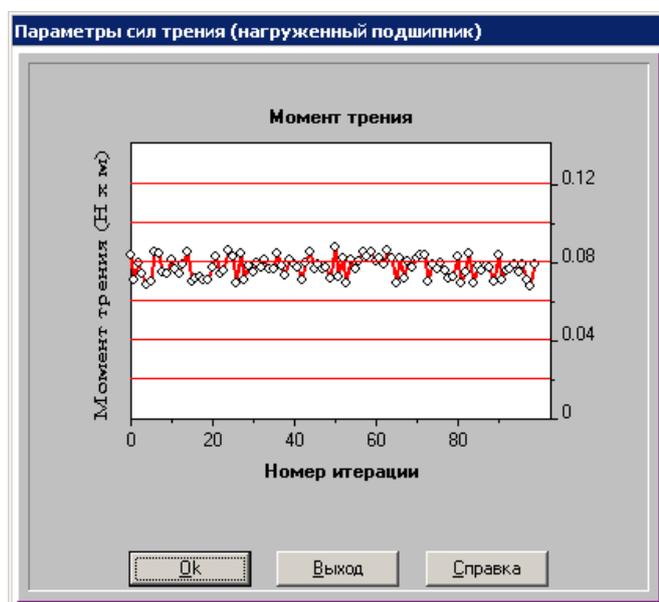


Рис. 1.13 Распределение значений момента трения

Потери мощности, Вт

Потери мощности представляют собой мощность, рассеянную в подшипнике в результате действия сил трения в контакте между телами качения и дорожками качения. В *APM Bear* рассчитывается (моделируется) массив из 100 значений потерь мощности (соответствующий массиву перемещений).

Значения сил трения могут быть представлены в виде: таблицы со статистическими характеристиками (среднее, дисперсия, среднеквадратическое отклонение), гистограммы, графика.

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

Силы, действующие на тела качения, Н

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

Значения сил, действующих на тела качения, могут быть показаны в виде эпюры и графика распределения сил на тела качения для каждой из итераций (рис. 1.14).

Используя клавишу «Следующий» Вы можете перейти к следующему виртуальному положению центра подшипника и таким образом проследить, как изменяются нормальные силы в процессе вращения подшипника. В примере, приведенном на рисунке, тела качения нагружены неодинаково. Чтобы исправить положение можно, например, использовать более точный подшипник или изменить величину преднатяга.

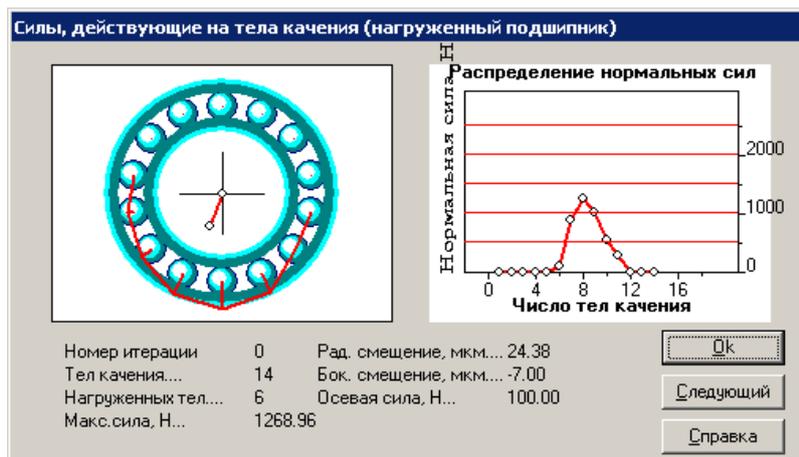


Рис. 1.14 Силы, действующие на тела качения.

Эпюра нормальных сил располагается в левой верхней части окна. Она включает в себя упрощенную схему подшипника. В центре подшипника показан вектор смещения (для подшипников всех типов, кроме упорных подшипников). Из центра каждого тела качения в радиальном направлении откладывается сила, действующая на него. Если число тел качения слишком велико, они могут не показываться. Небольшое замечание о направлении, в котором откладываются силы на эпюре. Для подшипников всех типов используется одно и то же направление – по радиусу. В действительности это справедливо только для радиальных и сферических подшипников, но для простоты мы использовали радиальное направление и для подшипников других типов.

В правой верхней части окна силы, действующие на тела качения показаны в виде графика. Амплитуда силы отложена вдоль оси ординат, вдоль оси абсцисс откладывается порядковый номер тела качения. Самое верхнее тело качения имеет нулевой номер, номера возрастают по часовой стрелке. Если число тел качения относительно невелико, на графике показываются точки, по которым он строился. В нижней части окна приводится таблица со справочными параметрами.

Для закрытия окна нажмите кнопку «Ok».

Глава 2. Интерфейс APM Bear

Общий вид

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

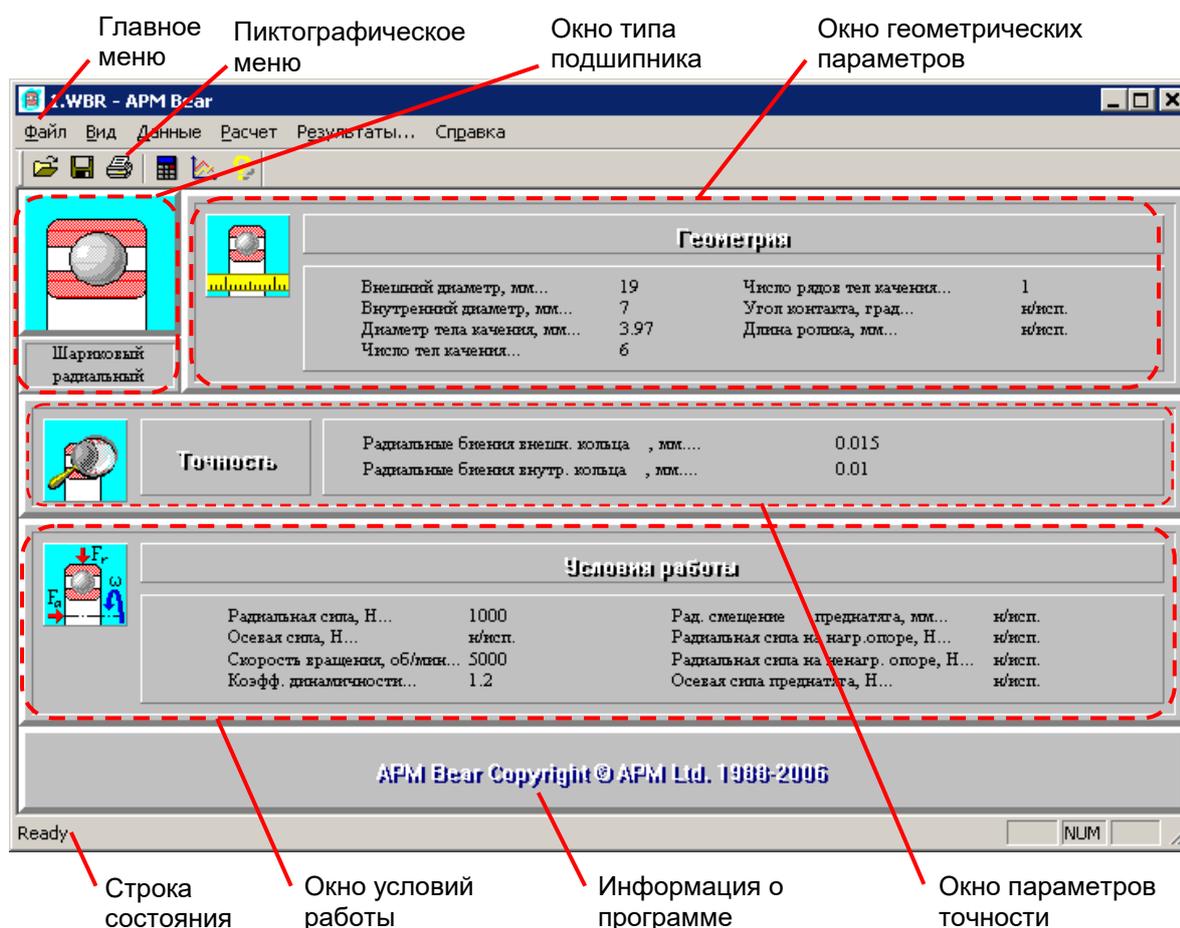


Рис. 2.1 Общий вид системы APM Bear.

Информационные окна

Информационные окна используются для того, чтобы отобразить исходные данные и состояние расчета. Эти окна присутствуют на экране постоянно: *Тип подшипника*, *Геометрические параметры*, *Параметры точности*, *Условия работы*, *Информация о программе*.

Окно *Тип подшипника* расположено в левой верхней части экрана (рис. 2.1). В этом окне отображается пиктограмма подшипника, который рассчитывается в данный момент. Если подшипник не выбран, то центр окна занимает надпись: «Type not selected» (Тип не выбран).

Окна *Геометрические параметры*, *Параметры точности*, *Условия работы* отображают параметры соответствующих значений. Если какой-либо параметр не используется в расчете выбранного типа подшипника, то отображается надпись «н/исп.». Если значение какого-либо параметра еще не задано, то отображается соответствующая надпись.

Окно *Информация о программе* показывает версию программы и лицензионную информацию.

Справочник команд

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

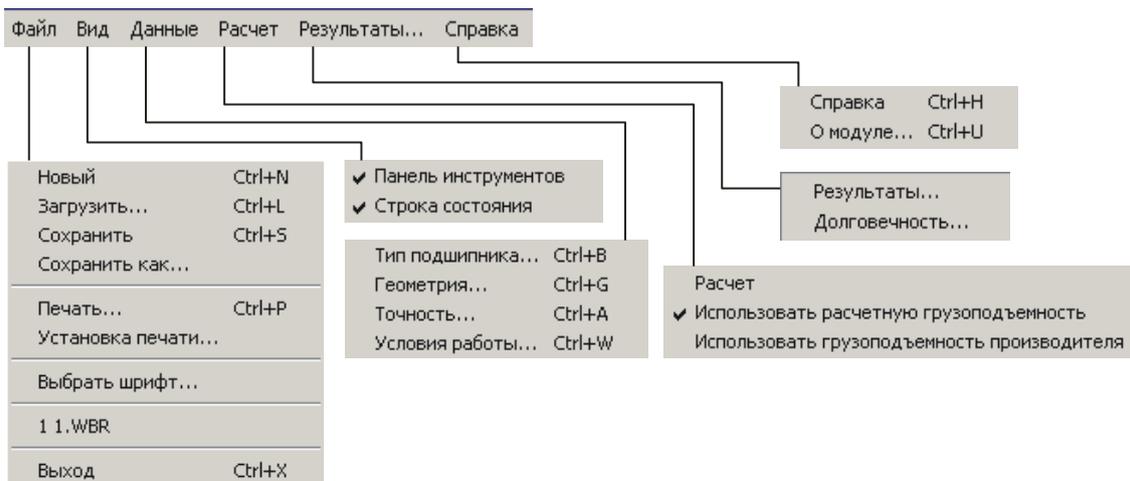


Рис. 2.2 Структура главного меню APM Bear.

Таблица 2.1 – Справочник команд APM Bear

| Команда | Описание команды |
|---|--|
| Файл Новый (Ctrl+ N) | Создание нового расчета подшипника |
| Файл Загрузить... (Ctrl+L) | Открытие файла APM Bear (*.wbr). |
| Файл Сохранить (Ctrl+S) | Сохранение исходных данных и результатов расчета в файл APM Bear (*.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 APM Bear. |
| 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 Расчет | Запуск расчета подшипника. |
| Расчет Использовать расчетную грузоподъемность | Выбор метода определения грузоподъемности: расчетная или данные производителя. Данные производителя можно использовать только для стандартных подшипников из базы данных. Для не стандартных подшипников используется теория неидеального контакта независимо от выбора. |
| Расчет Использовать грузоподъемность производителя | |
| Результаты Результаты... | Вызов окна просмотра результатов. |
| Результаты Долговечность... | Вызов окна просмотра графика долговечности (час.) от вероятности безотказной работы (%). |

| | |
|---|---|
|  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. |

Глава 3. Как работать с системой APM Bear

Начало работы

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

Чтобы рассчитать подшипник качения с помощью *APM Bear* необходимо выполнить следующие действия:

1. Ввод исходных данных
 - 1.1. Выбор типа подшипника.
 - 1.2. Ввод геометрических параметров.
 - 1.3. Ввод параметров точности.
 - 1.4. Ввод условий работы.
2. Выполнение расчета.
3. Просмотр результатов.
4. Печать исходных данных и результатов расчета.
5. Сохранение исходных данных и результатов расчета.

Для получения справочной информации по работе с системой воспользуйтесь командой **Справка | Содержание**. В появившемся оглавлении справочной системы выберете 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, а также ввод геометрических параметров, параметров точности и условий работы опоры. Для ввода исходных данных служат команды меню **Данные**.

Выбор типа подшипника

Выбрать тип подшипника можно двумя способами:

- выбрать команду меню **Данные | Тип подшипника**;
- нажать комбинацию клавиш **Ctrl + B**.

В появившемся диалоговом окне (рис. 3.1) выберете тип подшипника и нажмите «Ок». Проконтролировать выбор можно по изображению подшипника в окне *Тип подшипника* (рис. 2.1).

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

Далее рассмотрим расчет подшипника на примере роликового радиально-упорного подшипника.

Ввод геометрических параметров

Вызвать диалоговое окно ввода геометрических параметров подшипника (рис. 3.2) можно двумя способами:

- выбрать команду меню **Данные | Геометрия...**;
- нажать комбинацию клавиш **Ctrl + G**.

Число параметров, которые должны быть введены, зависит от типа подшипника. Учитывая, что практически все используемые подшипники качения являются стандартными, предусмотрен выбор геометрических параметров из базы данных. Если интересующего подшипника в базе данных по каким-либо причинам не окажется, Вы можете ввести геометрические параметры с клавиатуры, что существенно расширяет спектр рассчитываемых опор качения. Параметр «Ширина подшипника» носит справочный характер и в расчетах не участвует.

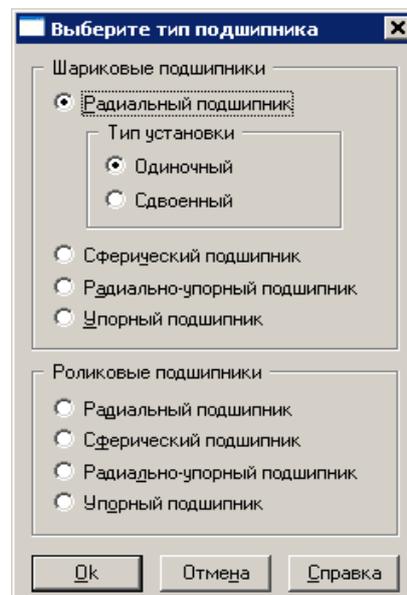


Рис. 3.1 Диалоговое окно выбора типа подшипника.

После нажатия кнопки «База данных», на экране появится диалоговое окно (рис. 3.3), с его помощью которого Вы получаете доступ к встроенной базе данных. База данных соответствует выбранному ранее типу подшипника. В верхней части диалогового окна расположены список Подтип.

Центральная часть диалогового окна содержит таблицу параметров подшипников, относящихся к выбранному подтипу. В верхней части таблицы имеется заголовок, где даны названия параметров и единицы измерения. В таблице представлены как геометрические параметры, так и параметры статической и динамической грузоподъемности, что позволяет использовать базу данных в качестве справочника.

Отметьте интересующий подшипник и нажмите кнопку «Выбрать». Данные из помеченной строки будут скопированы в соответствующие поля ввода диалогового окна Геометрия.

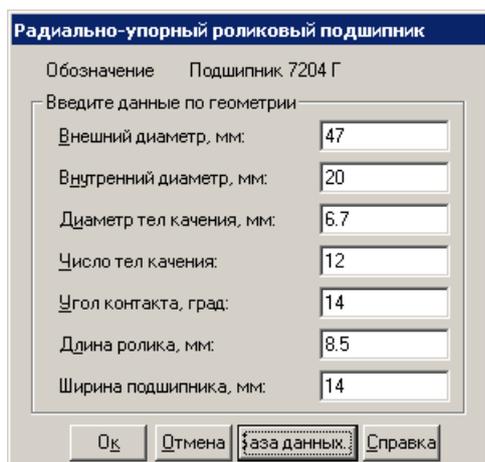


Рис. 3.2 Диалоговое окно ввода геометрических параметров.

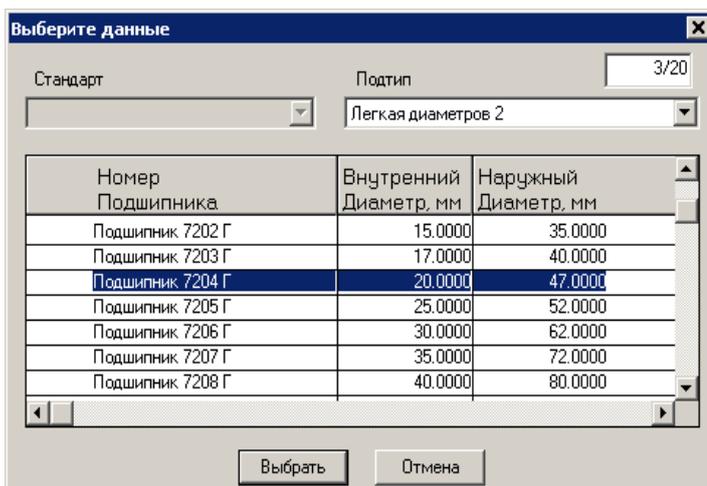


Рис. 3.3 Диалоговое окно выбора геометрических параметров подшипника из базы данных.

Таблица 3.1 – Геометрические параметры различных типов подшипников.

| | | |
|--|---|--|
| Радиальный шариковый подшипник 1. Внешний диаметр, мм 2. Внутренний диаметр, мм 3. Диаметр тел качения, мм 4. Число тел качения 5. Число рядов тел качения 6. Ширина подшипника, мм | Сферический шариковый подшипник 1. Внешний диаметр, мм 2. Внутренний диаметр, мм 3. Диаметр тел качения, мм 4. Число тел качения 5. Угол контакта, град 6. Ширина подшипника, мм | Радиально-упорный шариковый подшипник 1. Внешний диаметр, мм 2. Внутренний диаметр, мм 3. Диаметр тел качения, мм 4. Число тел качения 5. Угол контакта, град 6. Ширина подшипника, мм |
| Упорный шариковый подшипник 1. Внешний диаметр, мм 2. Внутренний диаметр, мм 3. Диаметр тел качения, мм 4. Число тел качения 5. Число рядов тел качения 6. Ширина подшипника, мм | Радиальный роликовый подшипник 1. Внешний диаметр, мм 2. Внутренний диаметр, мм 3. Диаметр тел качения, мм 4. Число тел качения 5. Число рядов тел качения 6. Длина ролика, мм 7. Ширина подшипника, мм | Сферический роликовый подшипник 1. Внешний диаметр, мм 2. Внутренний диаметр, мм 3. Диаметр тел качения, мм 4. Число тел качения 5. Угол контакта, град 6. Длина ролика, мм 7. Ширина подшипника, мм |
| Радиально-упорный роликовый подшипник 1. Внешний диаметр, мм 2. Внутренний диаметр, мм 3. Диаметр тел качения, мм 4. Число тел качения 5. Угол контакта, град 6. Длина ролика, мм 7. Ширина подшипника, мм | Упорный роликовый подшипник 1. Внешний диаметр, мм 2. Внутренний диаметр, мм 3. Диаметр тел качения, мм 4. Число тел качения 5. Число рядов тел качения 6. Длина ролика, мм 7. Ширина подшипника, мм | |

Ввод параметров точности

Ввести параметры точности можно двумя способами:

- выбрать команду **Данные | Точность...**;
- нажать комбинацию клавиш **Ctrl + A**.

В отличие от параметров геометрии, при вводе данных по точности для подшипников всех типов используется одно и то же диалоговое окно (рис. 3.4).

Справа от каждого поля ввода биений колец имеется кнопка «БД». С их помощью Вы можете ввести соответствующие параметры из базы данных. На рисунке 3.5 показано диалоговое окно, обеспечивающее доступ к базе данных. Под заголовком окна расположен список *Класс точности*. Используйте его для выбора необходимого класса точности. Содержимое выбранного класса точности отображается в окне *Данные*. Оно представлено в виде таблицы. Первая колонка этой таблицы содержит значение минимального диаметра, вторая – максимального диаметра и третья – отклонение диаметра. Поместите указатель выбора на строку с отклонением диаметра, которое вам необходимо и выберите кнопку **Ok**. Выбранные значения будут скопированы в соответствующие поля ввода диалогового окна *Точность*.

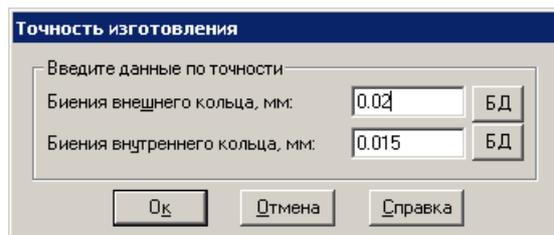


Рис. 3.4 Диалоговое окно ввода данных по точности.

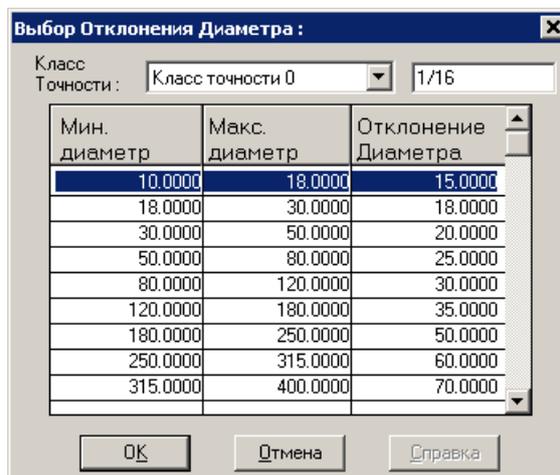


Рис. 3.5 Диалоговое окно ввода данных по точности из базы данных.

Ввод условий работы

Ввести условия работы можно двумя способами:

- выбрать команду **Данные | Условия работы...**;
- нажать комбинацию клавиш **Ctrl + W**.

Как и в случае данных по геометрии, набор параметров зависит от типа подшипника. В качестве примера на рисунке 3.6 приведено диалоговое окно для ввода параметров, характеризующих условия работы радиально-упорного роликового подшипника.

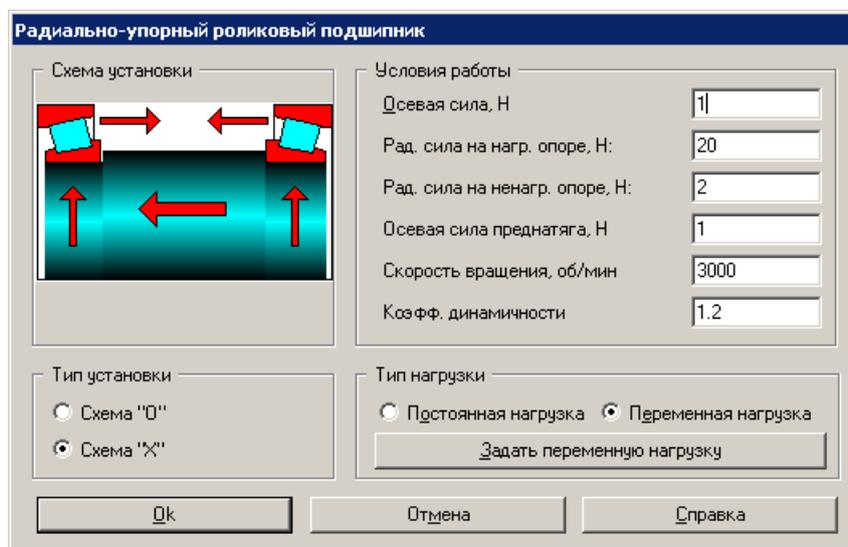


Рис. 3.6 Диалоговое окно ввода условий работы подшипника.

Список параметров, характеризующих условия работы для подшипников каждого типа приведен в таблице 3.2. Определение каждого параметра условий работы подробно изложено в главе 1.

Таблица 3.2 – Условия работы различных типов подшипников.

| | | |
|--|---|---|
| <p>Шариковый радиальный подшипник</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Радиальная сила, Н 2. Скорость вращения, об/мин 3. Коэф. динамичности 4. Тип нагрузки | <p>Сферический шариковый подшипник</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Радиальная сила, Н 2. Смещение радиального преднатяга, мм 3. Скорость вращения, об/мин 4. Коэф. динамичности 5. Тип нагрузки | <p>Шариковый радиально-упорный подшипник</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Осевая сила, Н 2. Радиальная сила на нагруженной опоре, Н 3. Радиальная сила на ненагруженной опоре, Н 4. Осевая сила преднатяга, Н 5. Скорость вращения, об/мин 6. Коэф. динамичности 7. Тип нагрузки |
| <p>Шариковый упорный подшипник</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Осевая сила, Н 2. Скорость вращения, об/мин 3. Коэф. динамичности 4. Тип нагрузки | <p>Радиальный роликовый подшипник</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Радиальная сила, Н 2. Смещение радиального преднатяга, мм 3. Скорость вращения, об/мин 4. Коэф. динамичности 5. Тип нагрузки | <p>Сферический роликовый подшипник</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Радиальная сила, Н 2. Смещение радиального преднатяга, мм 3. Скорость вращения, об/мин 4. Коэф. динамичности 5. Тип нагрузки |
| <p>Радиально-упорный роликовый подшипника</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Осевая сила, Н 2. Радиальная сила на нагруженной опоре, Н 3. Радиальная сила на ненагруженной опоре, Н 4. Осевая сила преднатяга, Н 5. Скорость вращения, об/мин 6. Коэф. динамичности 7. Тип нагрузки | <p>Роликовый упорный подшипник</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Осевая сила, Н 2. Скорость вращения, об/мин 3. Коэф. динамичности 4. Тип нагрузки | |

Таблица 3.3 – Рекомендации по назначению коэффициентов динамичности

| Характер нагрузки на подшипник | Значение коэффициента |
|---|-----------------------|
| Спокойная нагрузка | 1 |
| Легкие толчки, кратковременные перегрузки до 25% | 1,1 ... 1,2 |
| Умеренные толчки, кратковременные перегрузки до 50% | 1,3 ... 1,8 |

Выполнение расчета

Перед выполнением расчета необходимо выбрать метод определения грузоподъемности (**меню Расчет**): расчетный по теории неидеального контакта или данные производителя.

Для стандартных подшипников из базы данных можно использовать как теорию неидеального контакта, так и данные производителя. Для комплексного анализа работы подшипника рекомендуется провести расчет по двум методам. Для не стандартных подшипников по умолчанию используется теория неидеального контакта независимо от выбора.

После ввода всех исходных данных, команда **Расчет | Расчет** становится доступной. Для выполнения расчета выберете соответствующую команду главного меню или нажмите кнопку **Расчет**  пиктографического меню.

Просмотр результатов

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

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

На экране появится диалоговое окно с результатами расчетов. Содержание окна зависит от типа подшипника. На рисунке 3.7 показано окно с результатами расчета роликового радиально-упорного подшипника.

Далее приводится краткое описание элементов диалогового окна *Результаты*.

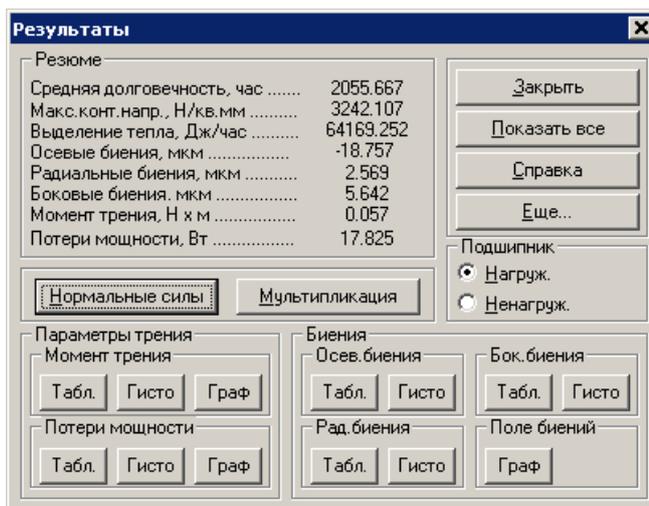


Рис. 3.7 Диалоговое окно результатов расчета.

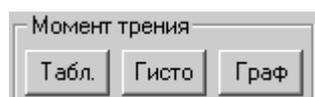
Группа «Резюме» содержит значения основных рассчитываемых параметров.

Кнопка «Нормальные Силы» вызывает диалоговое окно (рис. 1.14), в котором отображается распределение сил, действующих на тела качения в виде графика и эпюры, а также таблица со справочной информацией.

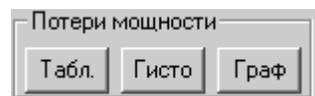
Кнопка «Мультипликация» вызывает окно просмотра перемещений подшипника в форме анимации (рис. 1.12), которая дает хорошее общее представление о движении подшипника – какие компоненты смещения преобладают, как перемещения изменяются во времени, имеет ли место перекося вала (в случае радиально-упорных подшипников) и т.п.

Группа «Параметры трения»

Параметры трения, рассчитываемые в *APM Bear* включают в себя момент трения и потери мощности. Просмотреть эти параметры можно с помощью кнопок, входящих в состав групп Момент Трения и Потери Мощности.



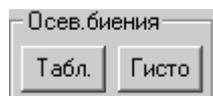
Группа «Момент Трения» включает в себя кнопки «Табл.», «Гисто» и «Граф». С помощью этих кнопок Вы можете просмотреть значения момента трения, соответственно, в виде таблицы, гистограммы или графика.



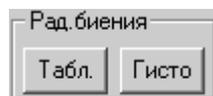
Группа «Потери Мощности» объединяет три кнопки «Табл.», «Гисто» и «Граф». С помощью этих кнопок Вы можете просмотреть значения потерь мощности, соответственно, в виде таблицы, гистограммы или графика.

Группа «Биения»

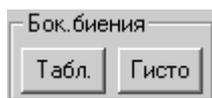
Характеристикой жесткости подшипника качения, рассчитываемой в *APM Bear* являются перемещения (биения) центра подшипника. В зависимости от типа подшипника, перемещения могут иметь до трех составляющих – осевую, радиальную и боковую (подробнее см. главу 1). Группа «Биения» содержит кнопки, которые позволяют демонстрировать компоненты перемещений как по отдельности, так и совместно.



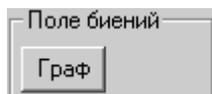
Группа «Осевые биения» содержит кнопки «Табл.» и «Гисто» предназначенные для демонстрации осевых биений в виде таблицы и гистограммы соответственно.



Группа «Радиальные биения» содержит кнопки «Табл.» и «Гисто» предназначенные для демонстрации радиальных биений в виде таблицы и гистограммы соответственно.



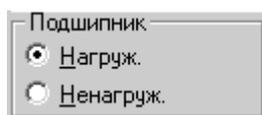
Группа «Боковые биения» имеет то же назначение, что и две предыдущие, но демонстрирует боковые биения подшипника.



Группа «Поле биений»

Единственная кнопка, входящая в состав этой группы – «Граф» демонстрирует пространственное распределение положений центра подшипника.

Для радиальных и сферических подшипников это двумерная схема, где вдоль оси X откладываются радиальные биения, а вдоль оси Y – боковые (рис. 1.10, глава 1). В случае радиально-упорных подшипников схема становится трехмерной за счет добавления осевых биений (рис. 1.11, глава 1). Диалоговое окно для демонстрации биений радиально-упорных подшипников содержит кнопки Точки и Проекция. Они используются для того, чтобы показать и скрыть пространственное положение центра подшипника и его проекции на координатные плоскости.



Группа «Подшипник»

В *APM Bear* радиально-упорные подшипники рассматриваются установленными в паре (глава 1, рис. 1.4). Все параметры рассчитываются для каждого из подшипников, образующих парную сборку.

Чтобы выбрать, для какого из двух подшипников Вы хотите просмотреть результаты, выберите одну из двух кнопок – Нагруженный или Ненагруженный. Определение нагруженного и ненагруженного подшипников см. в главе 1. Для подшипников других типов эта группа неактивна.

Кнопка «Заккрыть» закрывает диалоговое окно Результаты.

Кнопка «Показать Все» инициирует последовательный просмотр всех результатов выбрав кнопку Показать Все. В любой момент Вы можете прервать демонстрацию выбрав кнопку «Прервать», имеющуюся в каждом окне для демонстрации результатов или нажав клавишу ESC. Для продолжения демонстрации выберите кнопку «Ок» или нажмите клавишу ENTER.

Кнопка «Справка» вызывает справочную систему *APM Bear* с подсказкой по диалоговому окну Результаты.

Кнопка «Еще» выводит окно дополнительных параметров расчета (рис. 3.8). Кнопка «Пересчитать долговечность» позволяет пересчитать долговечность по стандартным методам. По умолчанию в *APM Bear* используется теория неидеального контакта.

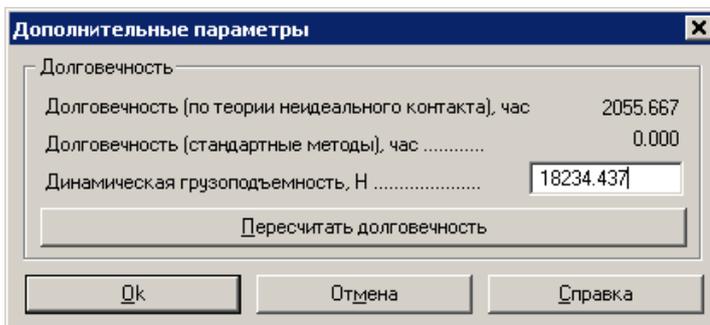


Рис. 3.8 Диалоговое окно дополнительные параметры.

В диалоговом окне «Результаты» для расчета долговечности вероятность безотказной работы по умолчанию принимается равной 90%. Для просмотра графика долговечности (час.) от вероятности безотказной работы (%) служит команда **Результаты | Долговечность...** В появившемся диалоговом окне выберете метод расчета долговечности для вывода графика зависимости ресурса от надежности.

Графики отображаются в системе показа графиков (рис. 3.10). 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.).

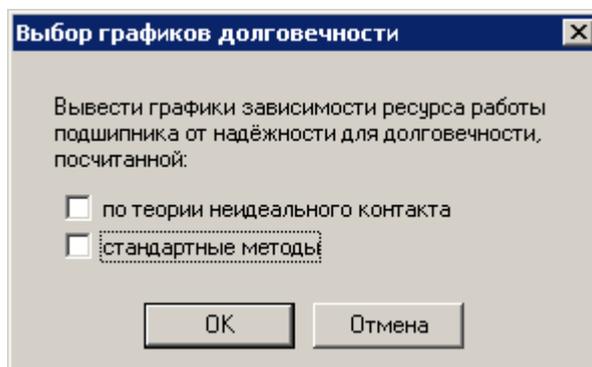


Рис. 3.9 Диалоговое окно выбора метода расчета долговечности для графика.

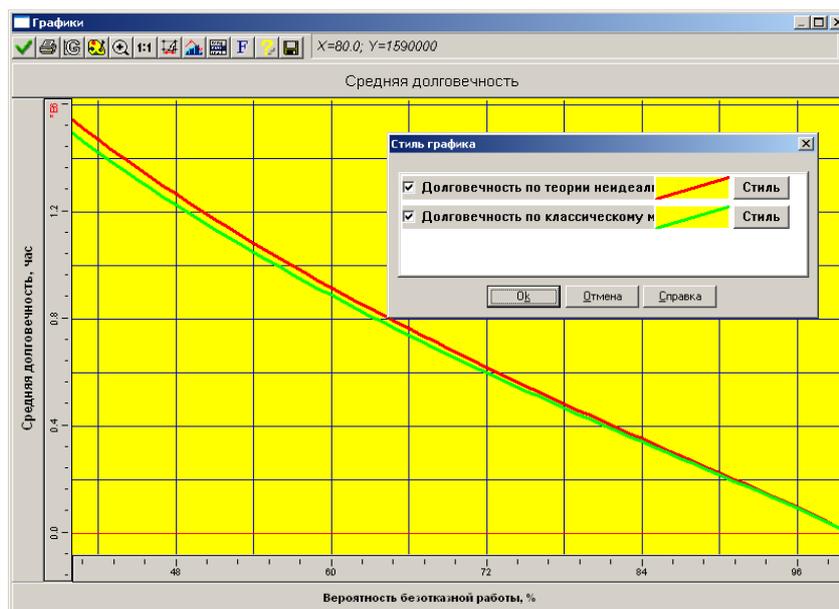


Рис. 3.10 График зависимости долговечности от вероятности безотказной работы.

Кроме графического представления данных, Вы можете просмотреть их и в численном виде. Справочник команд для работы с графиками результатов представлен в таблице 3.4. В верхней части окна показа графиков отображаются текущие координаты курсора. Для уточнения значения параметра необходимо навести курсор на интересующую точку графика.

Таблица 3.4 – Справочник команд системы показа графиков

| Пиктограмма и наименование команды | Описание команды |
|------------------------------------|--|
| Ок | Заккрыть 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 |
| Стиль 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) |

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 диалоговом окне (рис. 3.11) выберете интересующие исходные данные и результаты расчета и нажмите кнопку «Печать» для вывода информации на принтер или кнопку «RTF» для генерации текстового файла отчета в формате *.rtf.

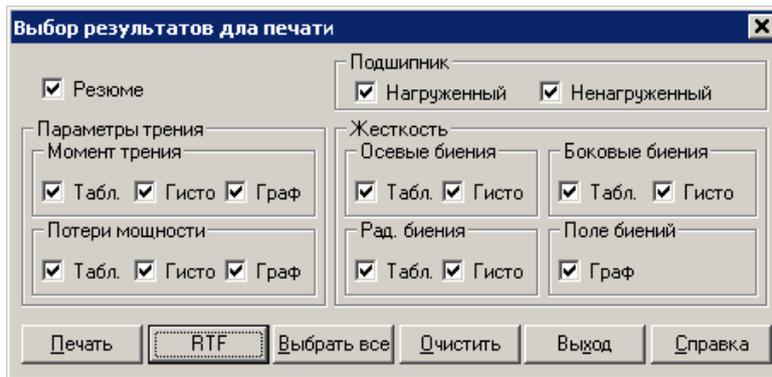


Рис. 3.11 Окно выбора для печати исходных данных и результатов расчета.

Сохранение исходных данных и результатов

При работе с системой *APM Bear* 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 Bear* (*.wbr) 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...**

Выход

Для выхода из системы *APM Bear* используйте команду **Файл | Выход** или сочетание клавиш **Ctrl+X**. При выходе система предложит сохранить текущие изменения.

Глава 4. База данных

Подшипники качения представляют собой один из наиболее стандартизованных видов деталей машин. Если Вы рассчитываете подшипник, то вероятнее всего Вы берете исходные данные из какого-либо национального или международного стандарта (например, ГОСТ или ISO), либо используете каталог одной из фирм, выпускающих подшипники.

Для того, чтобы облегчить эту работу, в *APM Bear* встроена база данных, в которой хранится информация о геометрических размерах и точности подшипников.

Структура базы данных

Структура базы данных системы *APM Bear* проектировалась такой, чтобы она имитировала привычные для инженера последовательность операций и иерархию объектов.

При работе "вручную" Вы обычно начинаете с того, что находите справочник с необходимым стандартом либо каталог одной из фирм, выпускающих подшипники. В справочнике Вы находите раздел, в котором описаны подшипники того типа, который Вас интересует, например, радиальные шариковые подшипники. В этом разделе Вы ищете таблицу с подшипниками нужного подтипа (скажем, подшипники легкой серии). В таблице Вы выбираете строку (запись) соответствующую тому подшипнику, который Вам необходим. И, наконец, в этой строке Вы находите те параметры, которые Вам нужны.

Таблица 4.1 – Логические уровни базы данных по геометрии.

| Логический уровень | Объект |
|--------------------|---|
| Тип | Тип подшипника (например, шариковый радиальный подшипник) |
| Подтип | Подтип подшипника (например, радиальный шариковый подшипник легкой серии) |
| Подшипник | Конкретный подшипник данного стандарта или каталога |
| Параметр | Конкретный параметр подшипника (например, внешний диаметр) |

Эти уровни образуют «систему координат» базы данных.

В базе данных по геометрии хранятся следующие параметры

- Номер (идентификатор) подшипника
- Внешний диаметр.
- Внутренний диаметр.
- Диаметр тел качения.
- Число тел качения.
- Число рядов тел качения.
- Угол контакта.
- Длина ролика.
- Динамическая грузоподъемность.
- Статическая грузоподъемность.
- Масса подшипника.

Три последних параметра даны только для справки. Они не применяются в качестве исходных данных при вычислениях, но могут быть использованы для поиска и фильтрации (см. ниже).

Когда Вам нужно определить точность, обычно Вы делаете это в два шага. Сначала, из общих соображений Вы определяете класс точности. Затем Вы находите интервал внешних (внутренних) диаметров, в который попадает Ваш подшипник. И, наконец, Вы определяете значение отклонения соответствующее этому интервалу.

Соответственно этому база данных по точности, реализованная в *APM Bear* включает в себя два структурных уровня – классы точности и отклонения.

В базе данных по точности хранятся три параметра. Это минимальный и максимальный диаметры, которые образуют интервал и отклонение, соответствующее этому интервалу.

Использование базы данных для ввода исходных данных

Основное назначение базы данных APM Bear – облегчить ввод исходных данных и избавить пользователя от утомительного поиска нужных цифр в справочниках и каталогах. Однажды заполнив базу данных, Вы можете в дальнейшем извлекать нужные Вам значения посредством нескольких нажатий на клавиши.

Запросы на ввод исходных данных выполняются из тех же самых диалоговых окон, из которых производится обычный ввод соответствующих параметров. Вы открываете диалоговое окно *Данные по геометрии* (рис. 3.2) или *Данные по точности* (рис. 3.4) и выбираете клавишу, на которой написано *База данных* или *БД*.

Ввод данных по геометрии подшипника

Откройте диалоговое окно *Данные по Геометрии* (рис. 3.2). Выберите кнопку *База Данных*. В ответ на это действие на экране появится диалоговое окно, показанное на рисунке 3.3. Используйте окно *Подтип* – для того, чтобы выбрать подтип подшипника. Выберите необходимый Вам подшипник в окне *Данные*, которое занимает центральную часть диалогового окна. Затем нажмите клавишу «Выбор» – данные по геометрии будут скопированы из базы данных в поля ввода диалогового окна *Данные по Геометрии*. Выберите кнопку *Ok* этого диалогового окна для того, чтобы подтвердить вводимые значения и закрыть диалоговое окно.

Ввод данных по точности

Откройте диалоговое окно *Данные по Точности* (рис. 3.4). Оно содержит два поля ввода, в которых пользователь должен задать значения биений дорожки качения внутреннего и внешнего колец подшипника. Справа от этих полей ввода расположены две кнопки с текстом «БД». С помощью этих кнопок Вы можете ввести значения соответствующих параметров из базы данных. На экране появится диалоговое окно, показанное на рисунке 3.5. С помощью окна списка *Класс Точности* Вы можете указать необходимый Вам класс точности. Окно *Данные*, расположенное в центральной части диалогового окна содержит таблицу, в которой для каждого диапазона значений диаметров приведено соответствующее значение отклонения. Укажите с помощью полосы выбора то значение отклонения, которое Вы хотите использовать и нажмите кнопку *Ok*. Значение отклонения будет скопировано в соответствующее поле ввода диалогового окна *Данные по Точности*.

Редактирование базы данных

Существует большое количество национальных и международных стандартов по подшипникам, а также каталогов компаний, выпускающих подшипники. База данных предоставляет пользователю набор операций по изменению и расширению содержания базы данных. Наполнение и редактирование баз данных осуществляется в модуле *APM Base*. Вы не можете редактировать содержимое базы данных из программы *APM Bear*. Данные находятся в механической базе данных APM. Расположение по умолчанию: C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\APM WinMachine 2007 (v.9.3)\DataBase\APM Mechanical Data\.

Расположение данных для расчета подшипников в структуре механической базы данных (рис. 4.1):
Стандарты – ГОСТ – Подшипники – Данные для расчетных модулей – ...

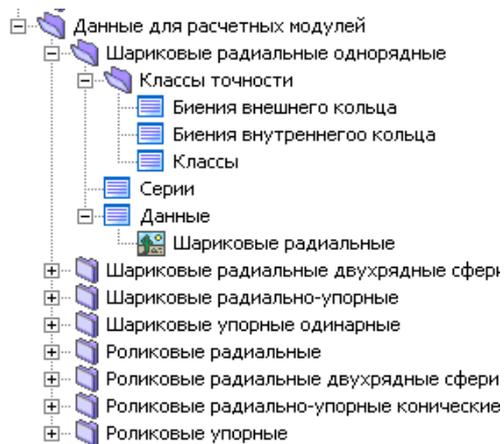


Рис. 4.1 Фрагмент структуры базы данных подшипников.

Глава 5. APM Bear в вопросах и ответах

В: Какие типы подшипников могут быть рассчитаны в APM Bear?

О: В *APM Bear* могут быть рассчитаны подшипники восьми типов:

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

См. раздел Типы подшипников в Главе 1.

В: Какие характеристики подшипников рассчитываются в APM Bear?

О: С помощью *APM Bear* Вы можете рассчитать:

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

См. также раздел Результаты в Главе 1.

В: Что такое неидеальный подшипник?

О: Подшипник считается неидеальным, если погрешностями его изготовления нельзя пренебречь в контексте решаемой задачи. Многие важные задачи, связанные с определением контактной жесткости и прочности требуют, чтобы подшипник рассматривался как неидеальный объект. В НТЦ «Автоматизированное Проектирование Машин» разработан универсальный метод решения контактных задач. Надежность и эффективность этого метода подтверждаются результатами экспериментальных исследований.

В: Для чего рассчитывается массив перемещений?

О: Перемещения в подшипнике рассчитываются путем решения контактной задачи. В случае контакта тел качения и дорожек качения подшипника, контактирующие поверхности осложнены случайно распределенными неровностями, связанными с погрешностями изготовления подшипника. Амплитуда этих неровностей сопоставима с величиной контактных перемещений, поэтому если не учитывать их в расчетах ошибки могут достигать 100% и более. Погрешности формы могут быть описаны только статистически и, соответственно, решения могут быть получены только статистические. Для того, чтобы определить перемещения подшипника используется статистическое моделирование. Рассчитывается массив из 100 возможных положений центра подшипника. Используя этот массив, Вы можете определить среднее, максимальное, минимальное и наиболее часто встречающееся значения перемещений, наблюдать форму поля рассеяния и пр. Это дает Вам гораздо более реальную и полную картину поведения подшипника, чем та, которую дают традиционные методы. Соответственно, параметры, которые рассчитываются с использованием перемещений (момент трения, потери мощности, силы, действующие на тела качения) также рассчитываются в виде массивов из 100 элементов.

В: Какие задачи могут быть решены с помощью APM Bear?

О: *APM Bear* позволяет рассчитать параметры подшипника в статистической формулировке, т.е., в виде среднего значения и поля рассеяния. Существующие аналитические и эмпирические методы, используемые для расчета жесткости, дают большие погрешности, как количественные, так и качественные.

Используя *APM Bear*, Вы можете надежно оценить рабочую точность проектируемого механического оборудования. Система позволяет определить погрешности изготовления, геометрические параметры, значения преднатяга которые гарантируют необходимую рабочую точность.

С помощью *APM Bear* Вы можете определить реальную долговечность подшипника, установленного с преднатягом. Этот параметр зависит от сил, действующих на тела качения. Надежно определить последние можно только учитывая погрешности изготовления тел качения и дорожек качения.

Силы, действующие на тела качения, определяют момент трения и выделение тепла в подшипнике.

APM Bear может быть использован для контроля преднатяга.

С помощью *APM Bear* можно решать различные проблемы, относящиеся к

- статике;
- динамике;
- кинематике;
- определению выносливости;
- определению точности, нагруженного состояния и фрикционных характеристик деталей машин.

APM Bear дает новый подход к задачам проектирования подшипниковых узлов.

В: Как просмотреть значения перемещений?

О: Используйте команду  **Результаты** главного меню, чтобы открыть диалоговое окно Результаты.

Если Вас интересуют только средние значения перемещений Вы можете найти их в групповом окне Резюме того же диалогового окна.

Чтобы просмотреть перемещения в виде таблицы выберите кнопку «Табл.» в соответствующем групповом окне (Осевые Биения, Радиальные Биения или Боковые Биения).

Чтобы просмотреть перемещения в виде гистограммы выберите кнопку «Гисто» в соответствующем групповом окне (Осевые Биения, Радиальные Биения или Боковые Биения).

Чтобы просмотреть совместное распределение двух или трех компонент перемещений выберите кнопку «Граф» в групповом окне Поле биений.

В: Как просмотреть значение максимального контактного напряжения?

О: Используйте команду  **Результаты** главного меню, чтобы открыть диалоговое окно Результаты. Максимальное контактное напряжение показано в групповом окне Резюме этого диалогового окна.

В: Как просмотреть значение долговечности?

О: Используйте команду  **Результаты** главного меню, чтобы открыть диалоговое окно Результаты. Значение долговечности показано в групповом окне Резюме этого диалогового окна.

В: Как просмотреть значения сил, действующих на тела качения подшипника?

О: Используйте команду  **Результаты** главного меню, чтобы открыть диалоговое окно Результаты, затем выберите кнопку «Нормальные силы». На экране появится диалоговое окно, в котором будут показаны эпюра и график нормальных сил, соответствующие первому положению центра подшипника; чтобы перейти к следующему положению используйте соответствующую кнопку.

В: Как просмотреть анимацию движения подшипника?

О: Используйте команду  **Результаты** главного меню, чтобы открыть диалоговое окно Результаты, затем выберите кнопку «Мультипликация».

В: Как просмотреть значения момента трения?

О: Используйте команду  **Результаты** главного меню, чтобы открыть диалоговое окно Результаты. В групповом окне Момент трения используйте:

- кнопку «Табл.» для того, чтобы просмотреть значения момента трения в виде таблицы (дополненной средним значением, дисперсией и среднеквадратичным отклонением);
- кнопку «Гисто» для того, чтобы представить значения момента трения в виде гистограммы;
- кнопку «Граф» для того, чтобы представить значения момента трения в виде графика. Среднее значение момента трения, кроме того, показано в групповом окне Резюме.

В: Как просмотреть значения потерь мощности?

О: Используйте команду  **Результаты** для того, чтобы открыть диалоговое окно Результаты. В групповом окне Потери Мощности используйте:

- кнопку «Табл.» для того, чтобы просмотреть значения потерь мощности в виде таблицы (дополненной средним значением, дисперсией и среднеквадратичным отклонением);
- кнопку «Гисто» для того, чтобы представить значения потерь мощности в виде гистограммы;
- кнопку «Граф» для того, чтобы представить значения потерь мощности в виде графика. Среднее значение потерь мощности, кроме того, показано в групповом окне Резюме.

В: Как просмотреть значение тепловыделения?

О: Используйте команду  **Результаты** для того, чтобы открыть диалоговое окно Результаты. Значение тепловыделения в подшипнике показано в групповом окне Резюме.

В: Как сгенерировать файл отчета и распечатать исходные данные и результаты?

О: Используйте команду **Файл** |  **Печать** или нажмите клавиши CTRL + P. В диалоговом окне, которое будет отображено на экране выберите параметры, которые Вы хотите распечатать (см. главу 3, рис. 3.9). Если подшипник с которым Вы работаете относится к типу радиально-упорных, Вы должны указать один из двух подшипников (нагруженный или ненагруженный) образующих парный блок. До тех пор, пока Вы не выберете данные для печати кнопка Печатать описываемого диалогового окна будет недоступна.

Для генерации тестового файла отчета нажмите кнопку «RTF», для вывода на принтер – кнопку «Печать».

В: Как использовать базу данных для ввода исходных данных?

О: База данных APM Bear предназначена для хранения данных по геометрии и точности подшипников.

Для того, чтобы ввести из базы данных параметры геометрии выберите команду **Данные** | **Геометрия**. На экране появится диалоговое окно для ввода данных по геометрии подшипника (см. рис. 3.2). Выберите в нем кнопку База Данных. В ответ появится диалоговое окно, обеспечивающее доступ к базе данных (рис. 3.3). Выберите нужный Вам подшипник и нажмите кнопку «Выбрать». Параметры подшипника будут скопированы из базы данных в соответствующие поля диалогового окна.

Чтобы ввести из базы данных параметры точности подшипника выберите команду **Данные** | **Точность**. В диалоговом окне для ввода данных по точности подшипника имеются две кнопки с названием БД (рис. 3.4). Одна из них соответствует отклонению диаметра внешнего кольца подшипника, другая – отклонению диаметра внутреннего кольца. Выберите ту кнопку, которая Вам нужна. Появится диалоговое окно обеспечивающее доступ к базе данных по точности (рис. 3.5). Выберите отклонение, соответствующее необходимому Вам классу точности и размерам подшипника. Нажмите клавишу «Ок» – значение точности будет извлечено из базы данных и скопировано в соответствующее поле первого диалогового окна. Подробности см. в главе 3.

В: Как изменить содержание базы данных?

О: Наполнение и редактирование баз данных осуществляется в модуле *APM Base*. Подробнее в главе 4.

В: Я хочу сохранить результаты расчетов, чтобы использовать их впоследствии...

О: В *APM Bear* Вы можете сохранить исходные данные и результаты расчетов в файлах (*.wbr). Используйте команду **Файл** |  **Сохранить** или нажмите клавиши CTRL + S. В диалоговом окне Сохранить как... введите имя файла. Для сохранения с запросом имени файла воспользуйтесь командой **Файл** | **Сохранить как...** Позднее Вы можете загрузить эти файлы, просмотреть результаты расчетов, распечатать их, внести изменения в данные, повторить расчеты и т.п.

В: Как загрузить исходные данные и результаты из файлов?

О: Выберите команду **Файл** |  **Загрузить** или нажмите клавиши CTRL + L. Используйте диалоговое окно Открыть... для того, чтобы выбрать файл, который Вы хотите загрузить.