



Начинаем работать



# Модуль многочвариантных расчетов

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

## Оглавление

<b>НАЧИНАЕМ РАБОТАТЬ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ»: МОДУЛЬ МНОГОВАРИАНТНЫХ РАСЧЕТОВ .....</b>	<b>3</b>
<b>1. О МОДУЛЕ МНОГОВАРИАНТНЫХ РАСЧЕТОВ .....</b>	<b>4</b>
<b>2. СОЗДАНИЕ, ВЫПОЛНЕНИЕ И АНАЛИЗ ПРОЕКТА СКАНИРОВАНИЯ .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА СКАНИРОВАНИЯ.....</b>	<b>6</b>
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
<b>2.2. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЕКТА СКАНИРОВАНИЯ.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СКАНИРОВАНИЯ .....</b>	<b>17</b>
2.3.1. Анализ результатов отдельных экспериментов .....	17
2.3.2. Анализ сводных данных.....	19
<b>3. СКАНИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЭКИПАЖЕЙ .....</b>	<b>21</b>
<b>4. ПРИМЕНЕНИЕ СЛУЖБЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ .....</b>	<b>22</b>

## Начинаем работать в программном комплексе «Универсальный механизм»: модуль многовариантных расчетов

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](#)<sup>1</sup>, 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](#)<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> [www.universalmechanism.com/download/90/rus/gs\\_um.pdf](http://www.universalmechanism.com/download/90/rus/gs_um.pdf)

<sup>2</sup> [www.universalmechanism.com/download/90/rus/gs\\_um\\_loco.pdf](http://www.universalmechanism.com/download/90/rus/gs_um_loco.pdf)

## 1. О модуле многовариантных расчетов

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 к различным параметрам, выбора наилучших значений параметров. В ПК "Универсальный механизм" для этого используется модуль многовариантных расчетов UM Experiments, предназначенный для расширенного анализа динамических свойств моделей.

Модуль автоматизирует 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 проекта *сканирования* 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, позволяющие провести анализ отклика модели к изменяемым параметрам. Проект сканирования не имеет ограничений по числу исследуемых параметров, т.е. является многопараметрическими. Размерность определяется только содержанием каждого конкретного исследования с одной стороны и, конечно, затратами машинного времени с другой.

## 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](#)<sup>3</sup>.

Инструмент для параметрического сканирования доступен только в поставках с включенным модулем оптимизации (**UM Experiments**). Для проверки наличия модуля оптимизации запустите программу **UM Input** или **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 [{Данные УМ}\SAMPLES\TUTORIAL\oscillator](#), либо скачайте из интернета по адресу [www.universalmechanism.com/download/90/oscillator.zip](http://www.universalmechanism.com/download/90/oscillator.zip).

Подробнее о модуле многовариантных расчетов см. [Главу 6](#) «Модуль многовариантных расчетов и оптимизации»<sup>4</sup>.

Полностью описанный и рассчитанный проект сканирования, который рассматривается в данном примере, можно найти в папке [{UM Data}\SAMPLES\TUTORIAL\scan2](#) или загрузить по следующей ссылке:

[www.universalmechanism.com/download/90/scan2.zip](http://www.universalmechanism.com/download/90/scan2.zip).

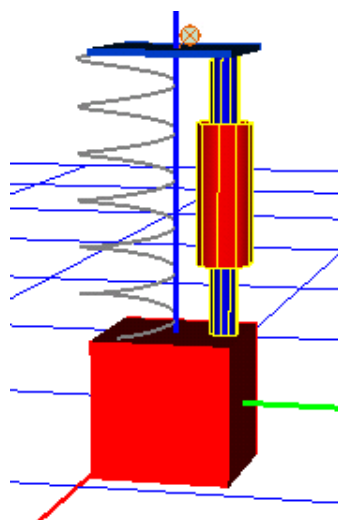


Рис. 2.1. Модель колебательной системы

<sup>3</sup> Файл [gs\\_UM.pdf](#) можно найти в каталоге [{Данные УМ}\manual](#) или скачать из интернета по адресу [www.universalmechanism.com/download/90/rus/gs\\_um.pdf](http://www.universalmechanism.com/download/90/rus/gs_um.pdf)

<sup>4</sup> [www.universalmechanism.com/download/90/rus/gs\\_um\\_experiments.pdf](http://www.universalmechanism.com/download/90/rus/gs_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 **Сканирование | Новый проект...**
3. В появившемся окне введите полный путь к каталогу сканирования, включая имя проекта (см. рис. 2.2).
4. Нажмите кнопку **ОК** и подтвердите создание нового каталога, после этого появится окно описания проекта сканирования (см. рис. 2.3).

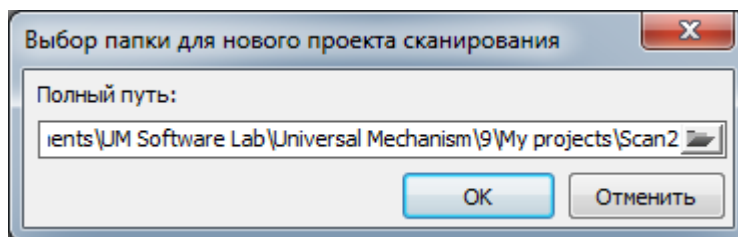


Рис. 2.2. Диалог выбора папки для нового проекта сканирования

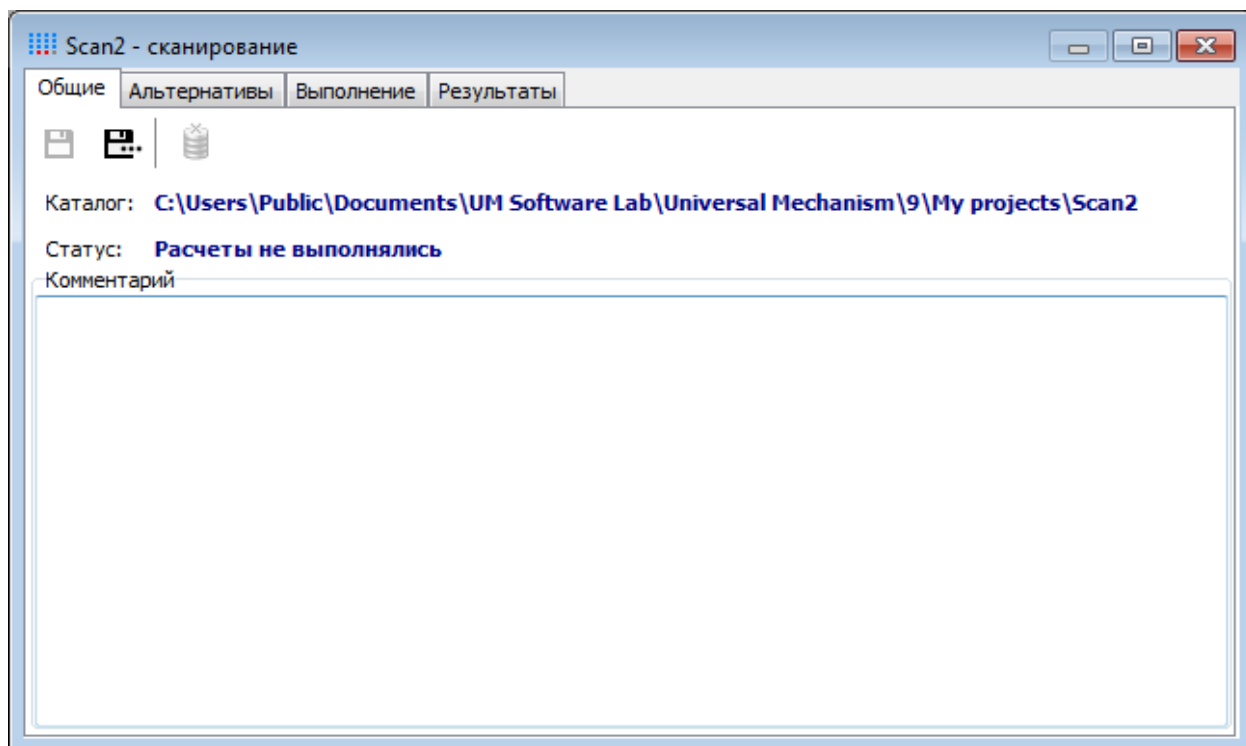


Рис. 2.3. Окно описания проекта сканирования: начало работы

## 2.1.2. Добавление новой модели к проекту сканирования

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

Модель вы можете найти в каталоге `{Данные УМ}\SAMPLES\TUTORIAL\oscillator` или скачать по адресу [www.universalmechanism.com/download/90/rus/oscillator.zip](http://www.universalmechanism.com/download/90/rus/oscillator.zip).

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

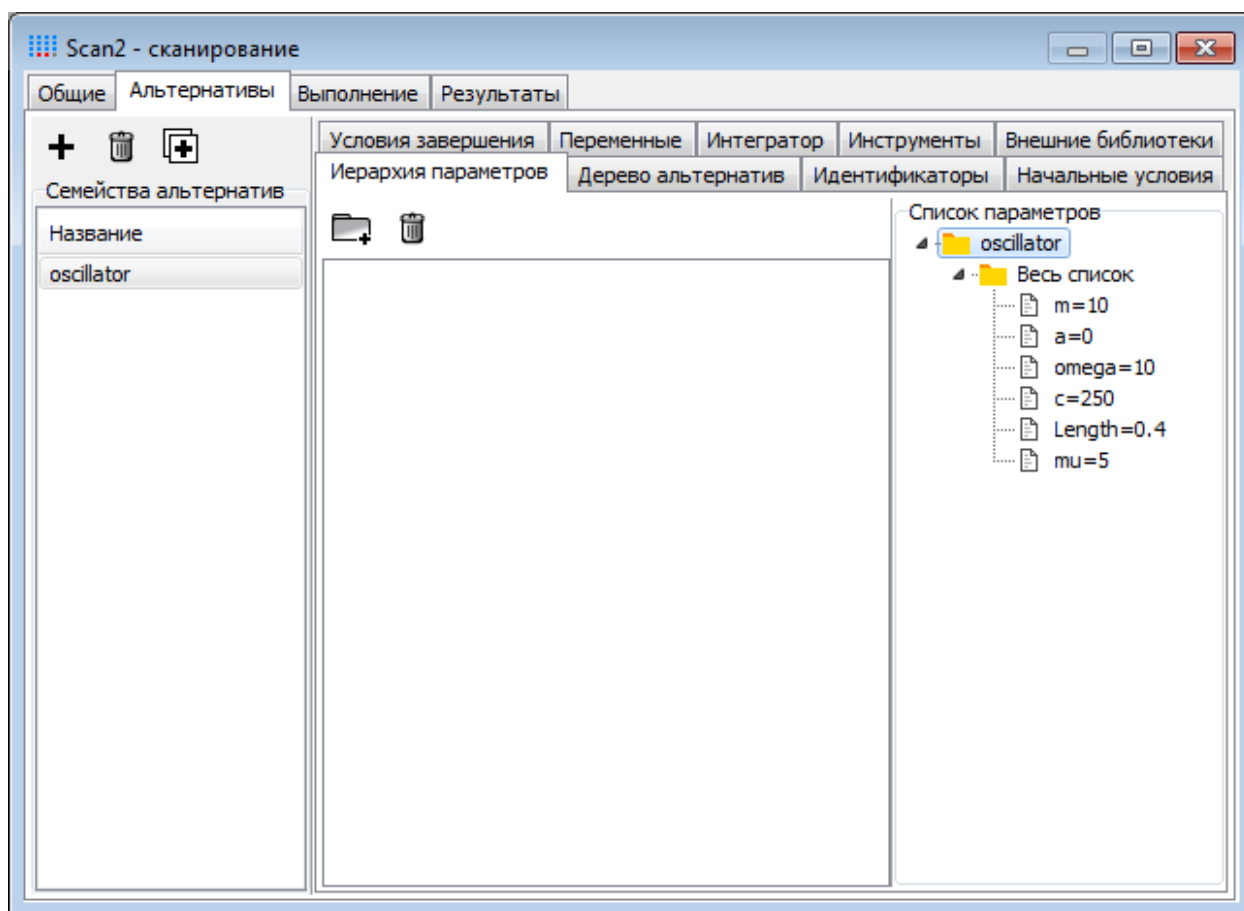
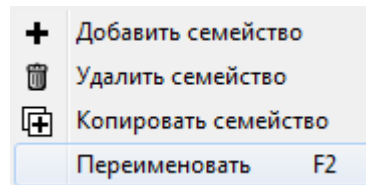


Рис. 2.4. Проект сканирования: добавление семейства альтернатив

### 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** или нажмите клавишу **F2**.



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 вкладки **Иерархия параметров**, см. рис. 2.4) щелкните на параметре  **$\mu$**  (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. [gs UM.pdf](#)) включительно с шагом 10 Нс/м (см. рис. 2.5).
3. Нажмите кнопку **ОК** и вернитесь в окно описания проекта сканирования. На вкладке **Иерархия параметров** в узле **Группа1** появится дочерняя группа параметров с именем  **$\mu$**  (см. рис. 2.6).
4. Вызовите контекстное меню для узла **Группа1**. В появившемся меню выберите пункт **Переименовать группу параметров...** и введите  **$\mu$** . В итоге вкладка **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.

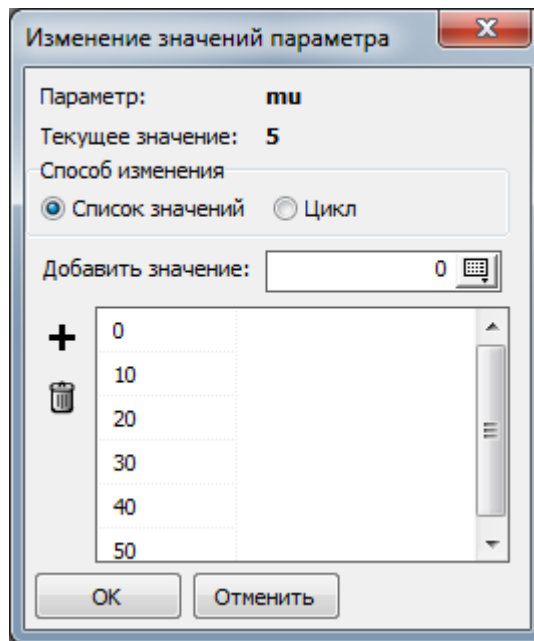


Рис. 2.5. Окно настройки значений параметра

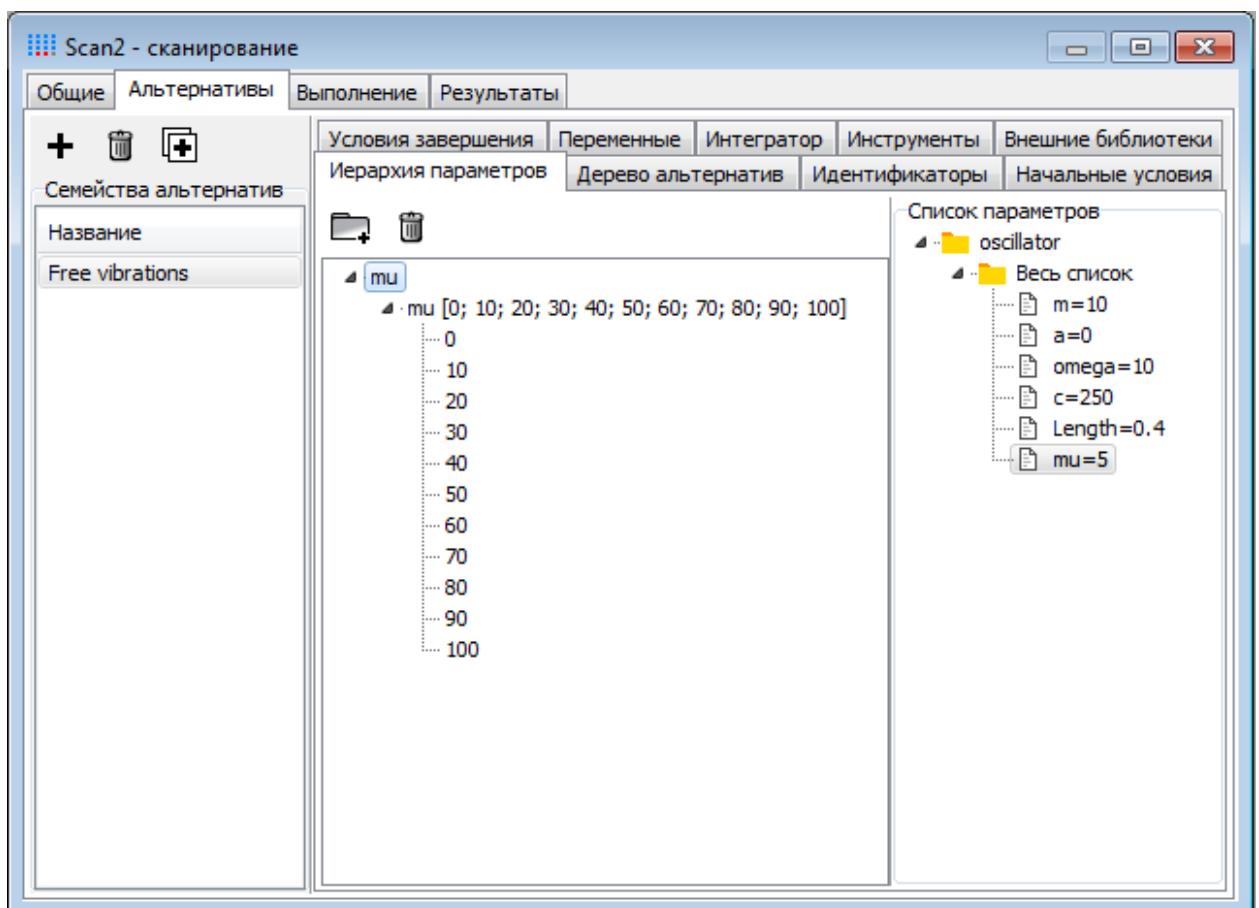


Рис. 2.6. Проект сканирования: иерархия параметров

## 2.1.5. Настройка идентификаторов

Чтобы рассматривать свободные колебания системы установим нулевую амплитуду колебаний подвеса.

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

## 2.1.6. Настройка начальных условий

1. Выберите вкладку **Начальные условия**.
2. В поле **Координата | 1.1** установите значение **0.1**, см. рис. 2.7.

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.

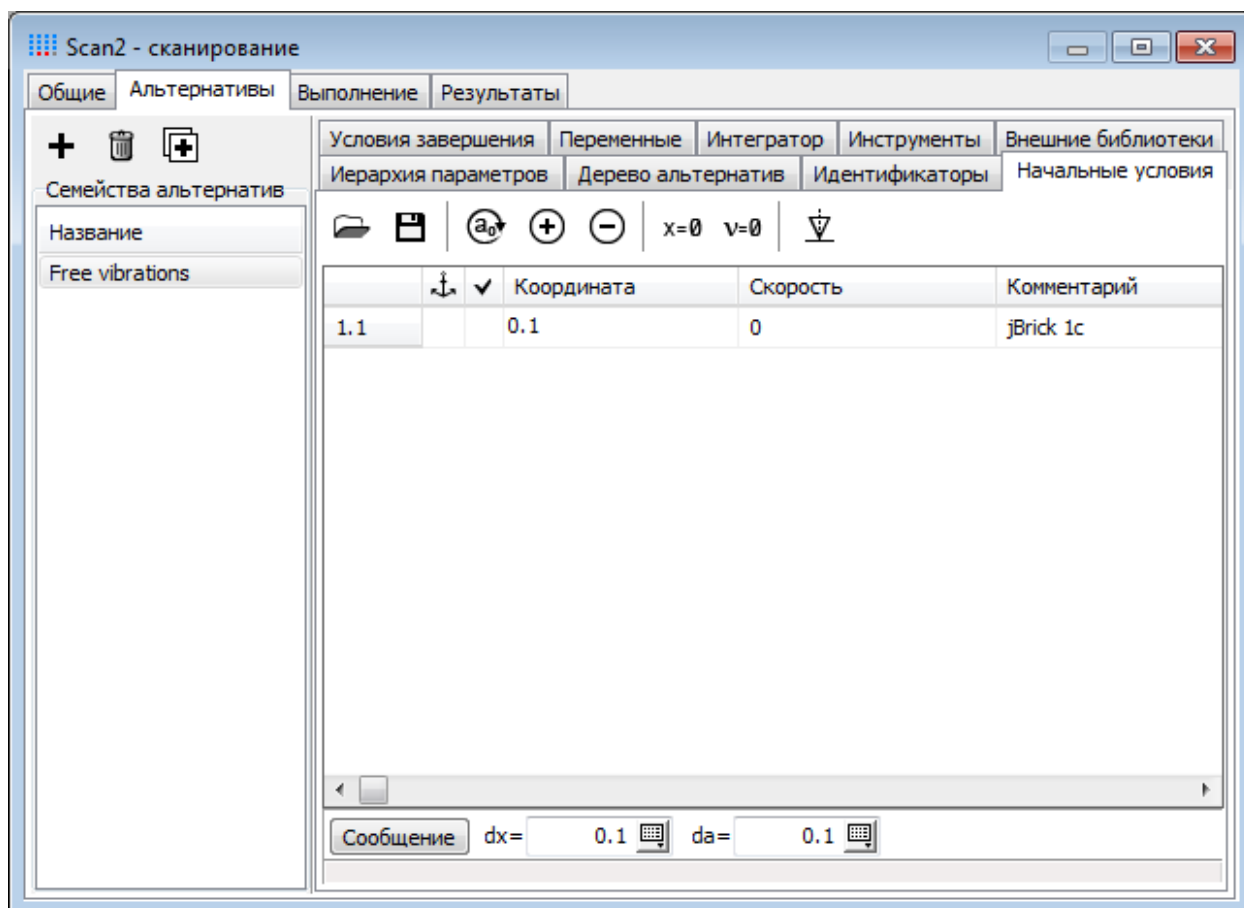


Рис. 2.7. Настройка начальных условий

## 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*  $\geq 10$  с. То есть, каждый численный эксперимент в данном семействе будет завершен тогда, когда выполнится указанное условие.

1. Перейдите на вкладку **Условия завершения**. Увеличьте время моделирования каждого эксперимента до **25** секунд, см. рис. 2.8.

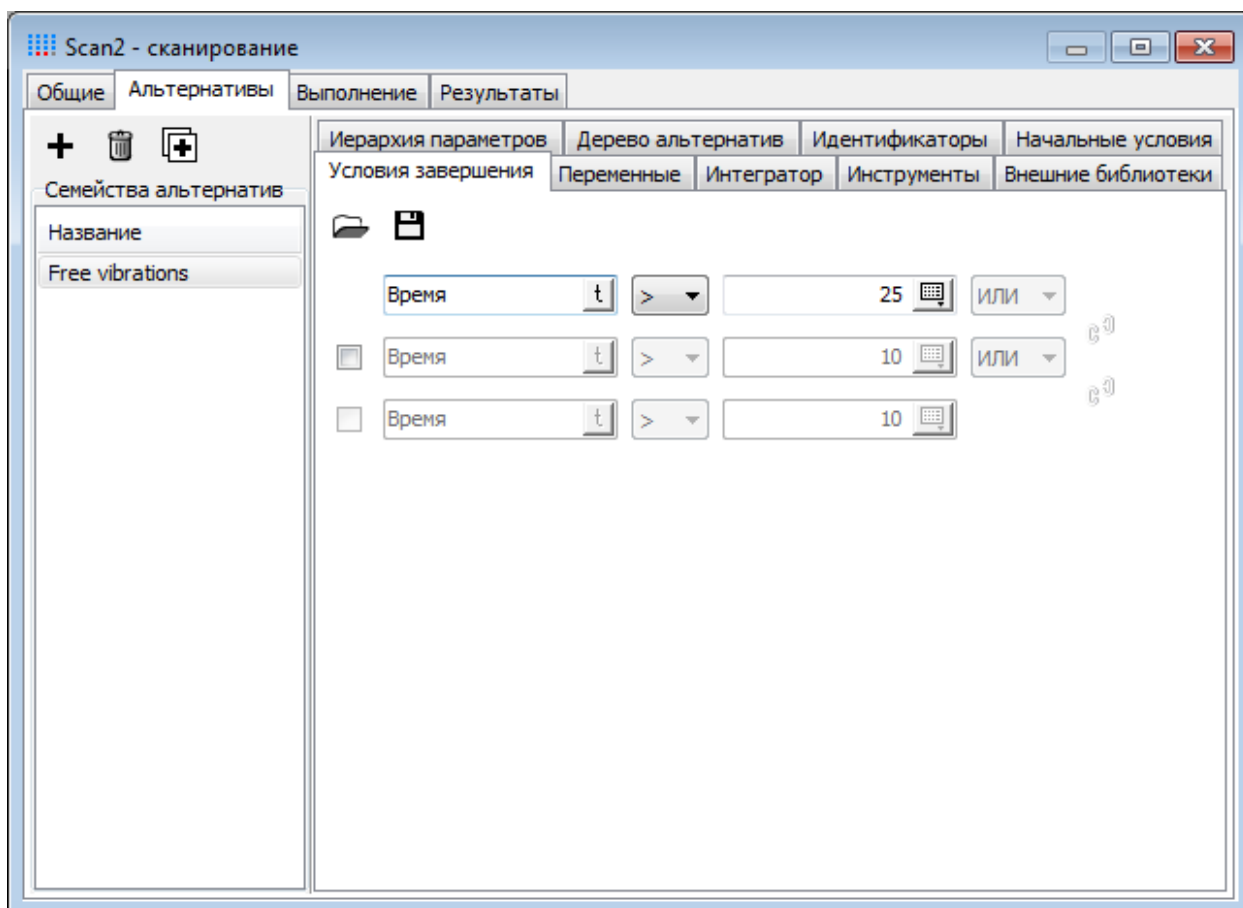



Рис. 2.8. Настройка условий завершения


**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 вкладку **Переменные**.

На этой вкладке 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 вкладку «**Без имени**» в **Position**, используя кнопку . Сейчас мы создадим и перетащим на эту вкладку переменную – положение груза в проекции на вертикальную ось.
3. Откройте **Мастер переменных**.

4. Перейдите на вкладку **Линейные переменные**, выберите тело **Груз** (в английской версии модели – **Brick**) в списке слева, в поле **Компонента** установите **Z**. Кнопкой  создайте переменную и перетащите ее в список переменных на вкладку **Position**.
5. Закройте **Мастер переменных**.

После выполнения всех указанных выше действий список сохраняемых переменных должен выглядеть так, как показано на рис. 2.9. Мы описали семейство альтернатив для случая свободных затухающих колебаний. Перейдем к описанию случая вынужденных колебаний.

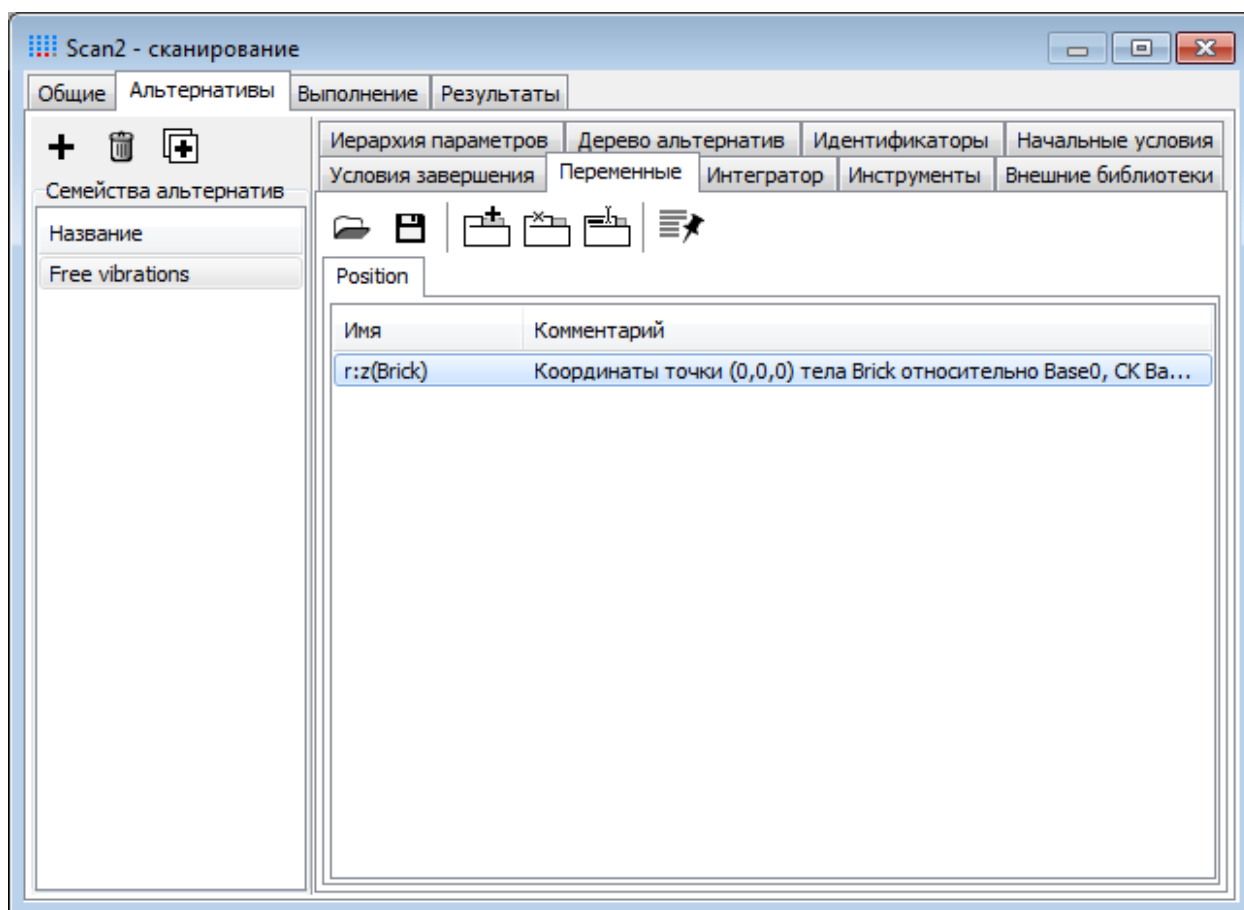


Рис. 2.9. Сканирование: список сохраняемых переменных

### 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

3. Перейдите на вкладку **Иерархия параметров** (семейство **Resonance**).
4. Выберите группу параметров **mu** и выберите пункт **Удалить группу параметров** в контекстном меню, см. рис. 2.10.

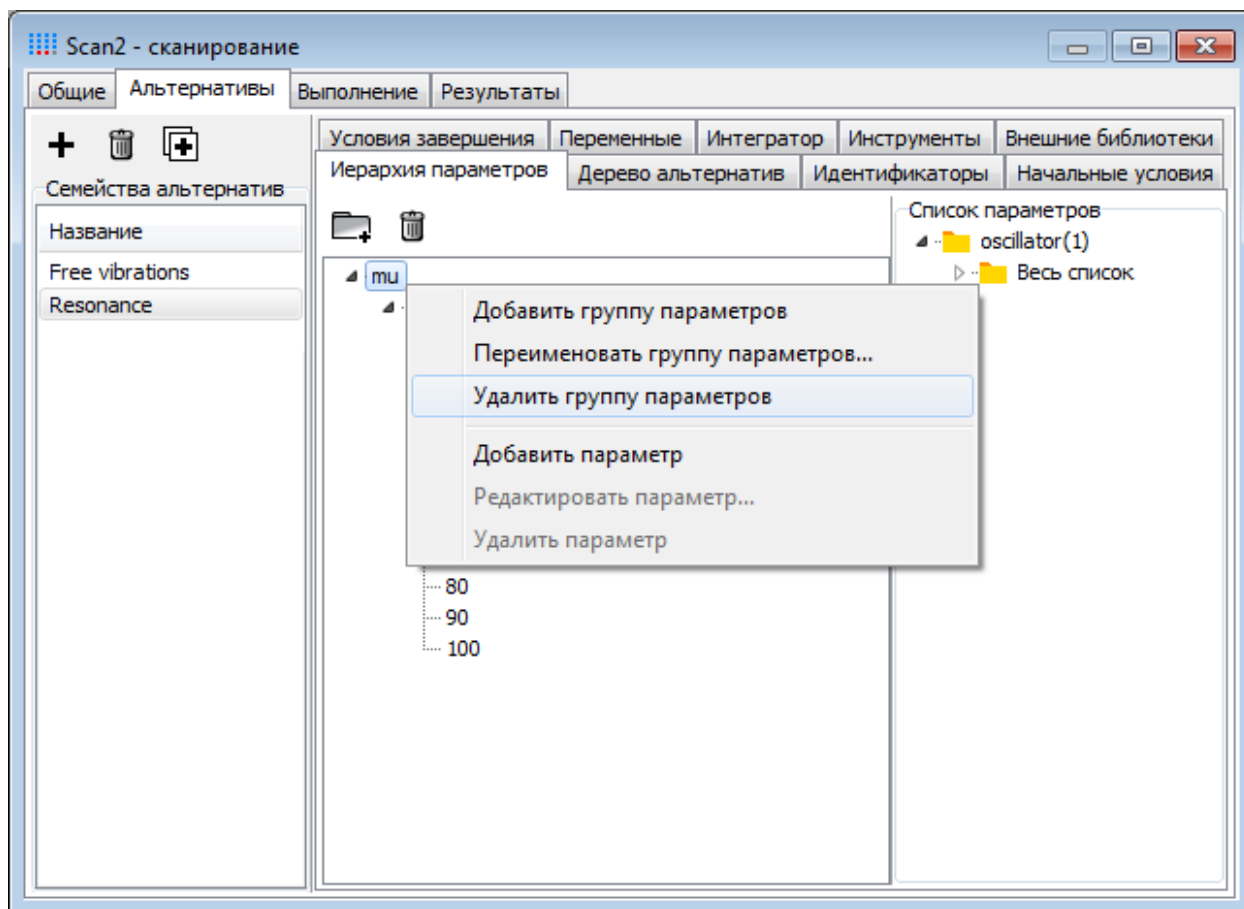


Рис. 2.10. Вынужденные колебания: иерархия параметров

5. Подтвердите удаление группы параметров **mu**.
6. В списке параметров модели справа на вкладке **Иерархия параметров** щелкните на параметре **omega**. Откроется окно изменения значений параметров.
7. В поле **Способ изменения** выберите **Цикл** и установите остальные параметры так, как показано на рис. 2.11. Нажмите кнопку **ОК**. Таким образом, мы опишем изменение частоты вынуждающей силы от 0 до 15 с шагом 1 рад/с.
8. Переименуйте название **Группа 1** в **omega**.  
Иерархия параметров для изменения теперь выглядит так, как показано на рис. 2.12.

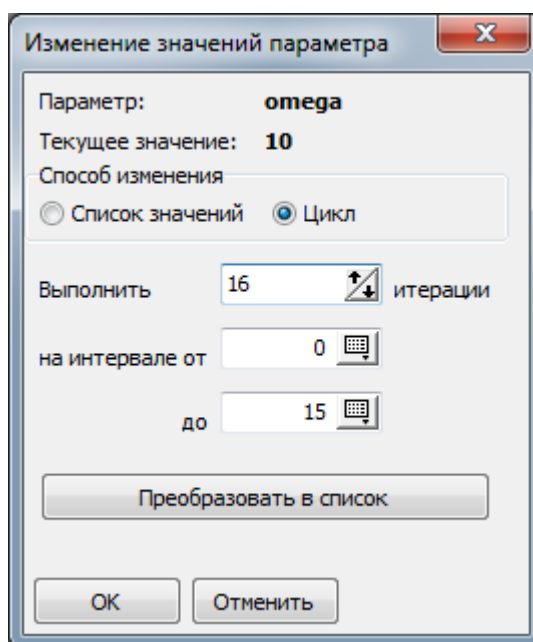


Рис. 2.11. Задание частот вынуждающей силы

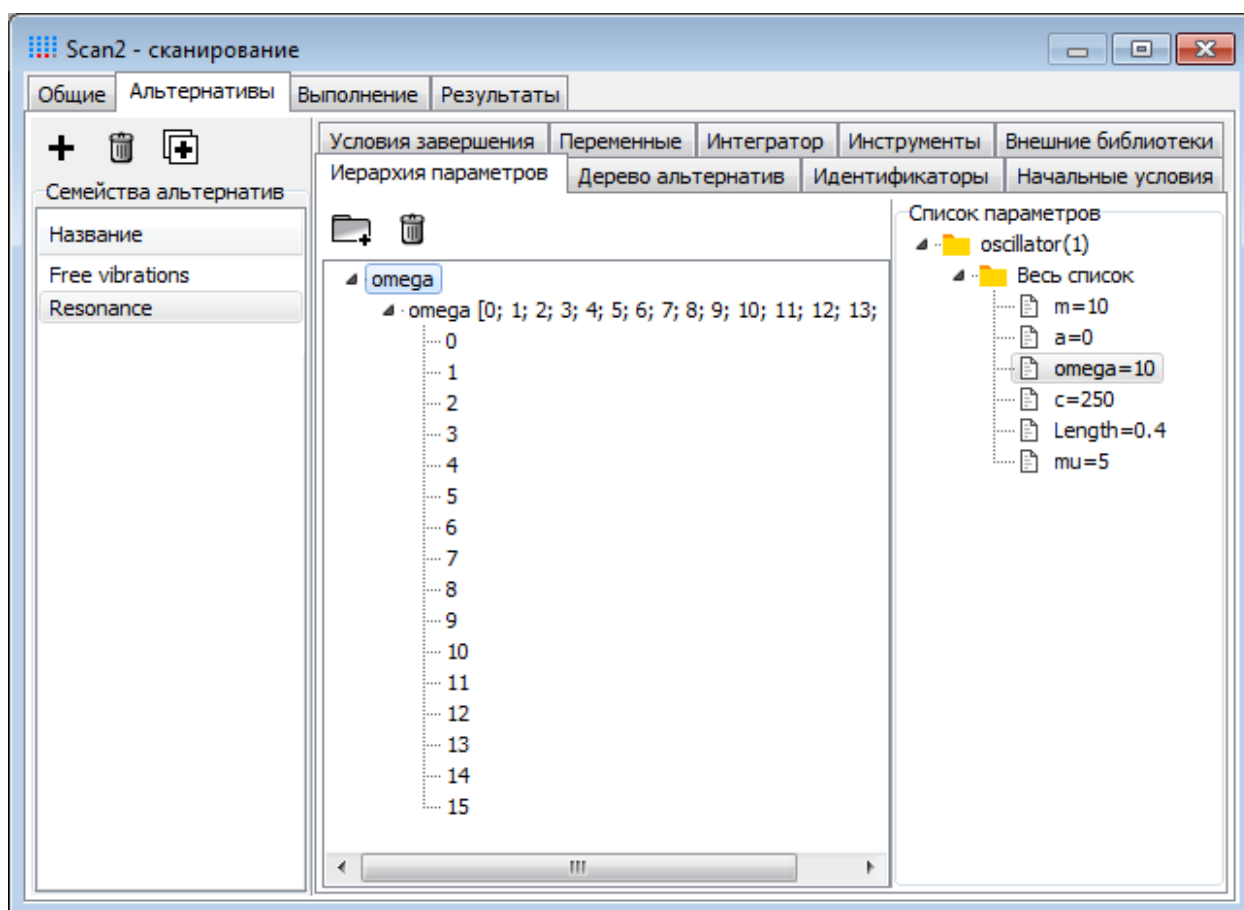


Рис. 2.12. Сканирование по частоте вынуждающей силы

### Настройка значений параметров модели

9. Перейдите на вкладку **Идентификаторы**.
10. Установите следующие значения параметров:  $\mathbf{a} = 0.05$  (м) и  $\mathbf{mu} = 0$  (Нс/м).

## 2.2. Выполнение проекта сканирования

1. Перейдите на вкладку **Выполнение**.
2. При правильном описании проекта в поле **Протокол** появится сообщение «**Ошибки не обнаружены**», см. рис. 2.13.

Проект сканирования поддерживает параллельное выполнение отдельных численных экспериментов на многоядерном компьютере. В поле **Кол-во процессов** по умолчанию установлено максимально доступное на вашем компьютере количество ядер процессора. Для нормальной работы фоновых служб и других программ на многоядерных процессорах рекомендуется оставлять свободными 1-2 ядра.

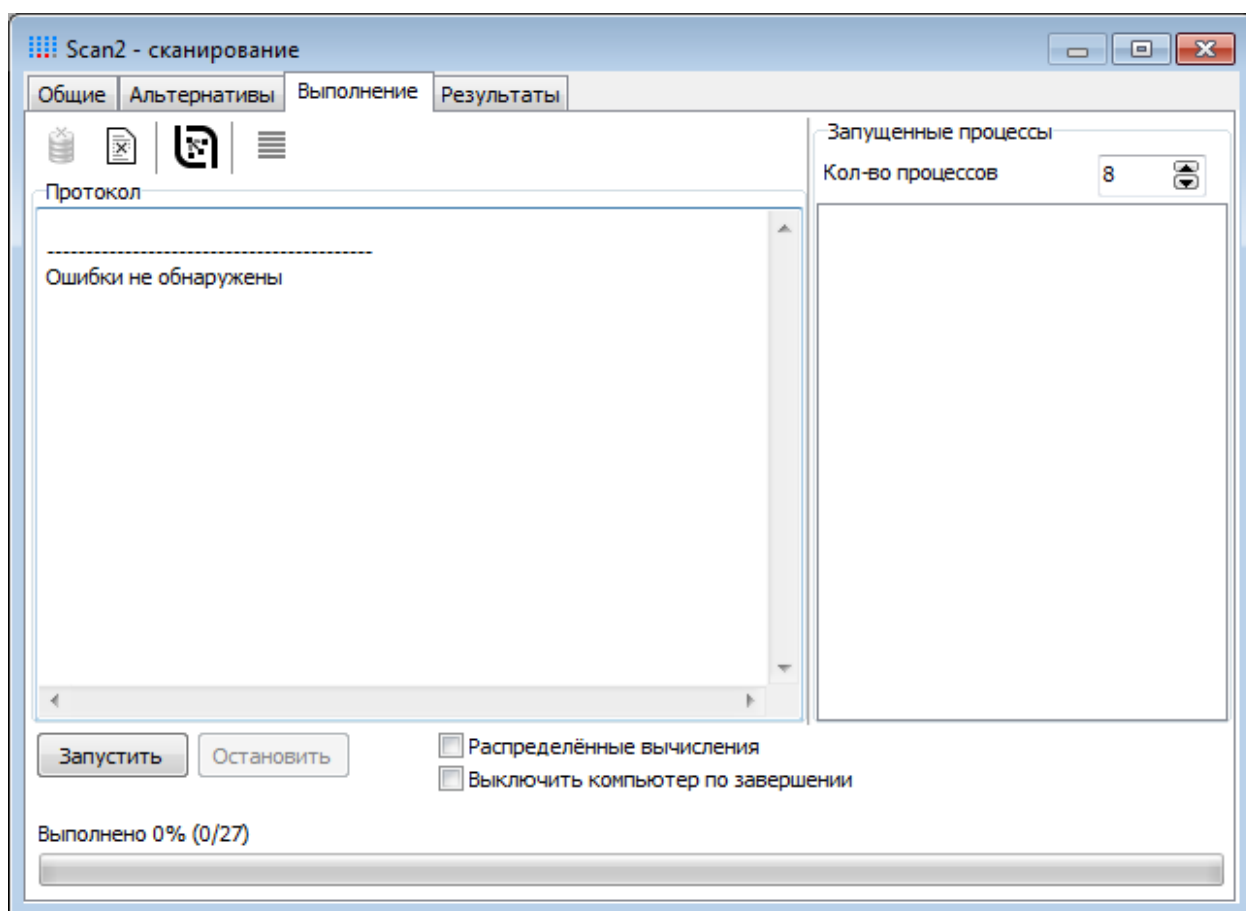


Рис. 2.13. Запуск проекта сканирования

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. 2.14.

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**».

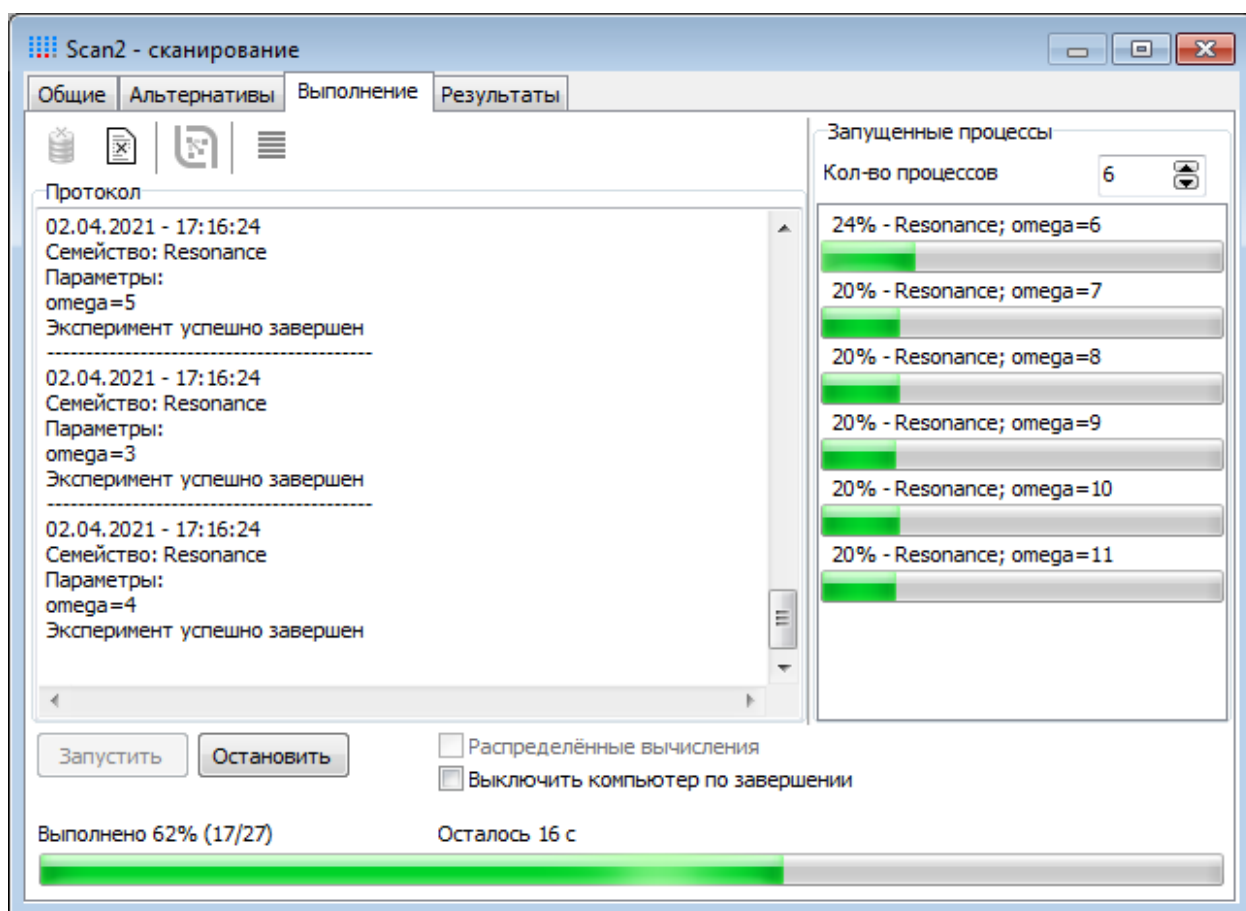


Рис. 2.14. Выполнение проекта сканирования

Поле **Кол-во процессов** по умолчанию инициализируется максимальным количеством ядер процессора (например, процессор Intel® i5 имеет 4 ядра, а Intel® i7 – 8 ядер). Вы можете уменьшить количество процессов, чтобы высвободить ресурсы процессора для других приложений или фоновых служб.

## 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 вкладку **Результаты** | **Free vibrations**, см. рис. 2.15.

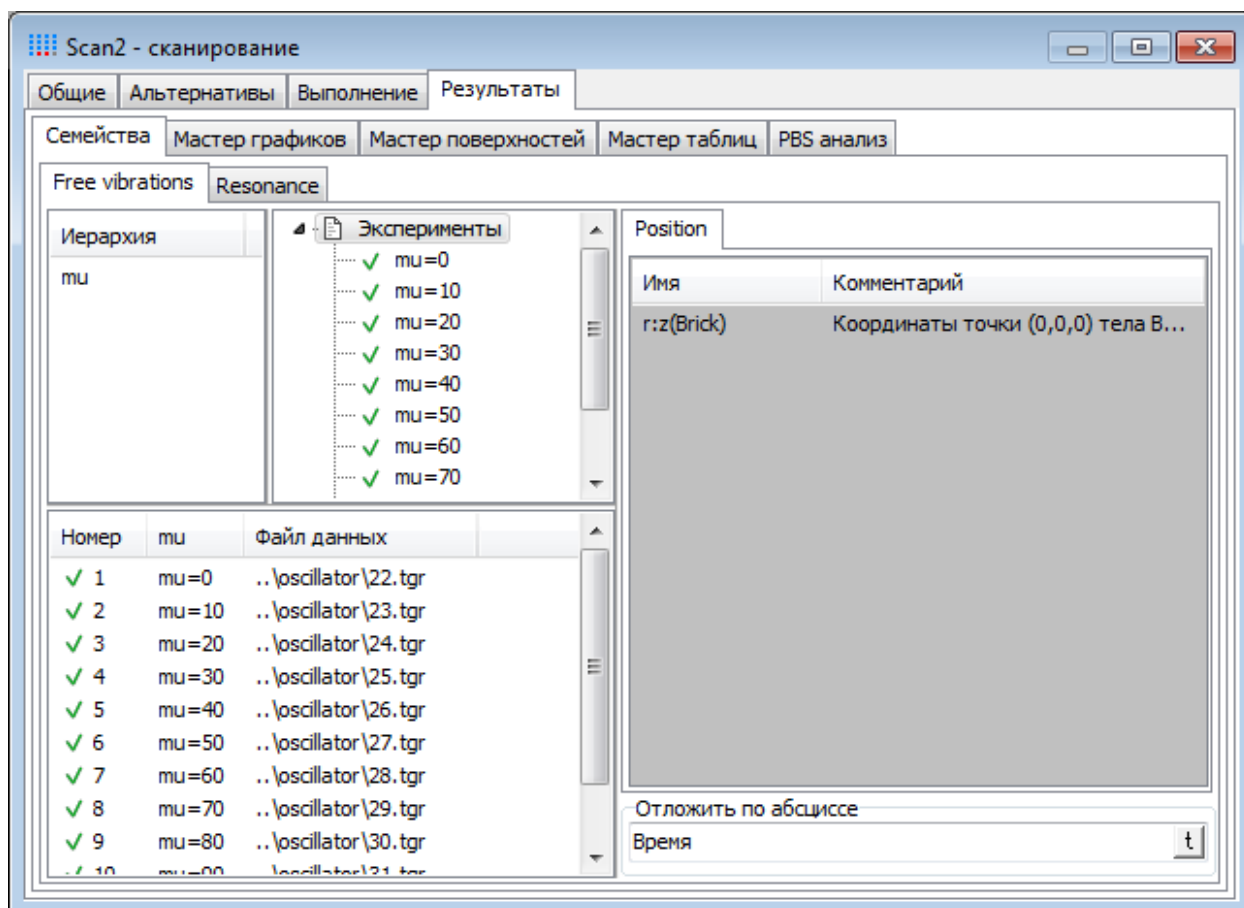


Рис. 2.15. Результаты сканирования

Сравним осциллограммы вертикальных колебаний груза при различных значениях коэффициента диссипации.

2. Откройте новое графическое окно.
3. Вернитесь в окно проекта сканирования, в списке сделанных экспериментов в левой нижней части вкладки **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. 2.16. Рассчитанные переменные можно не только строить в гра-

фических окнах, но и обрабатывать при помощи всех доступных инструментов обработки: окна обработки **Статистики** и **Табличного процессора** (см. меню **Инструменты**).

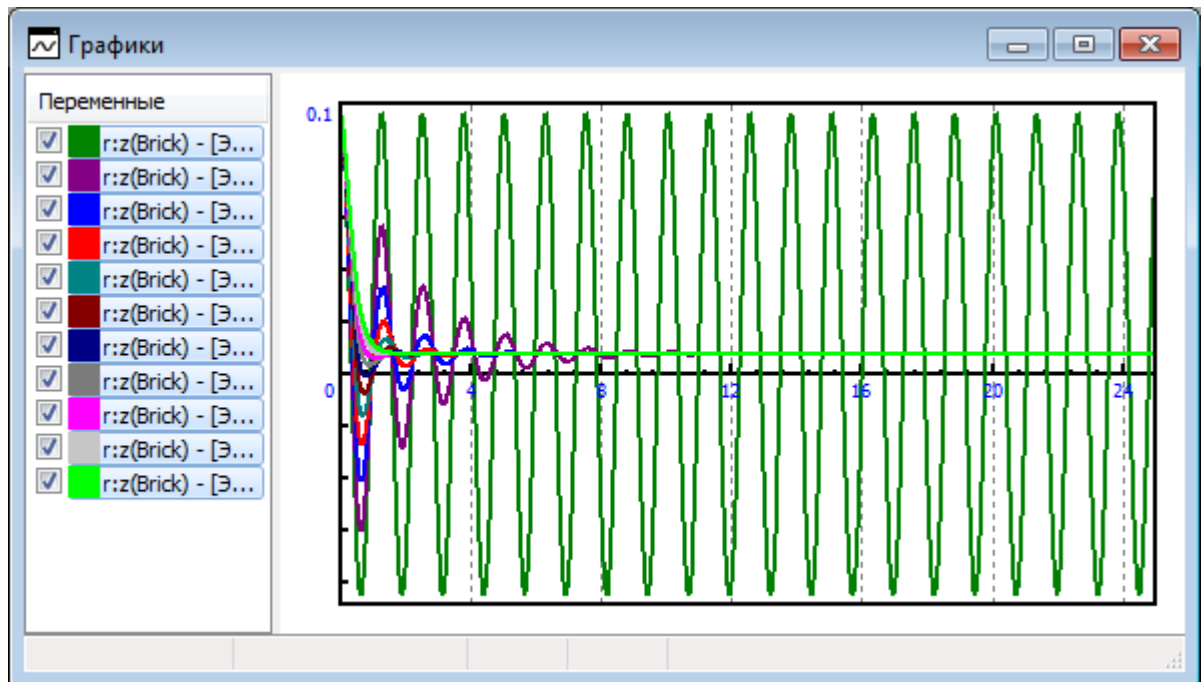


Рис. 2.16. Вертикальные колебания груза при различных значениях коэффициента диссипации

### Вынужденные колебания

Перейдём к анализу вынужденных колебаний.

1. Откройте новое графическое окно.
2. В окне проекта сканирования выберите вкладку **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. 2.17. Ясно виден резонансный случай.

А теперь перейдем к анализу данных без рассмотрения осциллограмм для каждого отдельного численного эксперимента.

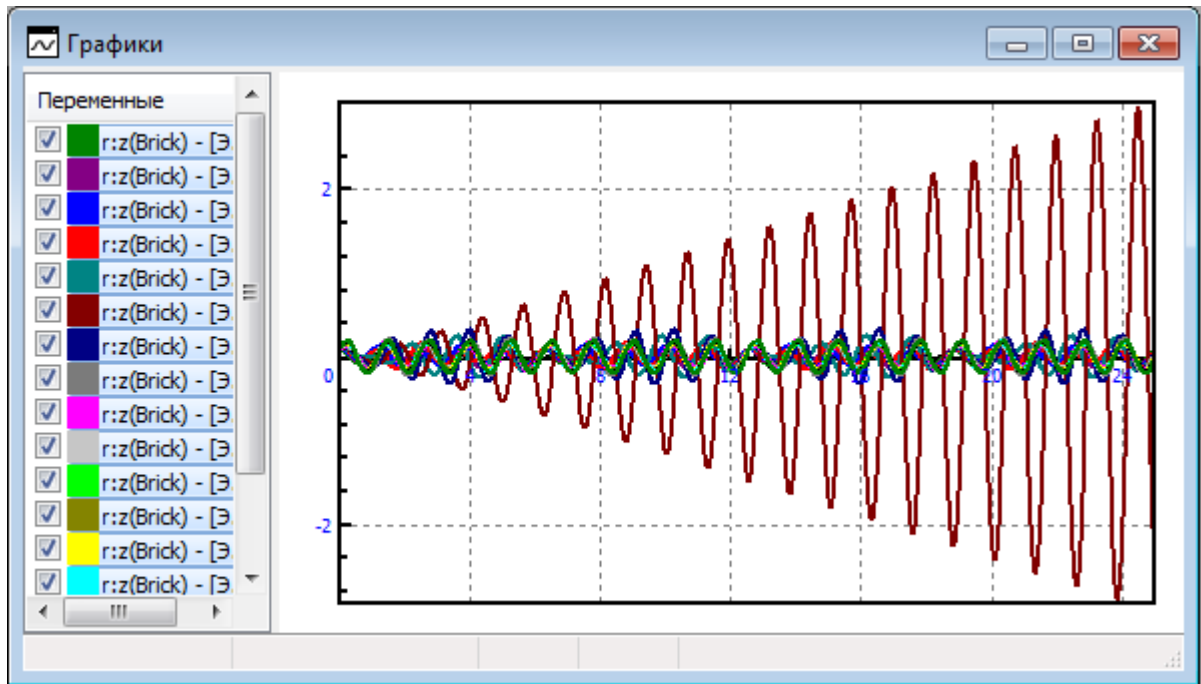


Рис. 2.17. Вертикальные колебания груза при различных частотах вынуждающей силы

### 2.3.2. Анализ сводных данных

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

Построим график зависимости стандартного отклонения ( $\text{Std\_Dev}$ ) вертикальных колебаний груза в зависимости от частоты вынуждающей силы.

1. Перейдите на вкладку **Результаты | Мастер графиков**.
2. В поле **Семейство** выберите **Resonance**.
3. В списке переменных выберите **r:z(Brick)**.
4. В поле **Функционал** выберите **Std\_Dev** (Standard Deviation – стандартное отклонение).
5. В поле **Параметр** выберите **omega**.
6. На панели быстрого доступа в верхней части окна нажмите кнопку  $\mathbf{a}_+$  для формирования сводного графика.

В графическом поле будет построен сводный график (см. рис. 2.18), анализ которого показывает, что максимальное значение стандартного отклонения соответствует частоте вынуждающей силы 5 рад/с. Читатель, знакомый с теорией колебаний, непременно заметит, что сводный график, представленный на рис. 2.18 очень похож на амплитудно-частотную характеристику колебательной системы и несет в себе похожий физический смысл.

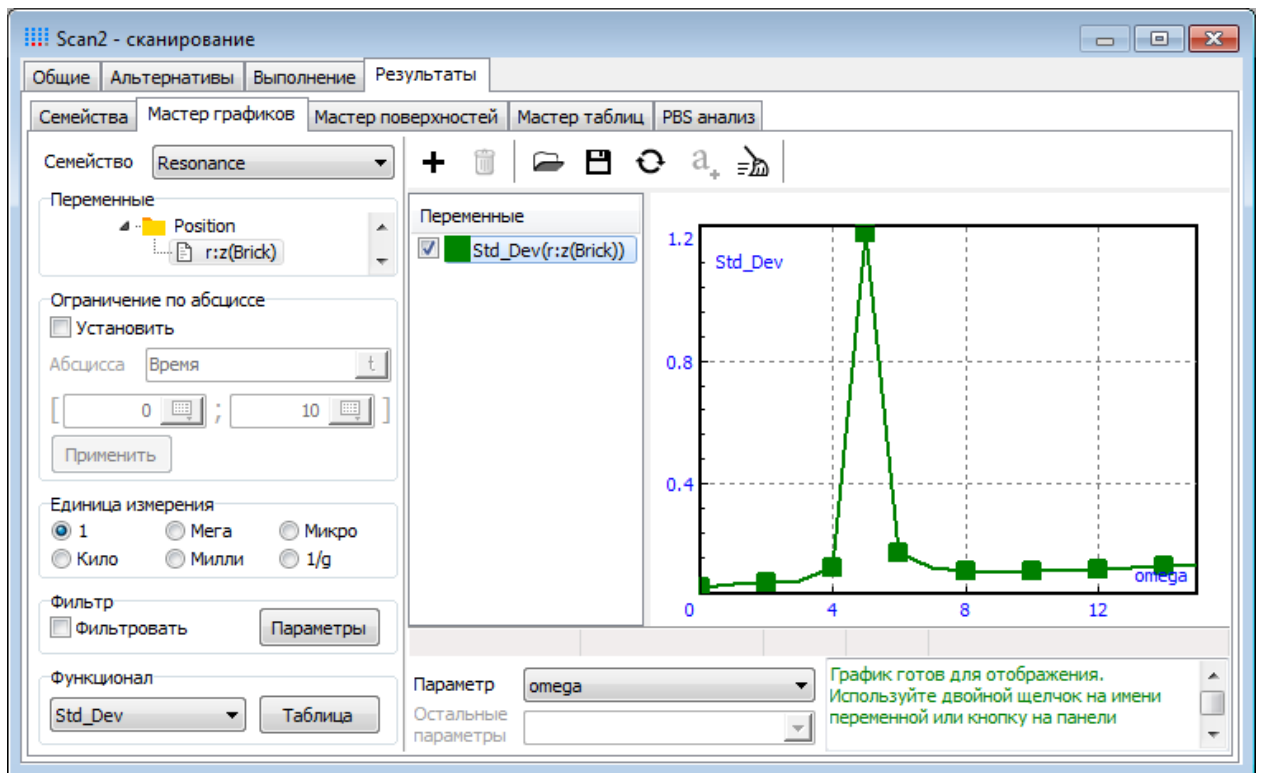


Рис. 2.18. Построение сводных графиков

### 3. Сканирование динамики железнодорожных экипажей

Создание и анализ результатов проектов сканирования динамики железнодорожных экипажей рассмотрены в главе [gs UM Loco.pdf](#)<sup>5</sup>. Приведен пример описания проекта сканирования для определения критической скорости автомотрисы АС4.

---

<sup>5</sup> [www.universalmechanism.com/download/90/rus/gs\\_um\\_loco.pdf](http://www.universalmechanism.com/download/90/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 расчетов<sup>6</sup>. Служба применяется для ускорения выполнения сложных расчетов за счет распределения задач между несколькими компьютерами.

Инструмент удобно использовать в рамках вычислительных центров, лабораторий, отделов. 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 управление 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.

В большинстве случаев работа клиентской части службы распределенных вычислений в фоновом режиме практически незаметна для пользователя, работающего на данном компьютере.

Подготовка и выполнение проектов сканирования с помощью службы распределенных вычислений рассмотрены в главе [gs\\_um\\_cluster.pdf](#)<sup>7</sup> из серии "Начинаем работать".

---

<sup>6</sup> 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

<sup>7</sup> [http://www.universalmecanism.com/download/90/rus/g\\_s\\_um\\_cluster.pdf](http://www.universalmecanism.com/download/90/rus/g_s_um_cluster.pdf)