

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ 6.0



Многовариантные расчеты

Начинаем работать

2010

Это руководство поможет вам изучить особенности описания, выполнения и анализа проектов параметрического сканирования в программном комплексе «Универсальный механизм».

Начинаем работать в программном комплексе «Универсальный механизм»: модуль оптимизации

Это руководство поможет вам изучить особенности описания, выполнения и анализа проектов параметрического сканирования в программном комплексе «Универсальный механизм». Предполагается, что вы уже изучили раздел, посвященный введению в моделирование в ПК УМ, который находится в файле **gs_UM.pdf**¹, и умеете выполнять в УМ простые действия: создать новую модель, добавлять тела и шарниры, синтезировать уравнения движения (UM Input) и работать в программе моделирования движения (UM Simulation).

В настоящем руководстве мы рассмотрим два примера сканирования. Первый пример посвящен формированию проекта сканирования для модели груза на пружине. Второй пример показывает, как подключить и использовать службу распределенных вычислений.

Пример сканирования динамики железнодорожных экипажей приведен в п. 3 файла **gs_UM_Loco.pdf**².

В конце руководства мы рассмотрим пример описания и выполнения проекта оптимизации с использованием метода Хука-Дживса на примере решения задачи о балансировке неуравновешенного ротора точечной массой.

¹ http://www.umlab.ru/download/60/rus/gs_um.pdf

² http://www.umlab.ru/download/60/rus/gs_um_loco.pdf

| | |
|--|-----------|
| НАЧИНАЕМ РАБОТАТЬ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ»: МОДУЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ..... | 2 |
| 1. О МОДУЛЕ ОПТИМИЗАЦИИ..... | 4 |
| 2. СОЗДАНИЕ, ВЫПОЛНЕНИЕ И АНАЛИЗ ПРОЕКТА СКАНИРОВАНИЯ | 5 |
| 2.1. Описание проекта сканирования..... | 6 |
| 2.1.1. Создание нового проекта..... | 6 |
| 2.1.2. Добавление новой модели к проекту сканирования | 7 |
| 2.1.3. Переименование семейства альтернатив..... | 8 |
| 2.1.4. Описание иерархии параметров..... | 8 |
| 2.1.5. Настройка идентификаторов..... | 10 |
| 2.1.6. Настройка начальных условий..... | 10 |
| 2.1.7. Настройка условий завершения..... | 10 |
| 2.1.8. Создание списка сохраняемых переменных..... | 11 |
| 2.1.9. Вынужденные колебания | 12 |
| 2.2. Выполнение проекта сканирования | 15 |
| 2.3. Анализ результатов сканирования..... | 17 |
| 2.3.1. Анализ результатов отдельных экспериментов..... | 17 |
| 2.3.2. Анализ сводных данных..... | 19 |
| 3. СКАНИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЭКИПАЖЕЙ | 21 |
| 4. ПРИМЕНЕНИЕ СЛУЖБЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ | 22 |
| 4.1. Подготовка к работе..... | 23 |
| 4.2. Описание проекта сканирования..... | 24 |
| 4.3. Выполнение проекта сканирования | 25 |
| 5. ОПИСАНИЕ И ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЕКТА ОПТИМИЗАЦИИ | 29 |
| 5.1.1. Создание нового проекта..... | 30 |
| 5.1.2. Загрузка модели для оптимизации..... | 31 |
| 5.1.3. Выбор параметров для оптимизации | 32 |
| 5.1.4. Начальные условия..... | 34 |
| 5.1.5. Условия завершения..... | 35 |
| 5.1.6. Параметры интегратора..... | 37 |
| 5.2. Описание целевой функции..... | 38 |
| 5.3. Выполнение проекта оптимизации..... | 43 |

1. О модуле оптимизации

Как правило, в инженерной практике при исследовании механических систем часто требуется проведение серийных численных экспериментов: для анализа поведения системы на различных режимах работы, проверки чувствительности по параметрам, подбора наилучших значений параметров. Интегрированный модуль оптимизации включает в себя набор инструментов (*сканирование, оптимизация, аппроксимация*), предназначенных для расширенного анализа динамических свойств моделей.

Все перечисленные инструменты автоматизируют выполнение серий численных экспериментов, протоколируя ход вычислений и сохраняя результаты расчетов на жесткий диск для последующего анализа. Таким образом, исследователь избавляется от монотонной работы по многократному выполнению численного анализа моделей "вручную", что кроме экономии рабочего времени повышает достоверность полученных результатов из-за отсутствия ошибок, которые склонен делать человек при выполнении большого количества повторяющихся операций.

Другими словами, исследователь описывает план проведения численных экспериментов для *сканирования* и *аппроксимации* или параметры, пределы их изменения, точность и целевую функцию для *оптимизации* и запускает расчеты в автоматическом режиме. В процессе расчетов доступна текущая статистика процесса: число выполненных экспериментов, прогноз времени, необходимого для завершения всех расчетов. Расчеты устойчивы к отключению электропитания. В этом случае на жестком диске остается информация обо всех завершенных экспериментах, исключая численный эксперимент, на котором произошло отключение.

По результатам численных экспериментов можно построить не только осциллограммы всех сохраненных характеристик, но и так называемые сводные графики и поверхности. Все реализованные инструменты не имеют ограничений по числу исследуемых параметров, т.е. являются многопараметрическими. Размерность определяется только содержанием каждого конкретного исследования с одной стороны и, конечно, затратами машинного времени с другой. Каждый инструмент имеет свои достоинства и недостатки. Однако их совокупность дает исследователю возможность решать достаточно широкий круг задач по анализу и оптимизации механических систем.

2. Создание, выполнение и анализ проекта сканирования

Рассмотрим процесс создания и анализа проекта сканирования динамических свойств груза на пружине. Процесс создания модели подробно рассмотрен в файле **gs_UM.pdf**¹.

Инструмент для параметрического сканирования доступен только в поставках с включенным модулем оптимизации (**UM Experiments**). Для проверки наличия модуля оптимизации запустите программу **UM Simulation**, выберите пункт меню **Помощь / О программе**. В появившемся окне в разделе **Конфигурация** вы увидите список доступных модулей.

Перед началом описания проекта сканирования необходимо, чтобы модель колебательной системы была у вас на компьютере: создайте ее в соответствии с главой **gs_UM.pdf**, либо проверьте ее наличие в каталоге **{um_root}\samples\tutorial\oscillator**², либо скачайте из интернета по адресу <http://www.umlab.ru/download/60/oscillator.zip>.

Подробнее о модуле параметрической оптимизации см. главу 6 «Модуль оптимизации»³.

Полностью описанный и рассчитанный проект сканирования, который рассматривается в данном примере, находится по следующей ссылке: <http://www.umlab.ru/download/60/scan2.zip>.

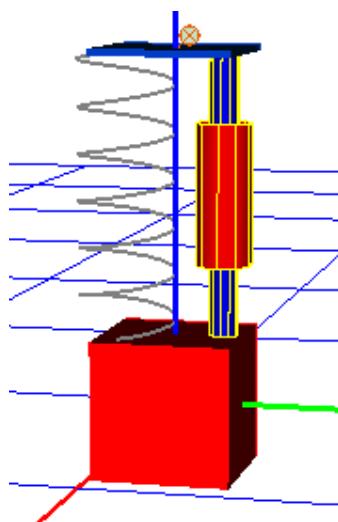


Рис. 2.1. Модель колебательной системы

¹ Файл **gs_UM.pdf** можно найти в каталоге **{um_root}\manual** или скачать из интернета по адресу http://www.umlab.ru/download/60/rus/g_s_um.pdf

² **{um_root}** – корневой каталог, в который установлен «Универсальный механизм», обычно *c:\Program files\UM Software Lab\UM60*

³ http://www.umlab.ru/download/60/rus/g_s_um_experiments.pdf

2.1. Описание проекта сканирования

В данном разделе рассмотрим пример описания проекта сканирования для свободных затухающих колебаний (сканирование по коэффициенту диссипации) и для вынужденных колебаний (сканирование по частоте вынуждающей силы).

2.1.1. Создание нового проекта

1. Запустите программу моделирования **UM Simulation**.
2. Для создания нового проекта выберите пункт меню **Расширенный анализ / Сканирование: новый проект...**
3. В появившемся окне введите полный путь к каталогу сканирования, включая имя проекта (см. рис. 2.2).
4. Нажмите кнопку **Создать** и после этого появится окно описания проекта сканирования (см. рис. 2.3).

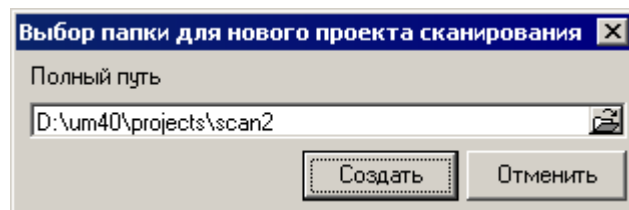


Рис. 2.2. Диалог выбора папки для нового проекта сканирования

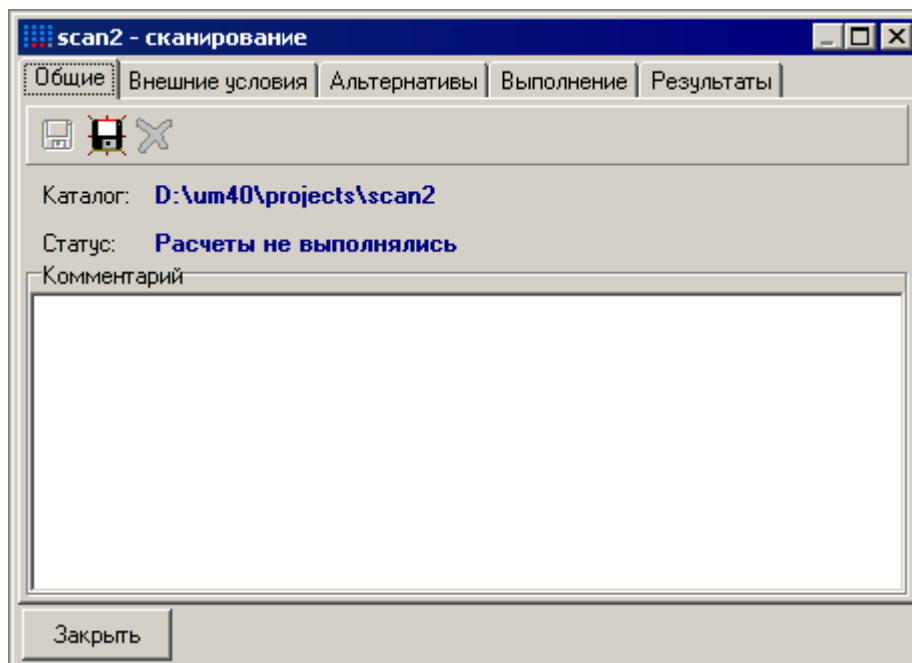


Рис. 2.3. Окно описания проекта сканирования: начало работы

2.1.2. Добавление новой модели к проекту сканирования

1. В окне описания проекта перейдите на закладку **Альтернативы**.
2. Нажмите кнопку **+** (добавить альтернативу).
3. В появившемся окне открытия модели выберите модель колебательной системы **oscillator**.

После этого данная модель появится в списке **Семейства альтернатив** (см. рис. 2.4).

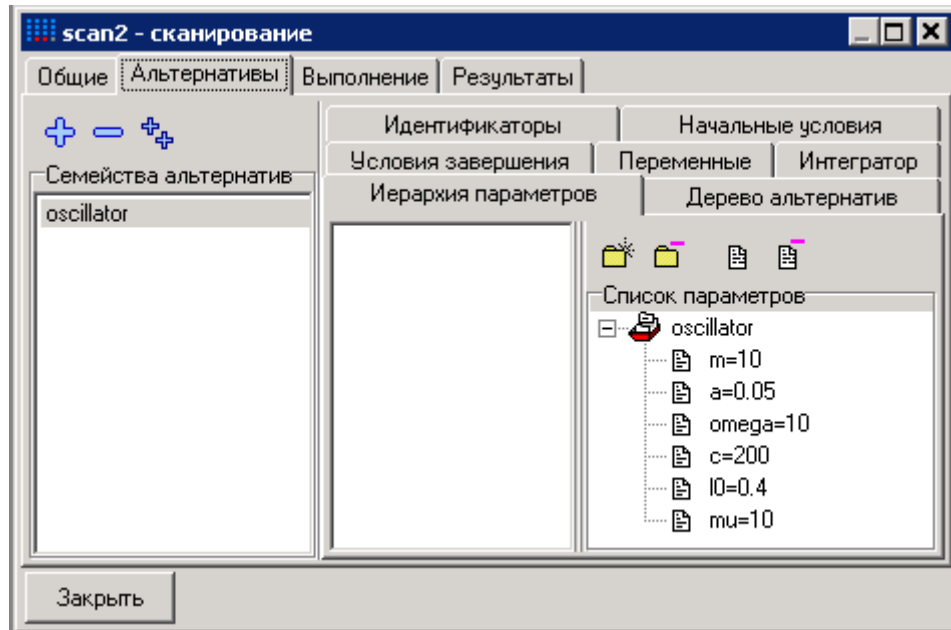
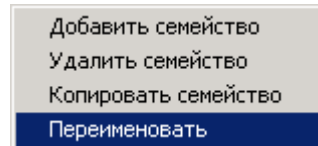


Рис. 2.4. Проект сканирования: добавление семейства альтернатив

2.1.3. Переименование семейства альтернатив

Переименуем семейство альтернатив.

1. В списке **Семейства альтернатив** слева выделите единственный пункт этого списка (**oscillator**), вызовите контекстное меню и в нем выберите пункт **Переименовать**.



2. Введите новое имя семейства альтернатив: **Free vibrations**.

2.1.4. Описание иерархии параметров

В данном проекте будем рассматривать два случая: свободные колебания и вынужденные колебания.

Сначала выполним настройки для случая свободных затухающих колебаний. Исследуем процесс затухания колебаний в зависимости от величины коэффициента диссипации.

1. В иерархическом списке **Список параметров** (в правой части закладки **Иерархия параметров**, см. рис. 2.4) щелкните на параметре **μ** (параметр имеет смысл коэффициента диссипации).
2. В появившемся окне настройки значений параметра введите значения от **0** (система без демпфирования) до **100 Нс/м** (критическая величина коэффициента диссипации, см. **um_gs.pdf**) включительно с шагом **10 Нс/м** (см. рис. 2.5).
3. Нажмите кнопку **ОК** и вернитесь в окно описания проекта сканирования. На закладке **Иерархия параметров** появится новая группа параметров с именем **μ** (см. рис. 2.6).
4. Вызовите контекстное меню для узла **Группа1**. В появившемся меню выберите пункт **Переименовать группу параметров** и введите **μ** . В итоге закладка **Иерархия параметров** будет выглядеть, как на рис. 2.6.

Таким образом, всего в процессе сканирования будет выполнено 11 численных экспериментов. Общие для всех этих численных экспериментов настройки мы выполним ниже.

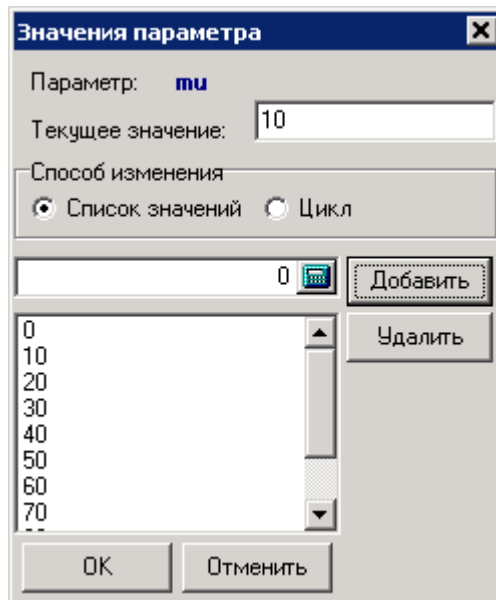


Рис. 2.5. Окно настройки значений параметра

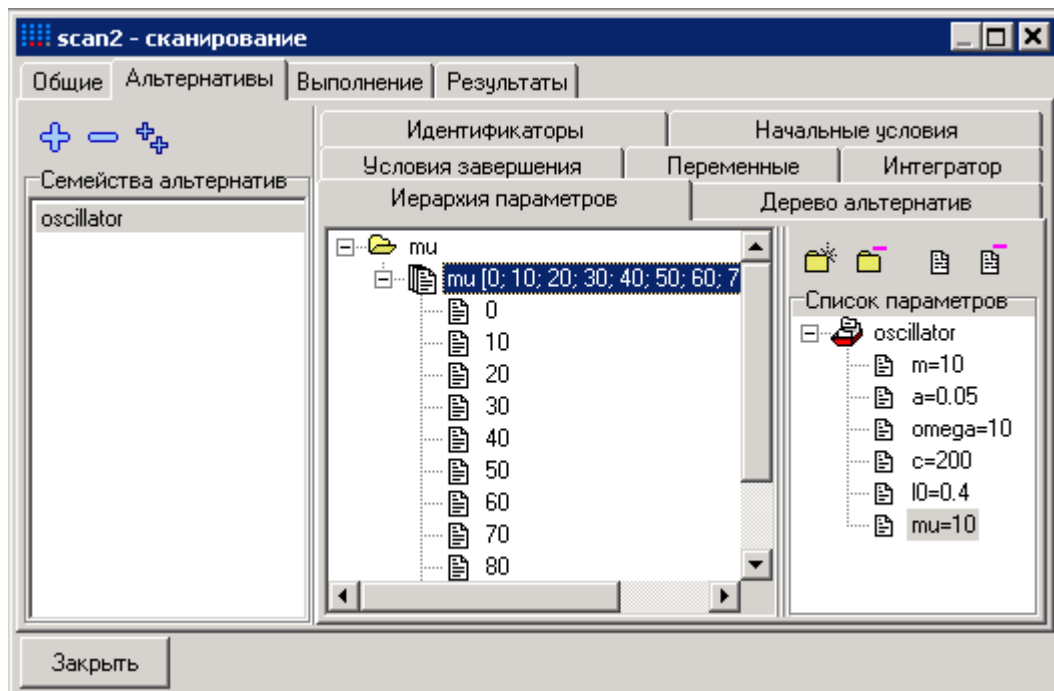


Рис. 2.6. Проект сканирования: иерархия параметров

2.1.5. Настройка идентификаторов

Чтобы рассматривать свободные колебания системы установим нулевую амплитуду колебаний подвеса.

1. Перейдите на закладку **Идентификаторы**.
2. Параметру **a** установите значение **0**.

2.1.6. Настройка начальных условий

1. Выберите закладку **Начальные условия**. В поле **Координата/1.1** установите значение **0.1**. Таким образом, мы немного сместим груз, так как его положение при нулевых координатах вблизи положения равновесия. Это нужно просто для того, чтобы несколько увеличить амплитуду колебаний.

2.1.7. Настройка условий завершения

При использовании сканирования численные эксперименты могут завершаться не только по истечении некоторого установленного времени, но также и по выполнению условия вида

Переменная [Условная операция] Численное_Значение.

В качестве переменной может быть установлена любая переменная, вычисляемая в процессе расчетов. При сканировании по умолчанию формируется следующее условие завершения: *Время ≥ 10 с.* То есть, каждый численный эксперимент в данном семействе будет завершен тогда, когда выполниться указанное условие.

1. Перейдите на закладку **Условия завершения**. Увеличьте время моделирования каждого эксперимента до **25** секунд, см. рис. 2.7.

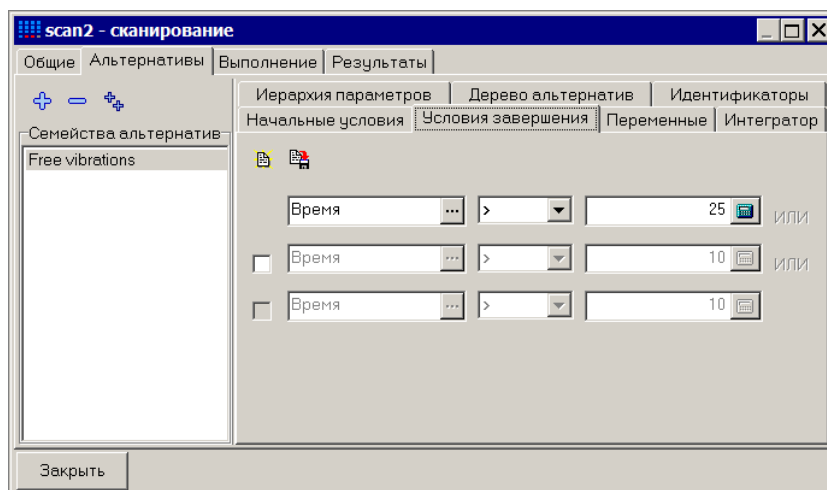



Рис. 2.7. Настройка условий завершения

Замечание. Необходимую переменную можно сформировать в *Мастере переменных* и перенести мышкой в поле с именем переменной.


2.1.8. Создание списка сохраняемых переменных

1. Перейдите на закладку **Переменные**.

На этой закладке вы видите *список переменных*, которые будут сохраняться для каждого численного эксперимента при сканировании. Поэтому перед запуском проекта на выполнение совершенно необходимо сформировать те переменные, которые мы будем анализировать после выполнения проекта.

2. Переименуйте закладку «**Без имени**» в **Position**, используя кнопку . Сейчас мы создадим и перетащим на эту закладку переменную – положение груза в проекции на вертикальную ось.

3. Откройте **Мастер переменных**.

4. Перейдите на закладку **Лин. перем.** (линейные переменные), выберите тело **Brick** в списке слева, в поле **Компонента** установите **Z**. Кнопкой  создайте переменную и перетащите ее в список переменных на закладку **Position**.

5. Закройте **Мастер переменных**.

После выполнения всех указанных выше действий список сохраняемых переменных должен выглядеть так, как показано на рис. 2.8. Мы описали семейство альтернатив для случая свободных затухающих колебаний. Перейдем к описанию случая вынужденных колебаний.

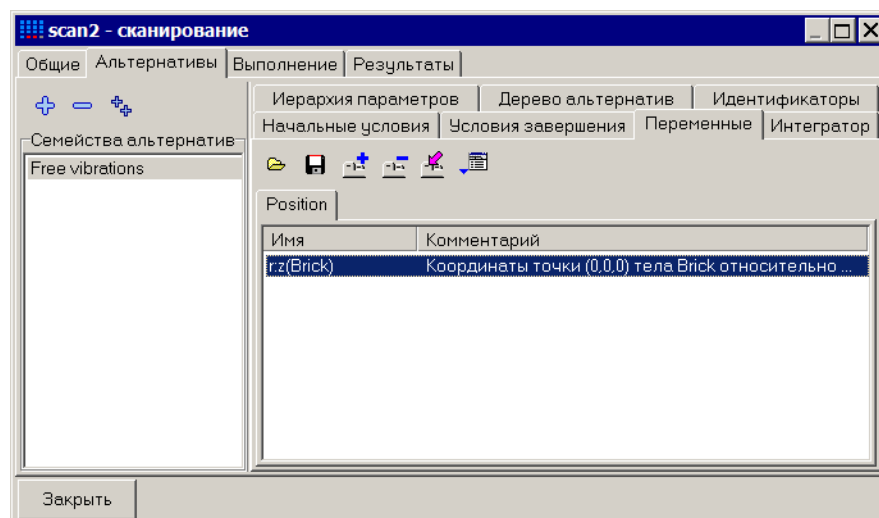


Рис. 2.8. Сканирование: список сохраняемых переменных

2.1.9. Вынужденные колебания

Сейчас мы скопируем первое семейство альтернатив, установим ненулевой коэффициент диссипации и опишем сканирование второго семейства альтернатив по частоте вынуждающей силы. В случае, когда собственная частота системы и частота вынуждающей силы совпадут, будет наблюдаться резонанс.

Копирование семейства альтернатив

1. В списке **Семейства альтернатив** выберите первое семейство альтернатив и правой кнопкой мыши вызовите контекстное меню, в котором выберите пункт **Копировать семейство**. Первое семейство альтернатив будет скопировано с именем **Free vibrations (1)**.
2. Выберите второе семейство альтернатив и при помощи контекстного меню переименуйте его в **Resonance**.

Настройка иерархии параметров для сканирования

1. Перейдите на закладку **Иерархия параметров** (семейство **Resonance**).
2. Выберите группу параметров **mu** и выберите пункт **Удалить группу параметров** в контекстном меню, см. рис. 2.9.

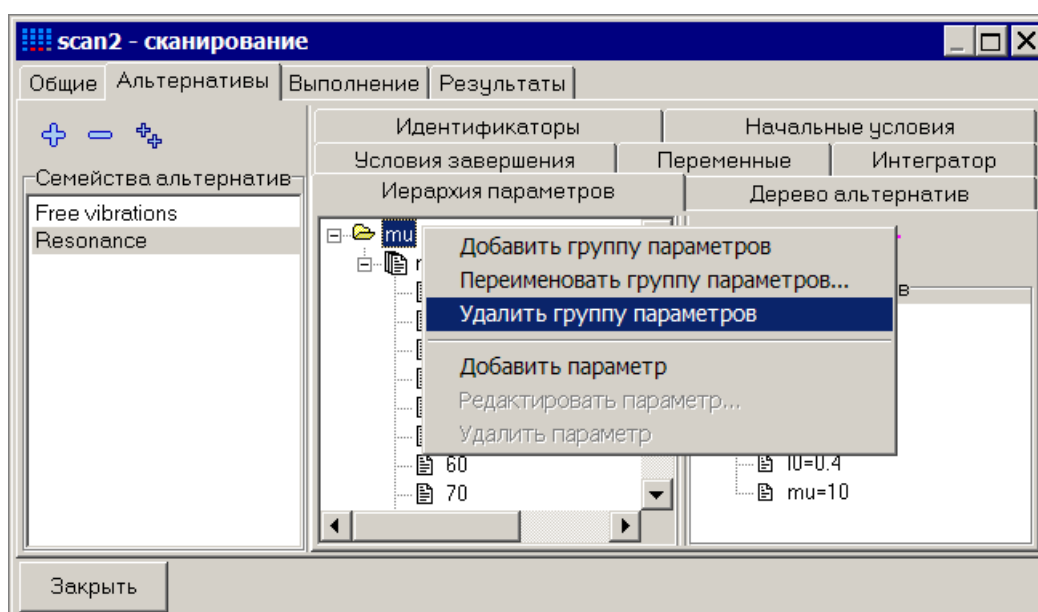


Рис. 2.9. Вынужденные колебания: иерархия параметров

3. Подтвердите удаление группы параметров **mu**.

4. В списке параметров модели справа на закладке **Иерархия параметров** щелкните на параметре **omega**. Откроется окно задания значений параметров.
5. В поле **Способ изменения** выберите **Цикл** и установите остальные параметры так, как показано на рис. 2.10. Нажмите кнопку **ОК**. Таким образом мы опишем изменение частоты вынуждающей силы от нуля до 15 с шагом 1 рад/с.
6. Переименуйте название **Группа 1** в **omega**.

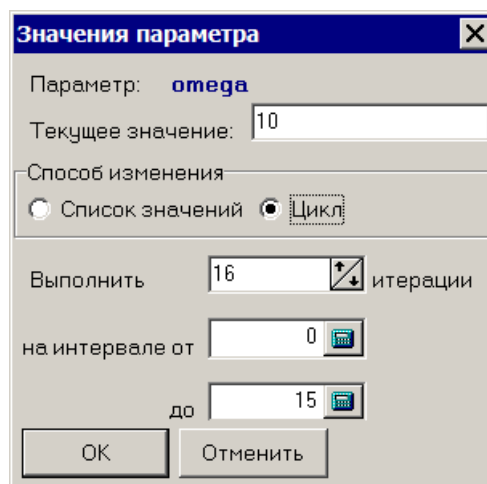


Рис. 2.10. Задание частот вынуждающей силы

Иерархия параметров для изменения теперь выглядит так, как показано на рис. 2.11.

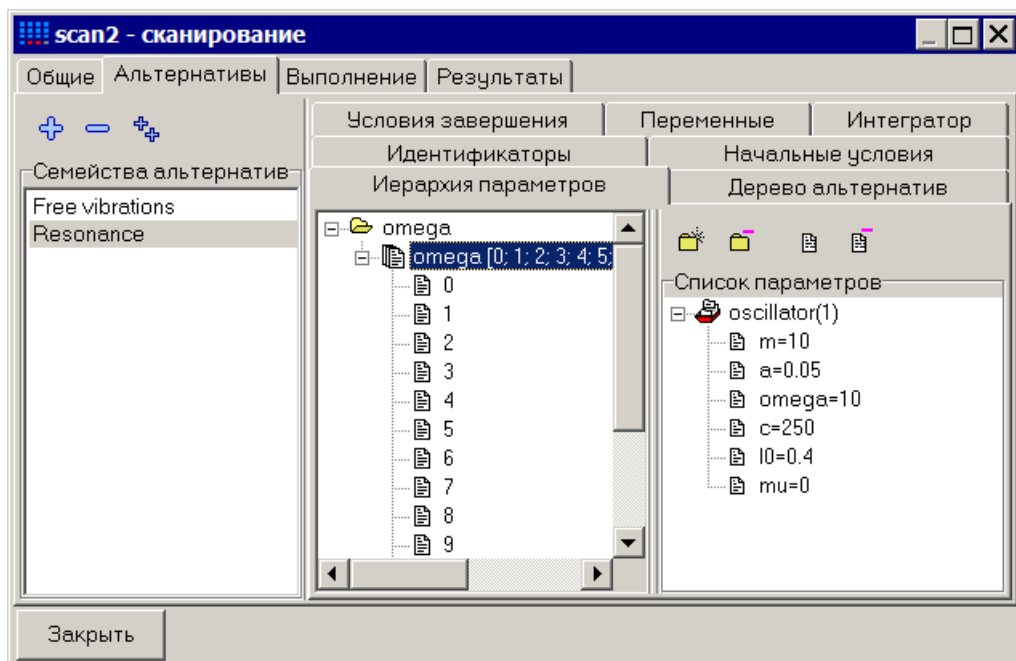


Рис. 2.11. Сканирование по частоте вынуждающей силы

Настройка значений параметров модели

1. Перейдите на закладку **Идентификаторы**.
2. Установите следующие значения параметров: **a** = **0.05** (м) и **mu** = **0** (Нс/м).

2.2. Выполнение проекта сканирования

1. Перейдите на закладку **Выполнение**.
2. При правильном описании проекта в поле **Протокол** появится сообщение «**Ошибки не обнаружены**», см. рис. 2.12.

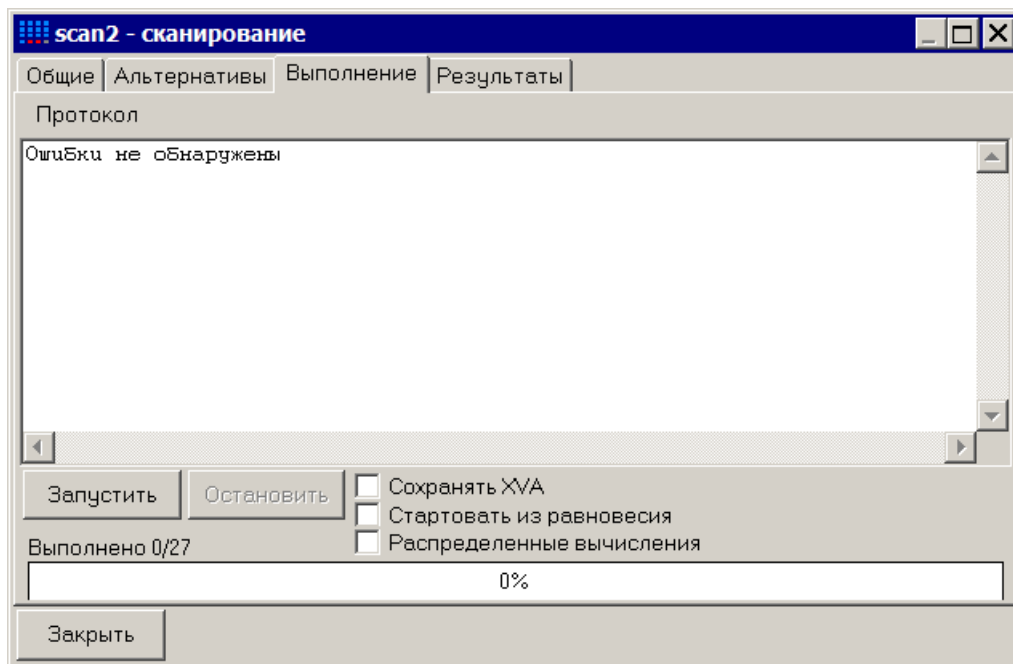


Рис. 2.12. Запуск проекта сканирования

3. Нажмите кнопку **Запустить**.

Начнется выполнение численных экспериментов. В протоколе будет отмечаться время начала и окончания каждого численного эксперимента. Индикатор прогресса показывает отношение числа полностью выполненных экспериментов к их общему числу, см. рис. 2.13.

Модель рассматриваемой нами колебательной системы относительно простая, поэтому моделирование будет выполняться довольно быстро – меньше секунды на каждый численный эксперимент.

4. По завершении проекта в протоколе выполнения появится сообщение «**Сканирование закончено**».

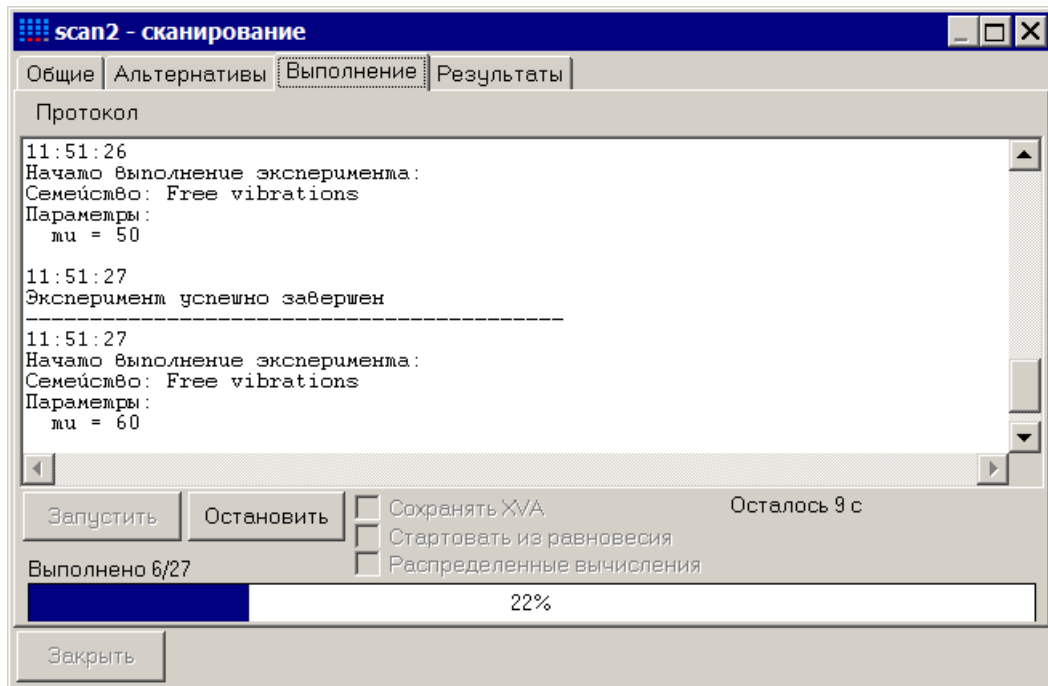


Рис. 2.13. Выполнение проекта сканирования

2.3. Анализ результатов сканирования

2.3.1. Анализ результатов отдельных экспериментов

После выполнения всех расчетов перейдем к анализу полученных результатов.

Свободные затухающие колебания

1. Выберите закладку **Результаты / Free vibrations**.

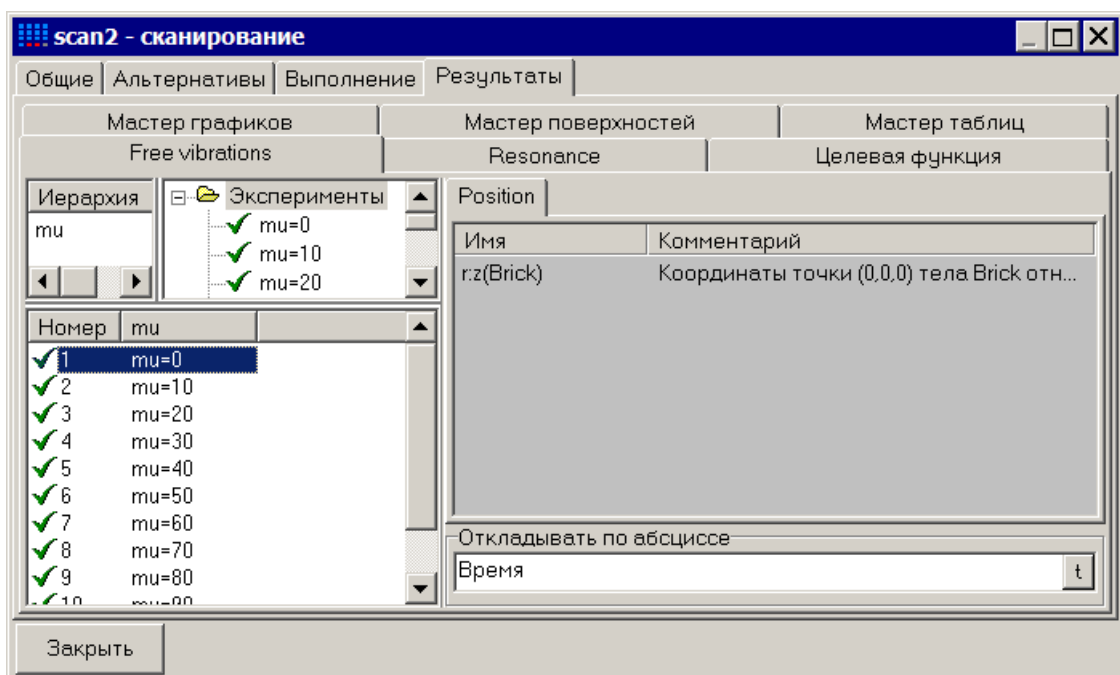


Рис. 2.14. Результаты сканирования

Сравним осциллограммы вертикальных колебаний груза при различных значениях коэффициента диссипации.

2. Откройте новое графическое окно.
3. Вернитесь в окно проекта сканирования, в списке проделанных экспериментов в левой нижней части закладки **Free vibrations** выберите все эксперименты при помощи пункта **Выделить все** контекстного меню или мышкой и клавишами **Shift** и **Ctrl**.
4. В списке переменных выделите переменную **r:z(Brick)** и перетащите ее в графическое окно.

В графическом окне построятся графики вертикальных колебаний для всех численных экспериментов, см. рис. 2.15. Рассчитанные переменные можно не только строить в графических окнах, но и обрабатывать при помощи всех доступных инструментов обработки: окна обработки *Статистики* и *Табличного процессора* (см. меню **Инструменты**).

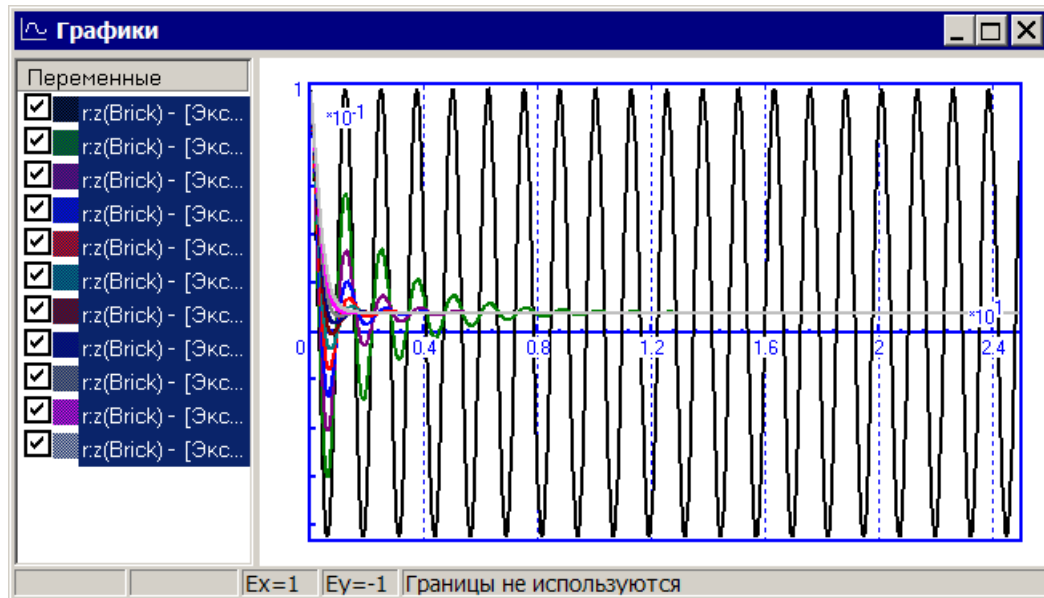


Рис. 2.15. Вертикальные колебания груза при различных значениях коэффициента диссипации

Вынужденные колебания

Придем к анализу вынужденных колебаний.

1. Откройте новое графическое окно.
2. В окне проекта сканирования выберите закладку **Результаты/Resonance**.
3. Выберите все численные эксперименты и перетащите переменную **r:z(Brick)** в графическое окно. В нем построятся графики вертикальных колебаний для всех проделанных экспериментов, см. рис. 2.16. Ясно виден резонансный случай. А теперь перейдем к анализу данных без рассмотрения осциллограмм для каждого отдельного численного эксперимента.

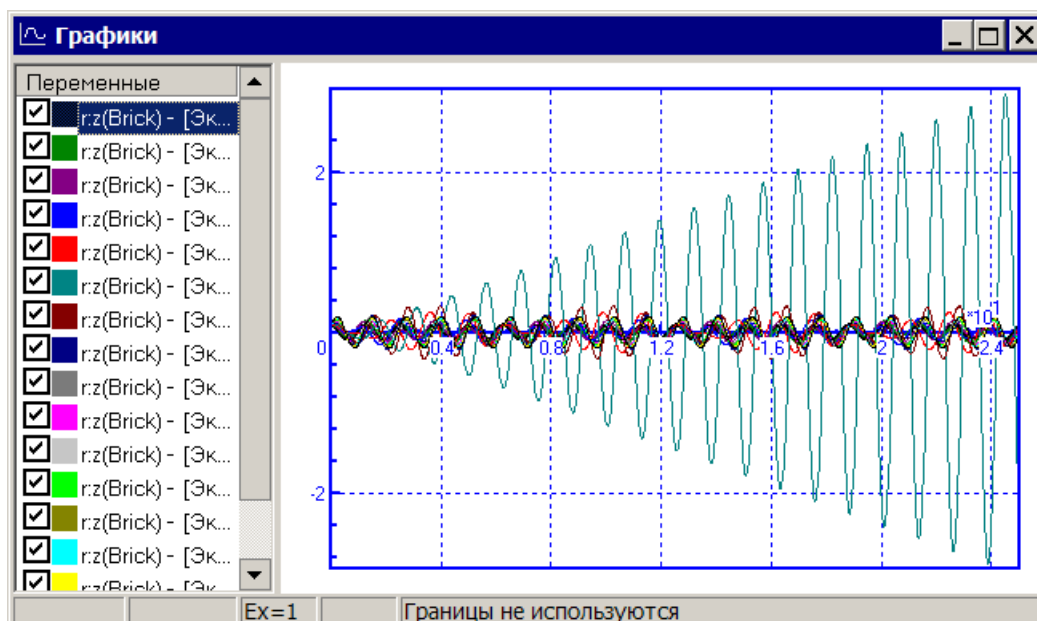



Рис. 2.16. Вертикальные колебания груза при различных частотах вынуждающей силы

2.3.2. Анализ сводных данных

Реализованные в модуле оптимизации инструменты позволяют не только строить графики рассчитанных величин для отдельного численного эксперимента, но также строить так называемые сводные графики.

Построим график зависимости среднеквадратических отклонений (СКО) вертикальных колебаний груза в зависимости от частоты вынуждающей силы.

1. Перейдите на закладку **Результаты / Мастер графиков**.
2. В поле **Семейство** выберите **Resonance**.
3. В списке переменных выберите **r:z(Brick)**.
4. В поле **Функционал** выберите **RMS** (Root mean square – среднеквадратическое отклонение, СКО).
5. В поле **Параметр** выберите **omega**.
6. На панели быстрого доступа в верхней части окна нажмите кнопку  для формирования сводного графика.

В графическом поле будет построен сводный график (см. рис. 2.17), анализ которого показывает, что максимальное значение СКО соответствует частоте вынуждающей силы 5 рад/с. Читатель, знакомый с теорией колебаний, непременно заметит, что сводный график, представленный на рис. 2.17

очень похож на амплитудно-частотную характеристику колебательной системы и несет в себе похожий физический смысл.

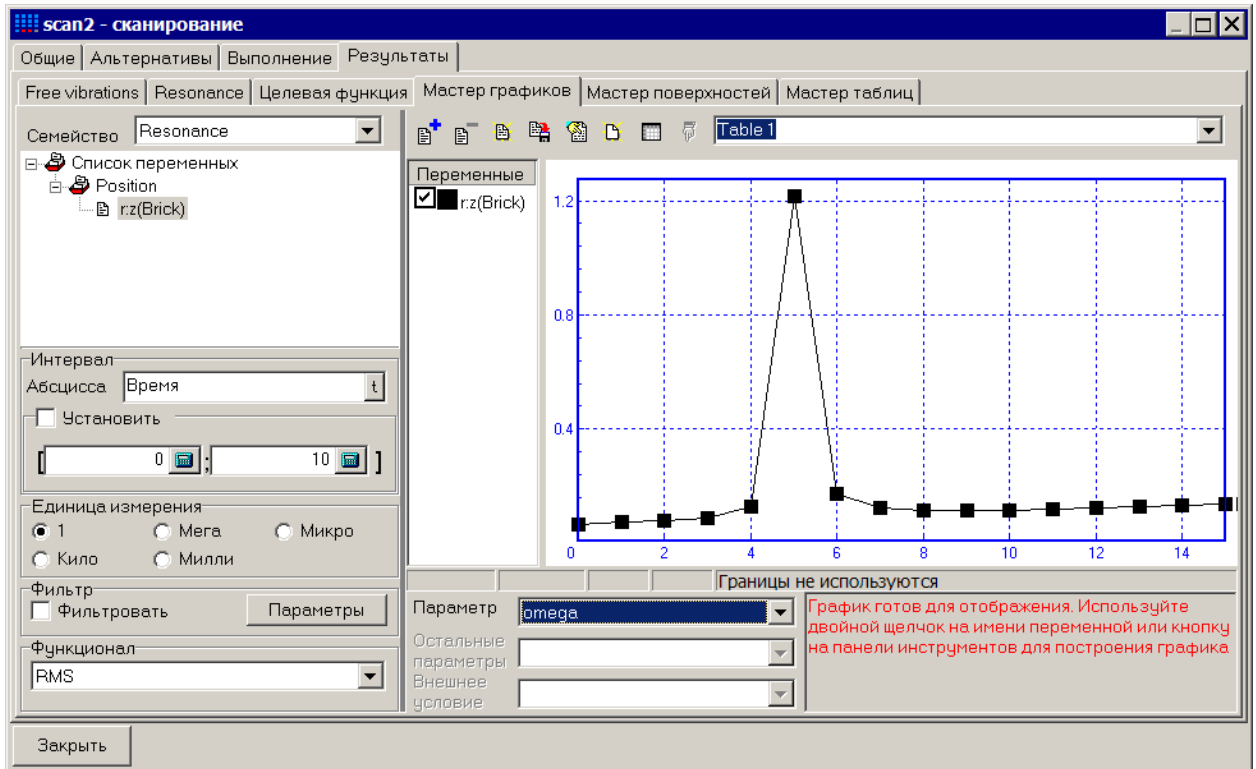


Рис. 2.17. Построение сводных графиков

3. Сканирование динамики железнодорожных экипажей

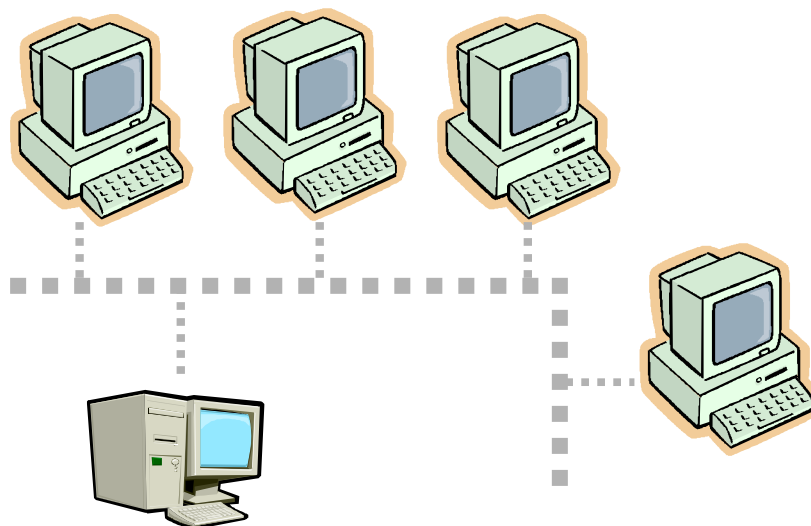
Создание и анализ результатов проектов сканирования динамики железнодорожных экипажей рассмотрено в главе **gs_UM_Loco.pdf**¹. Приведен пример описания проекта сканирования для определения критической скорости автомотрисы АС4.

¹ http://www.umlab.ru/download/60/rus/gs_um_loco.pdf

4. Применение службы распределенных вычислений

Специальное расширение модуля оптимизации – служба распределенных вычислений – позволяет использовать всю вычислительную мощность доступных в сети компьютеров для проведения параллельных численных экспериментов, что соответствующим образом сокращает время выполнения всех расчетов¹. Служба применяется для ускорения выполнения сложных расчетов за счет распределения задач между несколькими компьютерами.

Инструмент удобно использовать в рамках вычислительных центров и лабораторий. Базируясь на использовании протокола TCP/IP, сервер распределенных вычислений дает возможность задействовать в проведении расчетов



любой компьютер не только в локальной сети, но также и в корпоративной сети или в сети Интернет.

Служба состоит из двух частей: серверной и клиентской. Серверная часть работает на головном компьютере и обеспечивает управ-

ление выполнением распределенных вычислений. Клиентская часть запускается на тех компьютерах, которые будут работать под управлением сервера, получает задания на проведение численных экспериментов от сервера, выполняет их и возвращает результаты.

Замечание. Работа клиентской части службы распределенных вычислений в фоновом режиме с низким приоритетом практически незаметно для пользователя, работающего на данном компьютере.

¹ Моделирование динамики железнодорожного экипажа на пути 500 м в ПК УМ на компьютере с процессором Intel Pentium 4, 2ГГц занимает, как правило, от двух до десяти минут реального времени. Время расчета существенно зависит от целого ряда параметров: числа степеней свободы модели, наличия жестких сил, точности решения, скорости движения экипажа и т.д. Таким образом, на подобном компьютере в сутки можно выполнить примерно триста численных экспериментов

4.1. Подготовка к работе

Подготовка к использованию службы распределенных вычислений заключается в инсталляции клиентской части службы на компьютеры вычислительного кластера.

Инсталляция клиентской части находится в файле **um60client.exe**. Найдите такой файл на инсталляционном CD, если такой имеется, или скачайте из Интернета по следующей ссылке:

<http://www.umlabor.ru/download/60/rus/um60client.exe>.

Инсталлируйте **um60client.exe** на всех компьютерах, которые предположительно будут задействованы в работе службы распределенных вычислений УМ.

4.2. Описание проекта сканирования

В этой части руководства воспользуемся ранее описанным проектом (см. п. 2.1 данного руководства) и не будем подробно рассматривать процесс описания проекта сканирования.

Если в данный момент вы не имеете на своем компьютере проекта сканирования, созданного в соответствии с п. 2.1, вам нужно или описать проект заново или скачать его из Интернета по адресу

<http://www.umlab.ru/download/60/scan2.zip>.

1. Запустите программу моделирования **UM Simulation**.
2. Откройте проект сканирования **scan2**. Выберите пункт меню **Расширенный анализ / Сканирование: открыть** и откройте проект сканирования, см. рис. 4.1. Появится окно проекта сканирования.

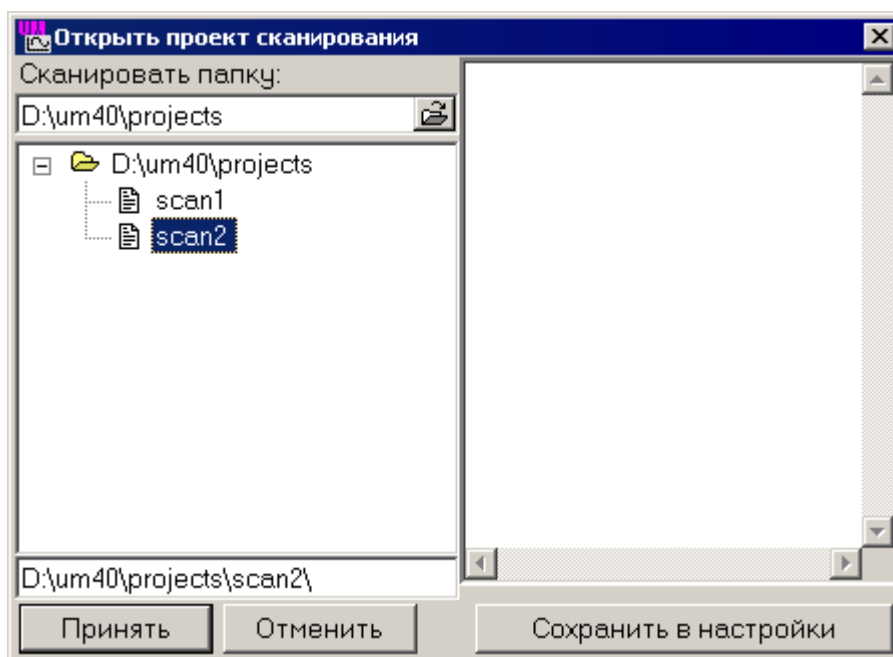


Рис. 4.1. Диалог открытия проекта сканирования

3. Выберите закладку **Общие**.
4. Если поле **Статус** имеет значение «**Выполнен полностью**» или «**Выполнен частично**», тогда необходимо удалить результаты расчета. Для этого нажмите кнопку **✘** на панели быстрого доступа окна проекта. Поле **Статус** изменится на «**Расчеты не выполнялись**».

4.3. Выполнение проекта сканирования

1. Запустите клиентскую часть службы распределенных вычислений (файл **cclient.exe**) на компьютерах вычислительного кластера, см. рис. 4.2.

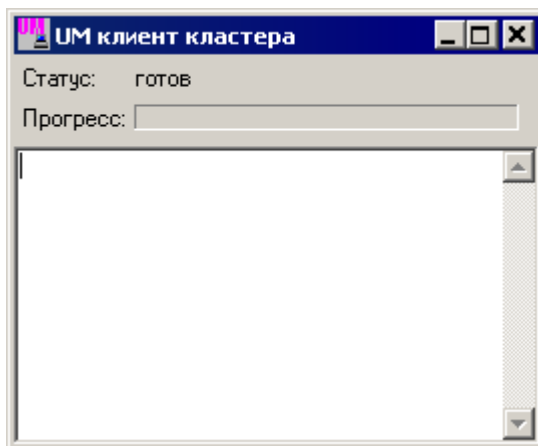


Рис. 4.2. Клиент кластера

Замечание. Установленные на компьютерах брандмауэры, антивирусные и другие программы ограничения доступа могут обнаруживать сетевую активность и блокировать дальнейшую работу клиента и/или сервера кластера. В таком случае разрешите дальнейшее исполнение программы.

2. Вернитесь в проект сканирования и перейдите на закладку **Выполнение**.
3. Включите флажок **Распределенные вычисления**.
4. Нажмите кнопку **Запустить**. Пройдет этап подготовки задания серверу распределенных вычислений и запустится сервер распределенных вычислений, см. рис. 4.3.

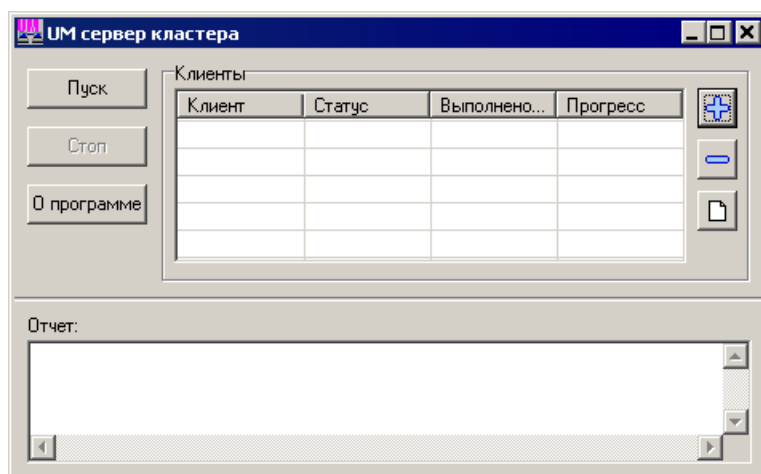
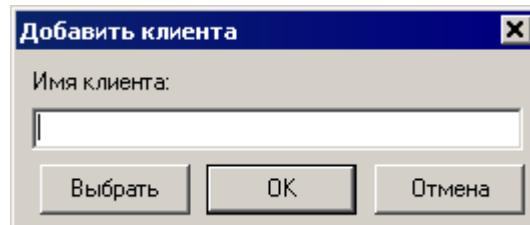


Рис. 4.3. Сервер кластера

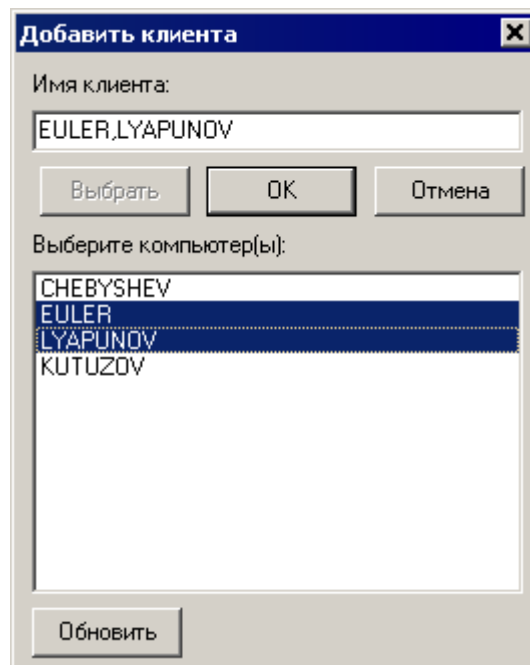
Настройка сервера распределенных вычислений

Перед запуском сервера необходимо настроить список клиентских компьютеров¹.

1. Нажмите кнопку . Появится диалоговое окно выбора клиентских компьютеров.



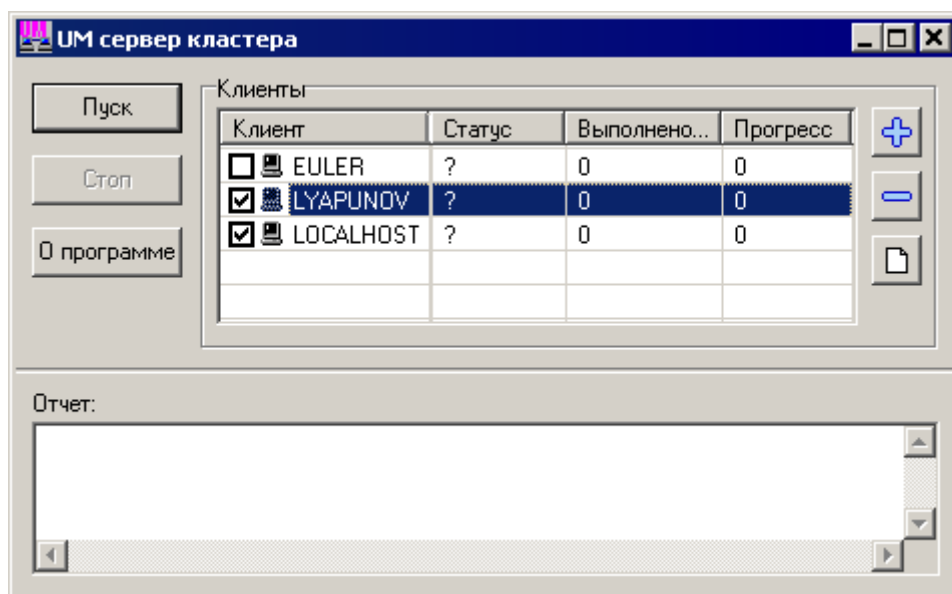
2. Нажмите кнопку **Выбрать**. Внизу окна появится список компьютеров, доступных в локальной сети. Сканирование сети может занять некоторое время.
3. При помощи мышки и клавиши **Ctrl** выберите компьютеры, которые будут принимать участие в проведении расчетов. Нажмите кнопку **ОК**. Выбранные компьютеры добавятся в список клиентов вычислительного кластера.



¹ В терминах параллельных алгоритмов вычислительным кластером называется совокупность компьютеров, объединенных в вычислительную сеть и используемых для совместного решения определенной задачи. Головной компьютер, как и программа, выдающая задания и координирующая совместную работу компьютеров кластера, называется сервером кластера. Компьютер и соответствующая программа, работающая под управлением сервера кластера, называется клиентом кластера.

Вы можете добавить в список клиентов все компьютеры локальной сети – это не приведет к автоматическому использованию их в расчетах. Участие каждого конкретного компьютера в расчете устанавливается на следующем шаге.

4. В списке **Клиенты** отметьте галочками те компьютеры, которые будут принимать участие в данном расчете.



Замечание. Если в работе вычислительного кластера вы хотите задействовать компьютер из интрасети или сети Интернет, тогда в поле **Имя клиента** просто введите его IP-адрес и нажмите **ОК**.

Замечание. Компьютер, на котором работает сервер кластера, вы одновременно можете использовать в качестве клиента кластера. Для этого сначала нужно установить на этот компьютер клиентскую часть службы распределенных вычислений, а затем в диалоге добавления клиентских компьютеров в поле **Имя клиента** ввести **LOCALHOST**.

Запуск сервера распределенных вычислений

1. Нажмите кнопку **Старт**.

Начнется выполнение проекта сканирования. Во время вычислений можно подключать в кластер новые компьютеры, а также отключать уже используемые. Для подключения клиента следует включить галочку в его позиции в списке **Клиенты** или в контекстном меню выбрать **Подключить**. Для отключения клиента с остановкой выполнения текущего задания выберите пункт меню **Остановить**, для отключения после завершения текущего задания – команду **Отключить**.

2. Появление в отчете сервера сообщения «===== выполнено =====» говорит о завершении всех заданий, после чего окно сервера можно закрыть.

Расчет можно остановить до его завершения нажатием кнопки **Стоп**, при этом выполнение всех текущих заданий будет прервано, а результаты уже завершенных – сохранены. Продолжить выполнение расчета можно как при помощи вычислительного кластера (нажатием кнопки **Продолжить**), так и локально, закрыв окно сервера и сняв флажок **Распределенные вычисления** в проекте сканирования.

5. Описание и выполнение проекта оптимизации

В качестве примера использования классических методов оптимизации, реализованных в ПК «Универсальный механизм», рассмотрим задачу балансировки ротора точечной массой.

Ротор (тело 1 на рис. 5.1), установлен таким образом, что его центр масс не лежит на оси вращения. Масса ротора 10 кг, точечная масса (тело 2 на рис. 5.1) – 1 кг. Положение оси вращения относительно центра ротора задается двумя параметрами: $dy=dz=0.01$ м. Радиус ротора $R=0.2$ м. Положение точечной массы в системе координат ротора – начало отсчета находится в центре ротора, см. рис. 5.1 – задается двумя параметрами dey и dez , которые есть сдвиг вдоль осей Y и Z соответственно.

Задача оптимизации – минимизировать динамические реакции в шарнире, возникающие при вращении несбалансированного ротора, при помощи точечной массы 2.

Точное аналитическое решение: $dey=dez=0.11$. На рис. 5.2 представлены силы реакции в сбалансированном ($dey=dez=0.11$) и несбалансированном роторе ($dey=dez=0$).

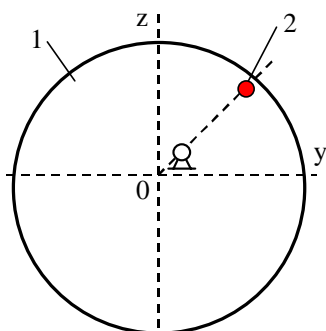


Рис. 5.1. Расчетная схема

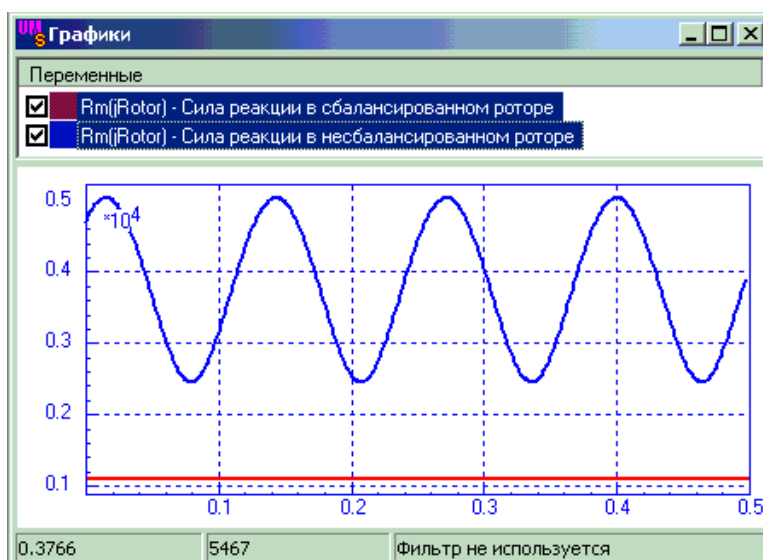


Рис. 5.2. Силы реакций в сбалансированном и несбалансированном шарнире

5.1.1. Создание нового проекта

1. Запустите программу моделирования **UM Simulation**.
2. Для создания нового проекта выберите пункт меню **Расширенный анализ / Оптимизация: новый проект....**
3. В появившемся окне введите полный путь к каталогу проекта оптимизации, включая имя проекта (см. рис. 2.2).
4. Нажмите кнопку **Создать** и после этого появится окно описания проекта оптимизации (см. рис. 2.3).

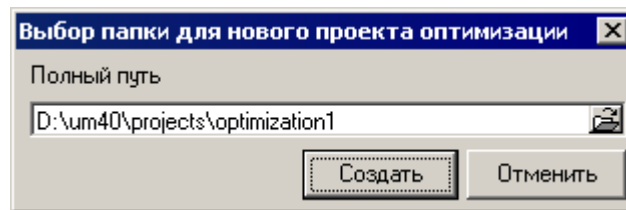


Рис. 5.3. Диалог выбора папки для нового проекта оптимизации

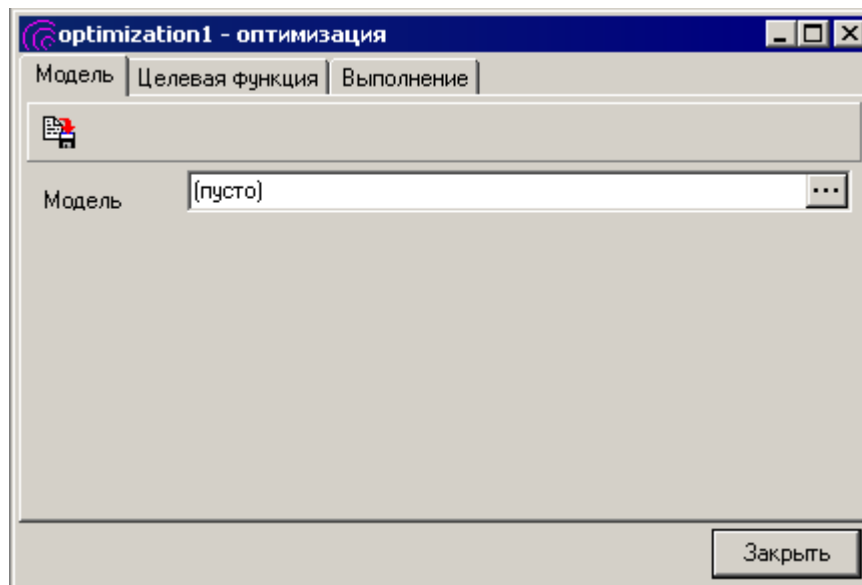



Рис. 5.4. Окно описания проекта оптимизации: начало работы

5.1.2. Загрузка модели для оптимизации

1. В поле **Модель** нажмите кнопку . Появится диалог открытия модели.
2. Выберите модель `{um_root}\samples\tutorial\excentric`. Модель будет загружена, ее параметры будут отражены в списке параметров в правой части окна проекта, см. рис. 5.5.

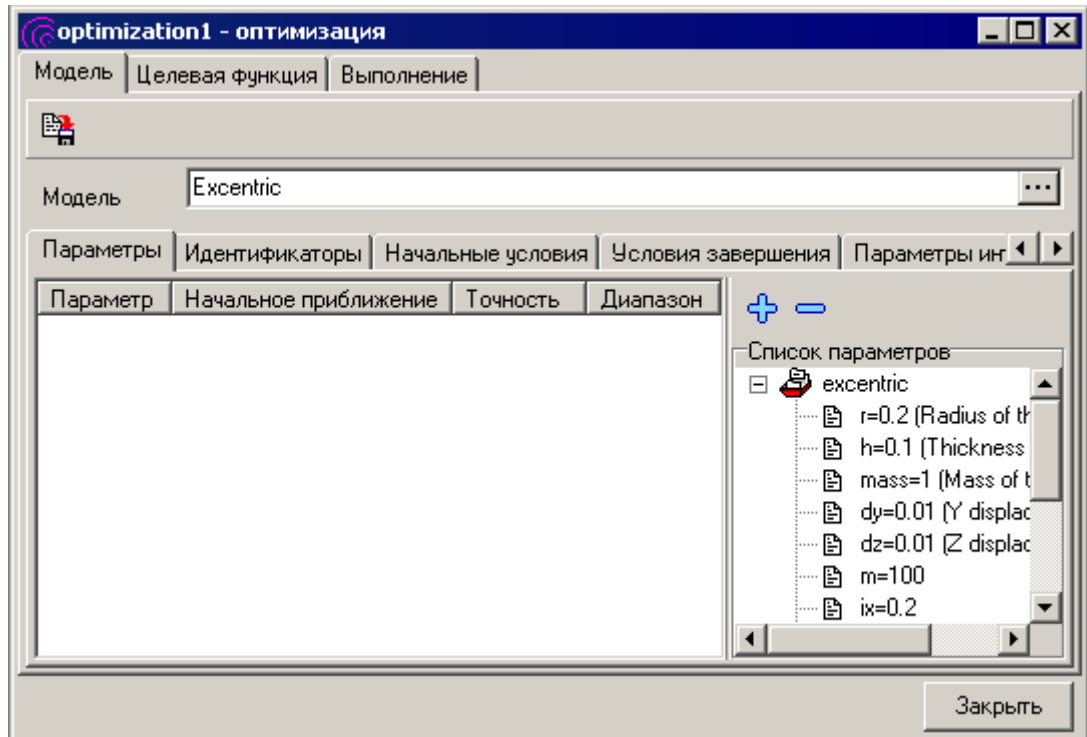


Рис. 5.5. Проект оптимизации: загрузка модели

5.1.3. Выбор параметров для оптимизации

Наша задача – найти такие значения координат точечной массы относительно груза, которые бы обеспечили балансировку ротора. Положение точечной массы относительно ротора задают параметры **dey** и **dez**, которые, как уже отмечалось, есть сдвиг вдоль осей *Y* и *Z* соответственно.

1. В списке параметров модели щелкните левой кнопкой мыши на параметре **dey**. Появится новое диалоговое окно, см. рис. 5.6.
2. В поле **Точность** введите **0.001** (в данном случае имеет размерность метров). Таким образом, оптимальное положение точечной массы мы будем искать с точность до 1 мм.
3. В поле **Нижняя граница** выберите **число** и введите **-0.2**. Здесь заметим, что радиус ротора составляет 0.2 м, поэтому и введено именно такое значение границы.
4. В поле **Верхняя граница** также выберите **число** и введите **0.2**.
5. Закройте диалог кнопкой **ОК**.
6. Добавьте параметр **dez** к списку параметров и выполните для него точно такие же настройки.

После выполнения всех операций, закладка **Параметры** мастера подготовки проекта оптимизации будет выглядеть, как на рис. 5.7.

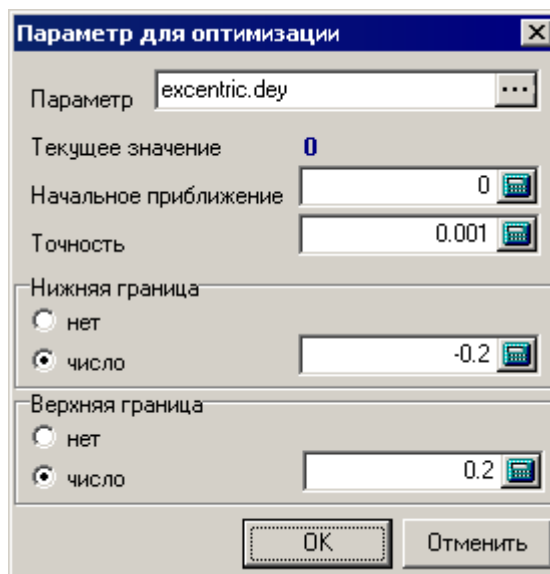


Рис. 5.6. Проект оптимизации: описание параметра

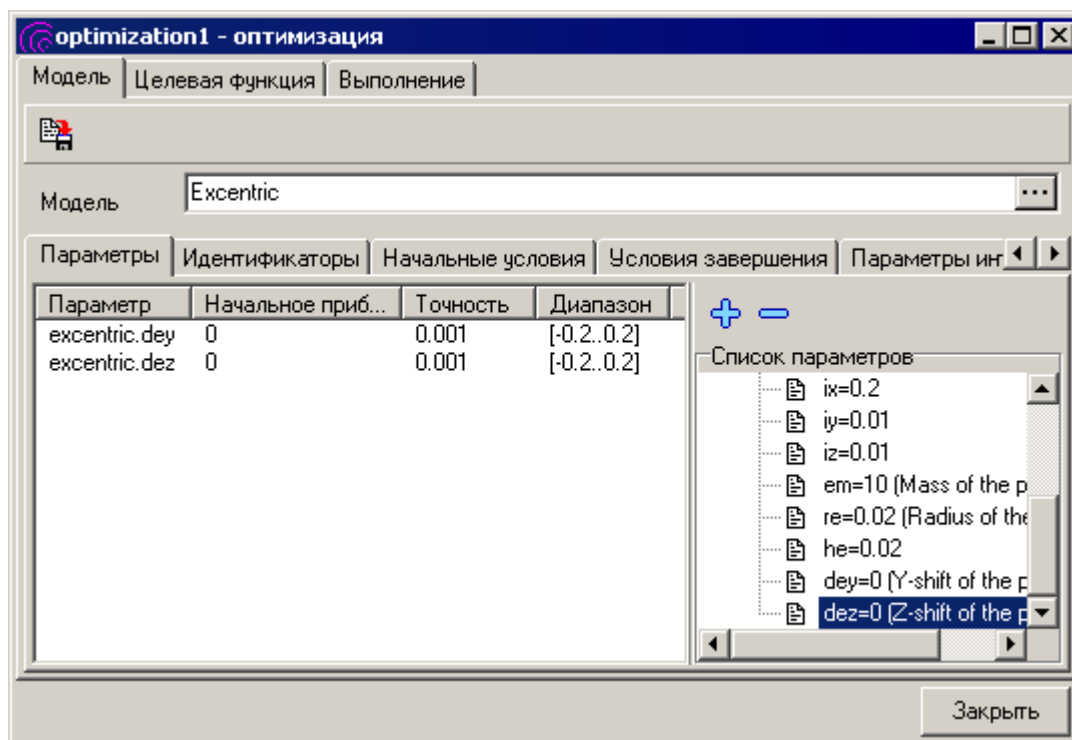


Рис. 5.7. Параметры оптимизации

5.1.4. Начальные условия

Далее, на вкладке **Модель / Начальные условия** зададим произвольную, но вместе тем весьма высокую, начальную угловую скорость ротора, с которой он гарантированно сделает полный оборот, например 50 рад/с, см. рис. 5.8.

Отметим, что, начиная движение из положения равновесия с малой начальной скоростью, несбалансированный ротор может не сделать полный оборот, а будет совершать колебания на оси наподобие маятника.

1. Перейдите на закладку **Начальные условия**. Введите начальную угловую скорость ротора **50** рад/с, см. рис. 5.8.

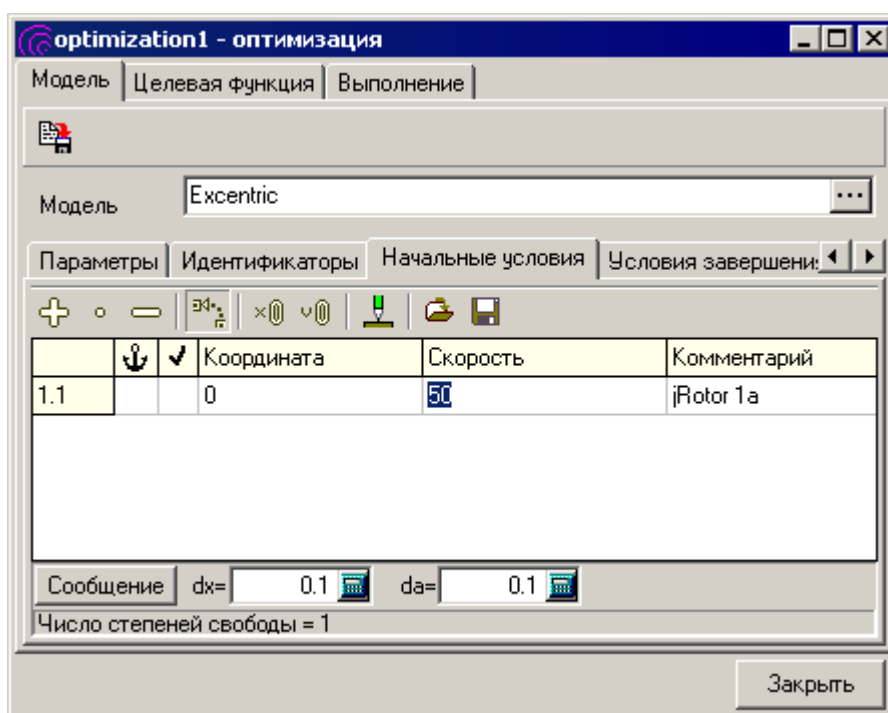


Рис. 5.8. Оптимизация: начальные условия

5.1.5. Условия завершения

Очевидно, что для периодических процессов достаточно рассмотреть поведение системы за один период. При этом нужно обратить внимание на то, чтобы **Шаг представления результатов** (вкладка **Модель / Параметры интегратора**) был значительно меньше времени совершения одного цикла. Иначе на графиках сохраненных переменных, по которым вычисляется целевая функция, будет слишком мало точек для адекватного вычисления функционалов, что может привести к значительному искажению результатов оптимизации.

С учетом вышеприведенного замечания выберем следующее условие завершения:

$$\varphi > 2 * \pi,$$

где φ - угол поворота ротора в радианах.

1. Перейдите на закладку **Условия завершения**.
2. Откройте **Мастер переменных** (пункт меню **Инструменты / Мастер переменных**). Создайте переменную, соответствующую координате 1.1 так, как показано на рис. 5.9 и перетащите эту переменную в окно описания проекта оптимизации, как это показано на рис. 5.9.
3. В числовом поле введите **6.283**.

Описание условий завершения закончено.

Замечание Угол поворота ротора в этой задаче – координата, соответствующая единственной степени свободы. С другой стороны, в нашем примере при угловой скорости 50 рад/с ротор делает один оборот за 0.126 с, если принять угловую скорость примерно постоянной, и в качестве условия завершения можно было бы установить $Время > 0.13$. Однако такое допущение может потенциально привести к серьезным ошибкам, так как угловая скорость ротора непостоянна, а время одного оборота зависит также и от положения точечной массы.

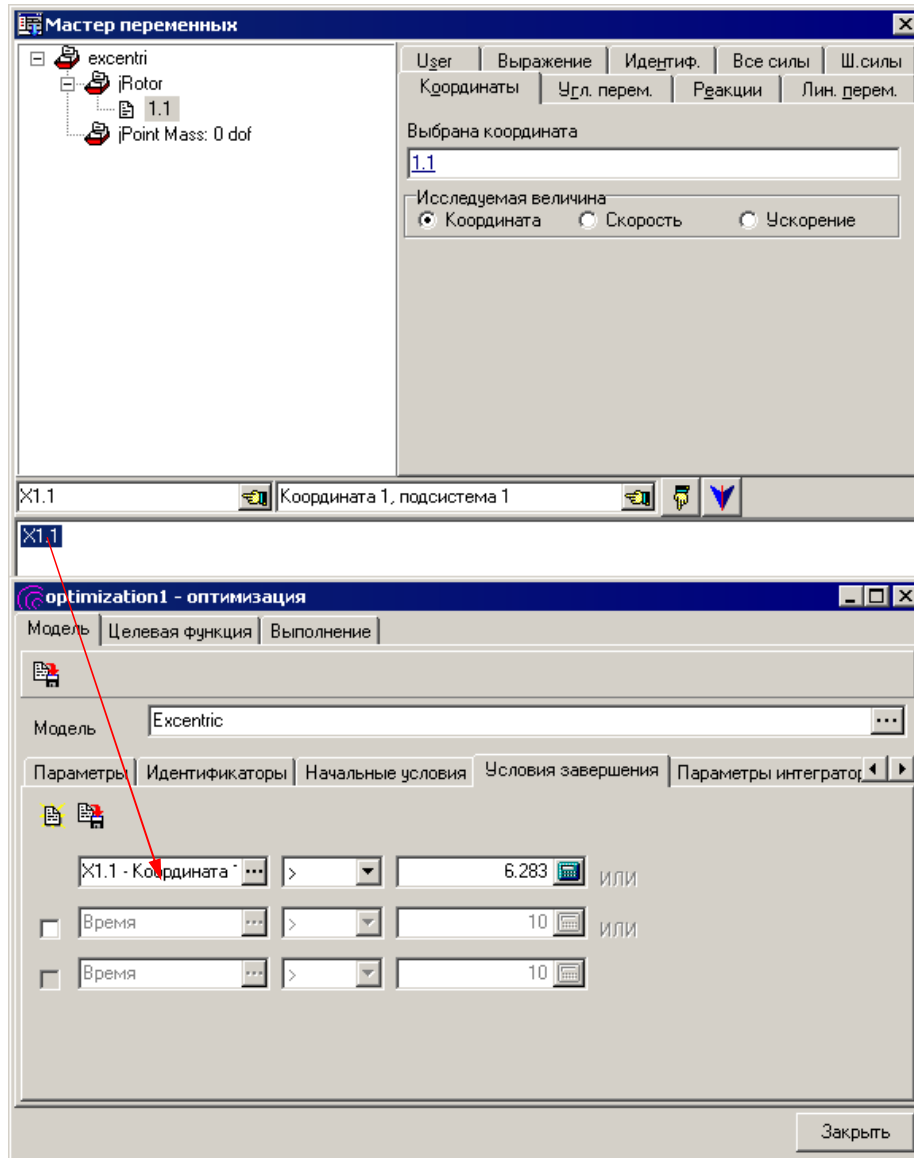


Рис. 5.9. Оптимизация: условия завершения

5.1.6. Параметры интегратора

1. Перейдите на закладку **Параметры интегратора**.
2. В поле **Параметры моделирования / Шаг представления результатов** введите **0.001** с, см. рис. 5.10. Таким образом, мы получим как минимум 125 точек на графике силы реакции за один оборот ротора с начальной угловой скоростью 50 рад/с, что вполне достаточно.

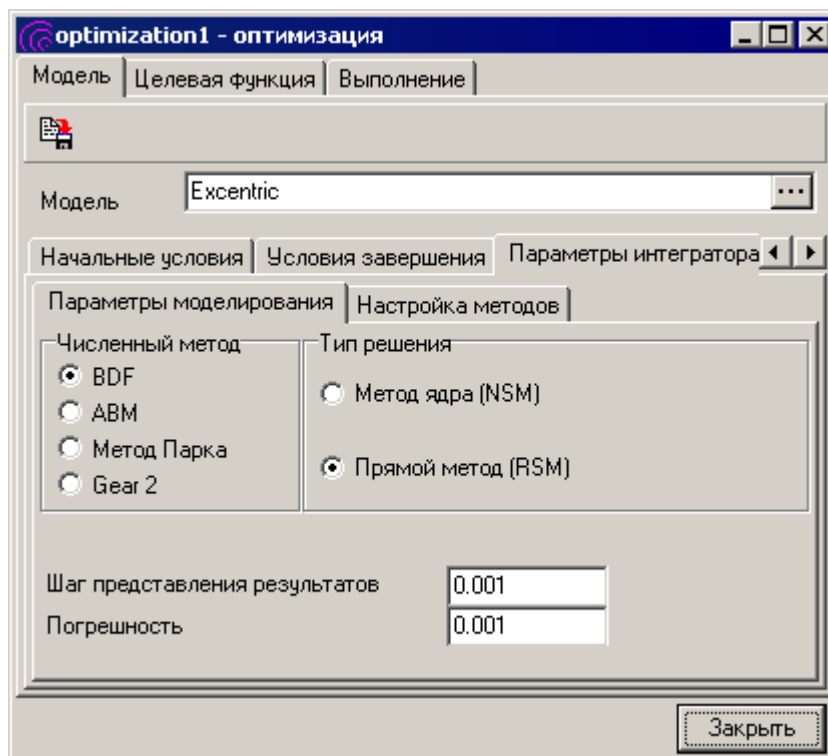


Рис. 5.10. Оптимизация: параметры моделирования

Подготовка проекта к запуску закончена, перейдем к описанию целевой функции.


5.2. Описание целевой функции

Для описания целевой функции в ПК «Универсальный механизм» реализован метод анализа иерархий, разработанный Томасом Саати. Идея метода состоит в том, чтобы выразить главную цель оптимизации через цели нижнего уровня и назначать каждой подцели определенный вес относительно старшей цели в соответствии с конкретной задачей оптимизации. Таким образом поддерживается многокритериальная оптимизация.

В данном примере мы не будем выстраивать многоуровневую иерархию целей и ограничимся одним узлом иерархии. Опишем целевую функцию таким образом, чтобы в процессе оптимизации отыскать такие значения параметров оптимизации, которые минимизируют амплитудные (максимальные) значения силы реакции в шарнире между ротором и базой – так называемая минимаксная задача.

1. Перейдите на закладку **Целевая функция**.

По умолчанию иерархия критериев включает единственный узел *Оптимальное техническое решение*, см. рис. 5.11. Переименуем узел **Оптимальное техническое решение** в **Сила реакции**.

2. В дереве критериев (см. рис. 5.11) выберите **Оптимальное техническое решение**, вызовите контекстное меню и в нем выберите пункт **Переименовать**. Введите **Сила реакции** и нажмите **Enter**.
3. Нажмите кнопку  для проверки целостности описания иерархии. Отчет о проверке целостности будет выведен в нижней части окна, см. рис. 5.12.

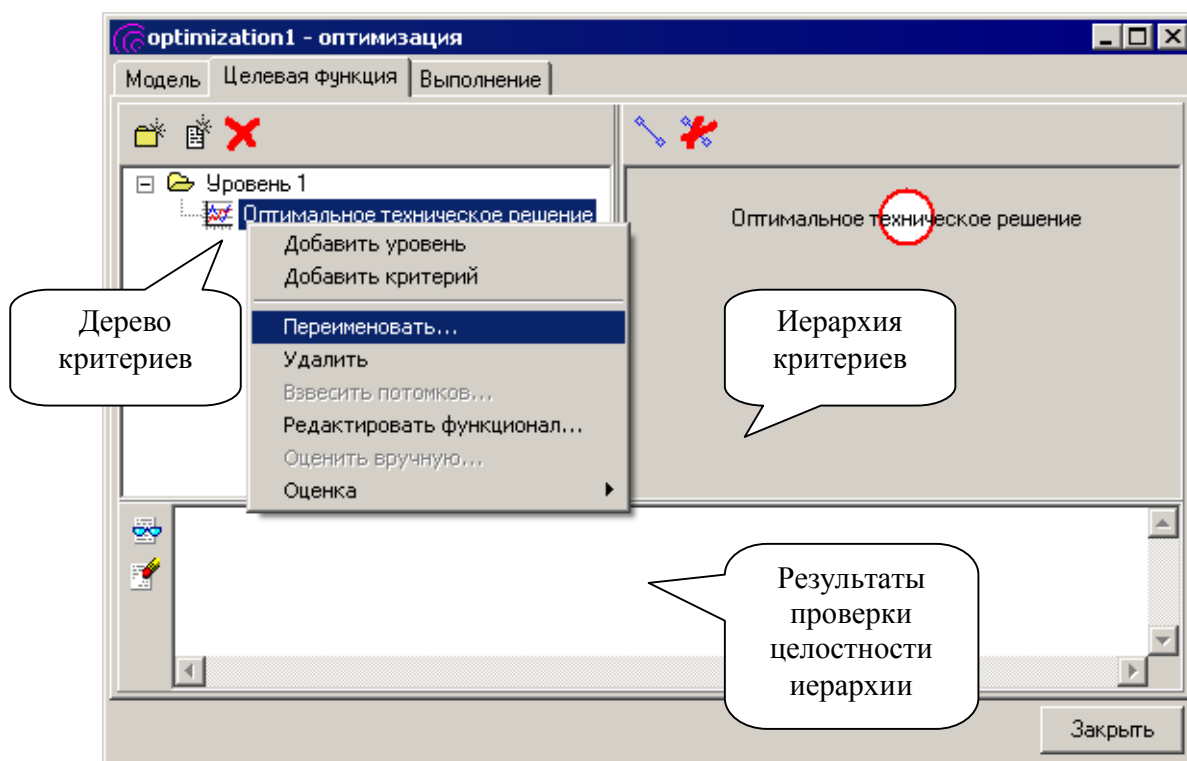


Рис. 5.11. Оптимизация: целевая функция

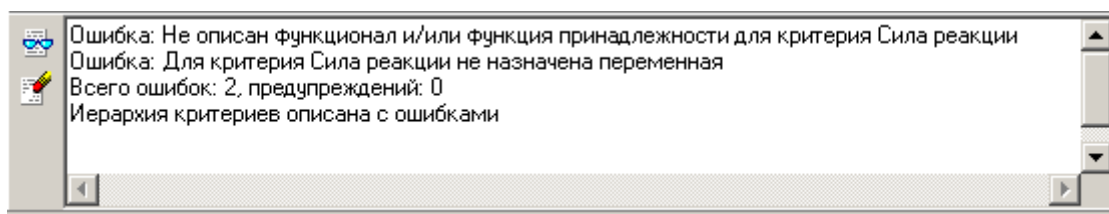


Рис. 5.12. Проверка целостности описания целевой функции

Далее при помощи **Мастера переменных** мы сформируем переменную для силы реакции в шарнире и назначим эту переменную узлу **Сила реакции**.

4. Откройте **Мастер переменных** и сформируйте переменную для силы реакции в шарнире, как это показано на рис. 5.13. Затем перетащите сформированную переменную на узел **Сила реакции** в описание целевой функции, рис. 5.13.

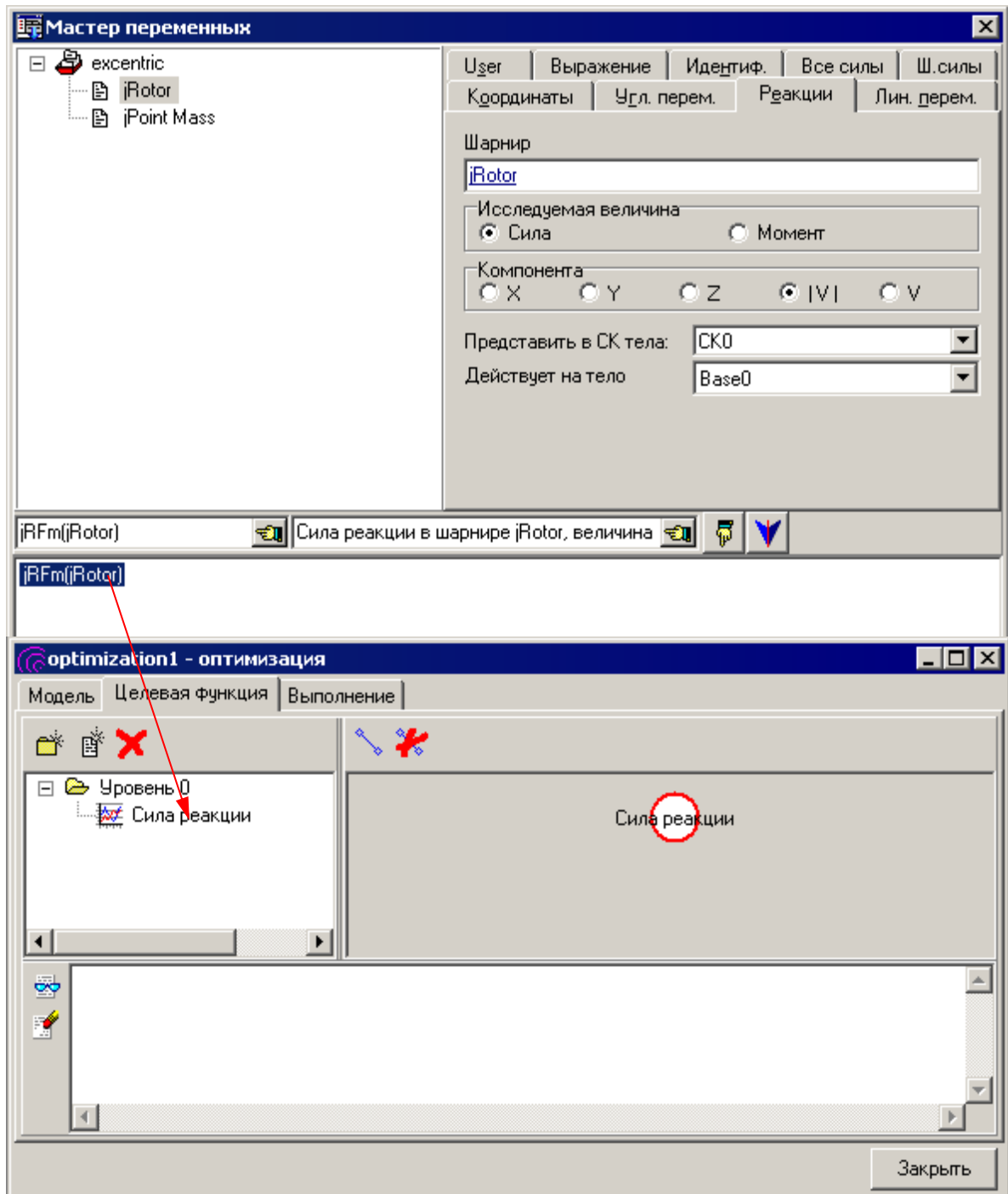



Рис. 5.13. Назначение переменной

Далее мы опишем правило, по которому будет вычисляться целевая функция на основе истории изменения значения силы реакции в шарнире.

5. Дважды щелкните левой кнопкой мыши на узле **Сила реакции** в дереве критериев или выберите пункт меню **Редактировать функционал** в контекстном меню. Откроется новое окно, см. рис. 5.14.
6. Нажмите кнопку  для добавления нового функционала.

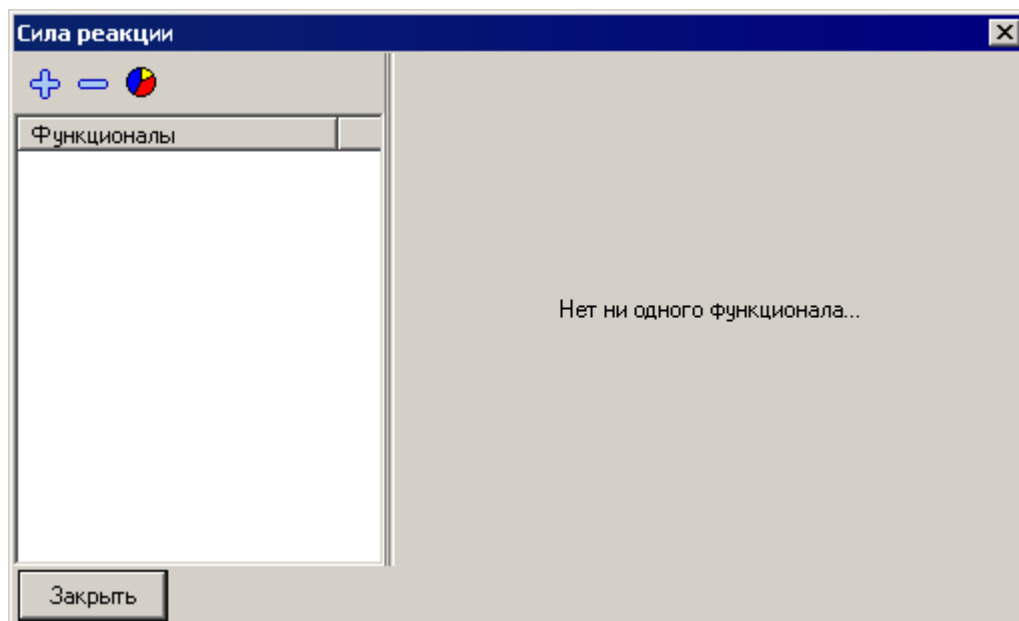


Рис. 5.14. Окно описания функционалов

7. В поле **Функционал** выберите **MaxAbs** (максимум по абсолютной величине), **Способ оценки** установите в **Непосредственно по значению функционала**, выключите флажок **Значения функционала ограничены**, и для решения задачи минимизации включите флажок **Минимизировать функционал** (по умолчанию решается задача максимизации целевой функции), см. рис. 5.15.
8. Закройте окно кнопкой **Заккрыть**.

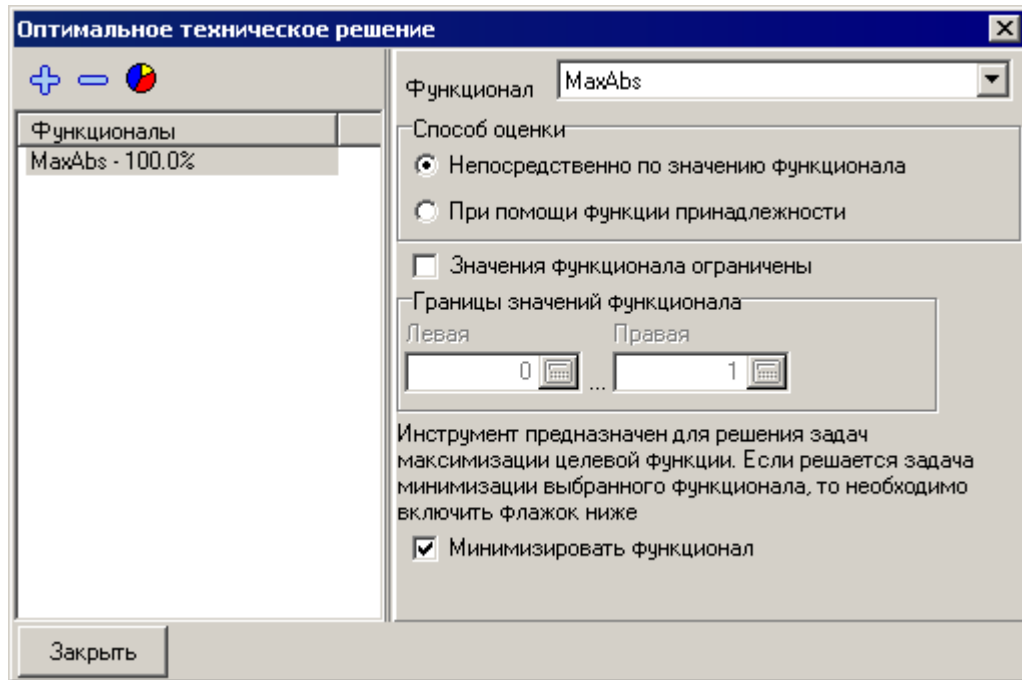



Рис. 5.15. Описание функционала

Теперь мы полностью описали целевую функцию, вы можете это проверить, выполнив проверку нажатием кнопки . Далее перейдем к выполнению проекта оптимизации.

5.3. Выполнение проекта оптимизации

1. Перейдите на закладку **Выполнение**.
2. В поле **Методы** выберите **Хука-Дживса**.
3. Нажмите кнопку **Запустить**. Начнется последовательное выполнение численных экспериментов, где оптимизируемые параметры будут меняться в соответствии с внутренней стратегией оптимизации метода.

По окончании вычислений в окне протокола приводится следующая информация: общее число выполненных экспериментов, обнаруженные оптимальные значения параметров и значение целевой функции с этими параметрами.

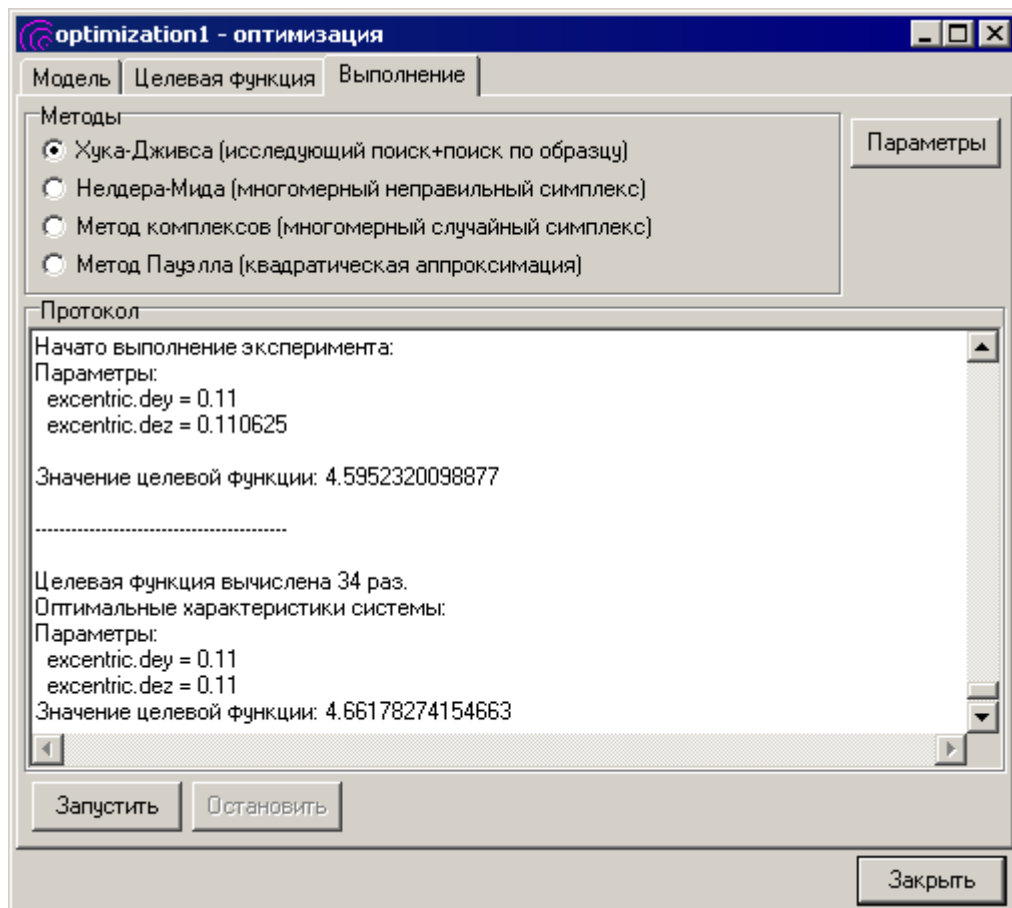


Рис. 5.16. Выполнение проекта оптимизации

В нашем примере для нахождения оптимума с точностью 1 мм понадобилось 34 эксперимента. Обратите внимание, что положение оптимума найдено в задаче с абсолютной точностью (аналитическое решение дано выше). Это, конечно, случайность, и связано с тем, что расстояние от начальной точки до аналитического оптимума делится без остатка на точность для каждого пара-

метра. Сравним найденные результаты с решением, полученным для другой точности. Будем искать оптимум задачи с точностью по каждому параметру равной 0,33 мм. Метод Хука-Дживса обнаруживает следующие результаты: $dey=dez=0,10993$ м, общее число экспериментов – 51.