

Поляков К.А.

**Моделирование  
кривошипно-ползунного  
механизма в программном  
комплексе «Универсальный  
механизм»**

Учебное пособие

Самарский государственный университет

2008

## Содержание

|   | Стр. |
|---|------|
| Введение  | 3    |
| 1. Общий вид конструктора модели и назначение отдельных его частей. | 3    |
| 1.1. Рабочее окно программы   | 3    |
| 1.2. Управление просмотром модели                                   | 5    |
| 2. Создание графических образов элементов механизма                 | 5    |
| 2.1. Создание графического образа кривошипа                         | 5    |
| 2.2. Создание графического образа шатуна                            | 7    |
| 2.3. Создание графического образа ползуна                           | 8    |
| 3. Задание массово-инерционных свойств элементов.                   | 10   |
| 3.1. Создание тела «Кривошип»                                       | 10   |
| 3.2. Создание тела «Шатун»  | 12   |
| 3.3. Создание тела «Ползун»   | 12   |
| 4. Соединение тел шарнирами.  | 13   |
| 5. Кинематический анализ механизма.                                 | 18   |
| 5.1. Задание закона вращения кривошипа                              | 18   |
| 5.2. Синтез уравнений движения                                      | 18   |
| 5.3. Программа UMSimul.   | 19   |
| 5.4. Просмотр результатов вычислений                                | 21   |
| 5.5. Использование мастера переменных                               | 22   |
| 6. Динамический анализ модели                                       | 26   |
| 6.1. Наложение силы, действующей на ползун                          | 26   |
| 6.2. Наложение момента на кривошип                                  | 31   |
| 6.3. Построение графика угловой скорости кривошипа                  | 33   |
| 6.4. Определение показателя неравномерности вращения                | 35   |
| Приложение 1  | 38   |
| Приложение 2  | 38   |

## Введение

Программный комплекс «Универсальный механизм» (UM) предназначен для автоматизации процесса исследования механических объектов, которые могут быть представлены системой абсолютно твердых тел, связанных посредством кинематических и силовых элементов. К объектам такого типа относятся, например, автомобиль, локомотив, вагон, манипуляторы робота и экскаватора, различные машины и механизмы.

Использование при моделировании лишь абсолютно твердых тел, конечно, накладывает определенные ограничения на класс задач, которые могут быть решены с помощью UM, но все-таки этот класс достаточно велик по объему. Фактически, возможности комплекса распространяются на большую часть систем, являющихся объектом применения методов теоретической и прикладной механики. С использованием UM решаются прямые и обратные задачи кинематики, динамики и управления.

В данном пособии рассматриваются общие правила работы с программой UM на примере создания виртуальной модели кривошипно-ползунного механизма с последующим кинематическим и динамическим анализом. В UM принята следующая система единиц:

- Единица массы – килограмм;
- Единица времени – секунда;
- Единица расстояния – метр;
- Единица силы – ньютон.

### **1. Общий вид конструктора модели и назначение отдельных его частей**

#### 1.1. Рабочее окно программы

Для того чтобы запустить программу UM Input нужно в среде Windows нажать кнопку Пуск/Все программы/Universal Mechanism 4.0/UM Input. Появится верхнее меню управления программой в котором надо выполнить команды **Файл - Новый объект**. После этого на экране появляется окно конструктора объектов, изображенное на рис.1.

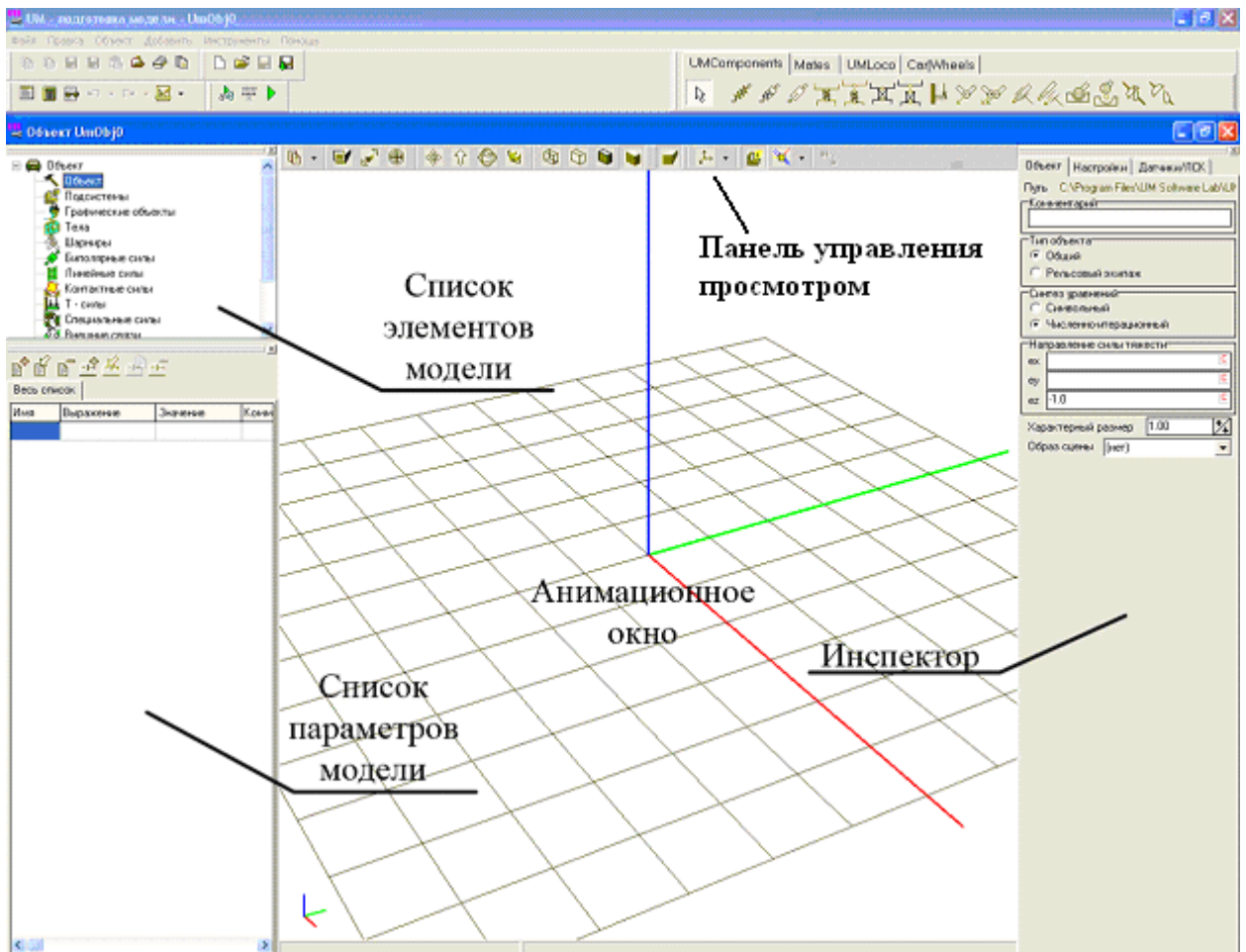




Рис.1

Это окно состоит из следующих частей:

- **Список элементов модели.** В нем отображаются все элементы, из которых состоит модель: тела, силы, соединения и т.д. Добавление, удаление и другие операции над элементами осуществляются с использованием контекстного меню вызываемого нажатием правой кнопки мыши на выбранном элементе.
- **Список параметров модели.** В процессе работы большинство характеристик модели могут быть описаны и виде именованных переменных, которые отображаются отдельным списком, позволяющим легко редактировать их значения. Добавление, удаление и изменение идентификаторов параметров осуществляется либо с помощью кнопок над вкладкой «Весь список», либо с помощью контекстного меню, вызываемого нажатием правой кнопки мыши внутри окна.
- **Панель инструментов** предназначена для управления просмотром модели во время ее создания.
- **Инспектор свойств объектов** позволяет создавать новые элементы модели и задавать их характеристики.
- **Анимационное окно** служит для отображения модели во время проектирования. Изначально на нем присутствует рабочая плоскость и глобальная система координат. Ось X отображается красным цветом, Y – зеленым, Z – синим.

## 1.2. Управление просмотром модели.

Команды управления просмотром можно выполнять как с помощью кнопок на панели управления просмотром, так и с помощью контекстного меню, которое появляется при нажатии правой кнопки мыши на пустом месте рабочей плоскости. Эти команды разделяются на статические и динамические. Статические команды изменяют ориентацию модели строго определенным образом. Например, команда «Ориентация – спереди» (кнопка ) изменяет вид просмотра таким образом, чтобы ось Z была направлена вверх, ось Y – вправо, ось X – перпендикулярно экрану. Динамические команды позволяют изменять вид просмотра модели с помощью перемещения мыши с нажатой левой кнопкой. Например, для изменения масштаба модели необходимо нажать кнопку , привести курсор мыши на модель, нажать левую кнопку мыши и перемещать ее вверх или вниз. При этом масштаб модели будет динамически изменяться.

Назначение кнопок панели инструментов и правила работы с ними приведено в приложении 1.

## 2. Создание графических образов элементов механизма

Геометрическая модель состоит из отдельных частей, которые характеризуются как геометрическими размерами, так и физическими свойствами. Геометрические размеры (графическое отображение) частей задаются с помощью графических образов. Графический образ представляет собой набор одного нескольких геометрических элементов (фигур): прямоугольников, конусов и т.д. Геометрические фигуры, принадлежащие одному графическому объекту, рассматриваются как одно тело, т.е. на этапе расчетов они неподвижны друг относительно друга. В данной задаче кривошип и шатун будут моделироваться геометрическими элементами «Звено», а ползун будет моделироваться цилиндром.

### 2.1. Создания графического образа кривошипа

Для создания графического образа кривошипа необходимо в списке элементов модели нажать правую кнопку мыши на пункте «**Графические объекты**» и в контекстном меню выбрать пункты «**Добавить элемент в группу «Графические объекты»**», «**Звено**» (рис.2). Таким образом, будет создан графический объект, содержащий один графический элемент - звено. После этого в инспекторе свойств объектов в строке «**Имя**» необходимо указать название графического объекта – **Кривошип**.

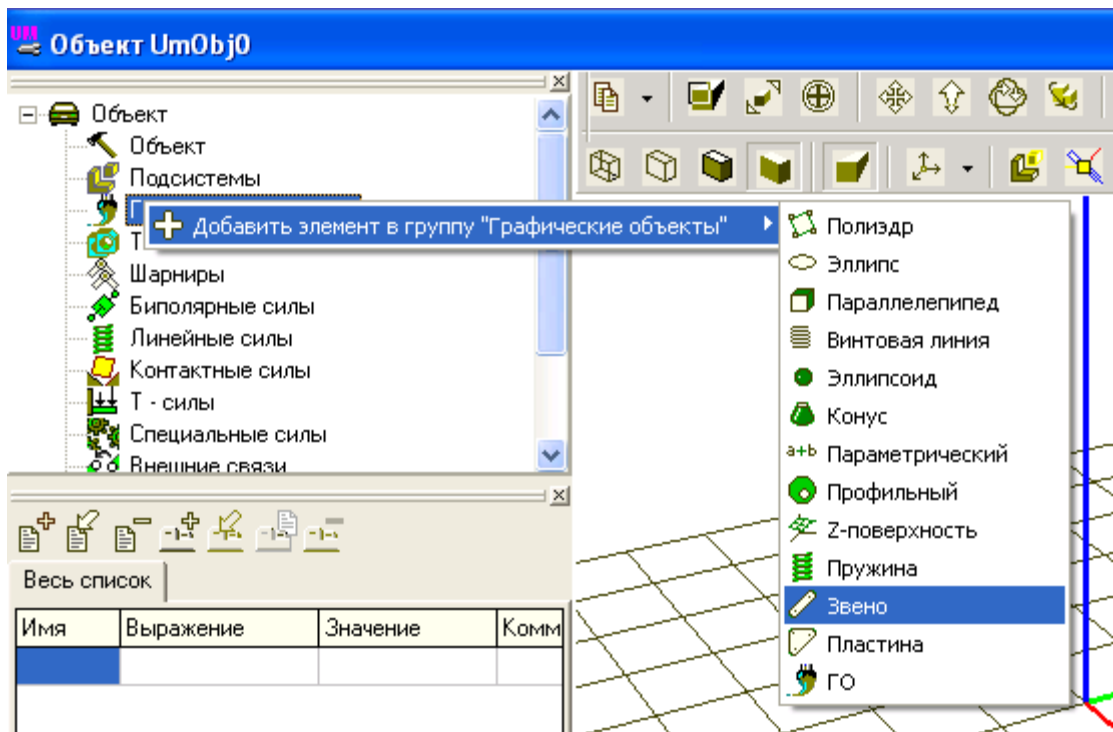



Рис. 2

Затем необходимо указать точное расположение кривошипа. Для этого необходимо в окне идентификаторов создать параметр, обозначающий длину кривошипа  $l_{kriv}$ , со значением длины кривошипа (в данном варианте – 1м). Для этого в окне идентификаторов нажать кнопку  и в раскрывшемся окне указать имя идентификатора и значение длины кривошипа. Затем нажать кнопку «**Применить**» (рис. 3).

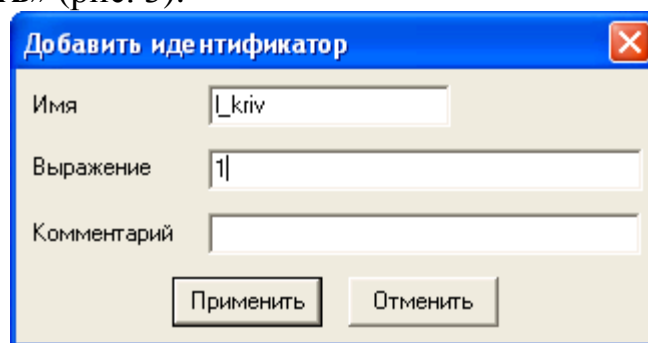


Рис. 3.

Затем в инспекторе объектов для графического объекта «**Кривошип**» выбрать вкладку «**Параметры**» и указать координаты крайних точек кривошипа. Поскольку в рассматриваемом примере кривошип горизонтален и его левый конец располагается в начале координат, то координаты крайних точек будут, как показано на рис. 4.

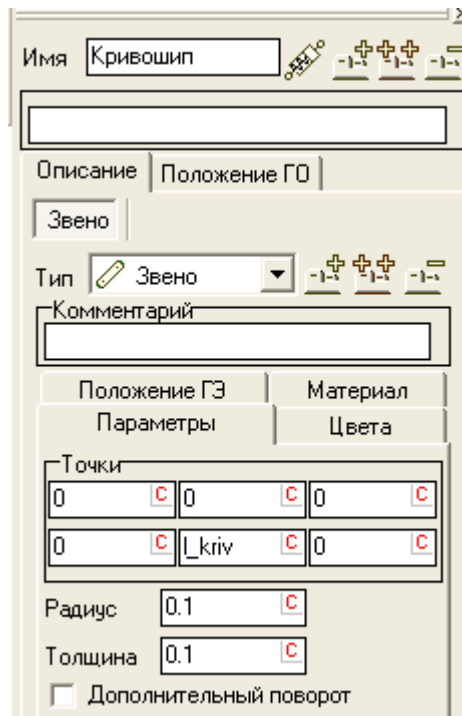



Рис. 4.

## 2.2. Создание графического образа шатуна

Создание шатуна происходит аналогично. Необходимо в списке элементов модели нажать правую кнопку мыши на пункте «**Графические объекты**» и в контекстном меню выбрать пункты «**Добавить элемент в группу «Графические объекты»**», «**Звено**» (рис. 2). После этого в инспекторе свойств объектов в строке «**Имя**» необходимо указать название графического объекта – **Шатун**. На вкладке «**Материал**» значение плотности можно оставить незадаанным. Для задания положения шатуна необходимо создать идентификатор  $l\_shat$ , со значением длины шатуна (в рассматриваемом примере – 3 м )

Для этого в окне идентификаторов нажать кнопку  и в раскрывшемся окне указать имя идентификатора и значение длины кривошипа. Затем нажать кнопку «**Применить**» (рис. 5).

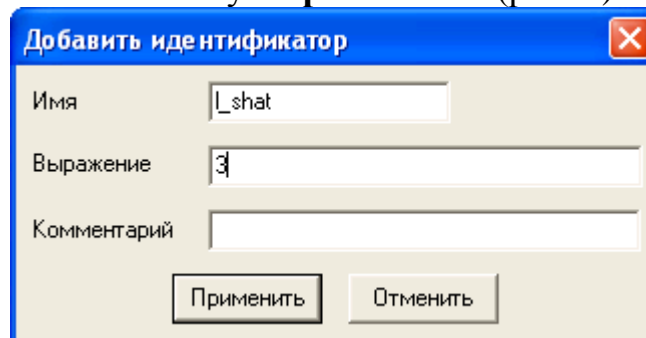


Рис. 5

При определении координат точек шатуна необходимо учитывать, что левый конец шатуна должен находиться в той же точке, где находится правый конец кривошипа, т.е. иметь координату  $Y = l\_kriv$ . Правый конец шатуна должен располагаться правее на расстоянии  $l\_shat$  и, следовательно, должен

иметь координату  $Y = l_{kriv} + l_{shat}$ . Координаты крайних точек шатуна показаны на рис. 6.

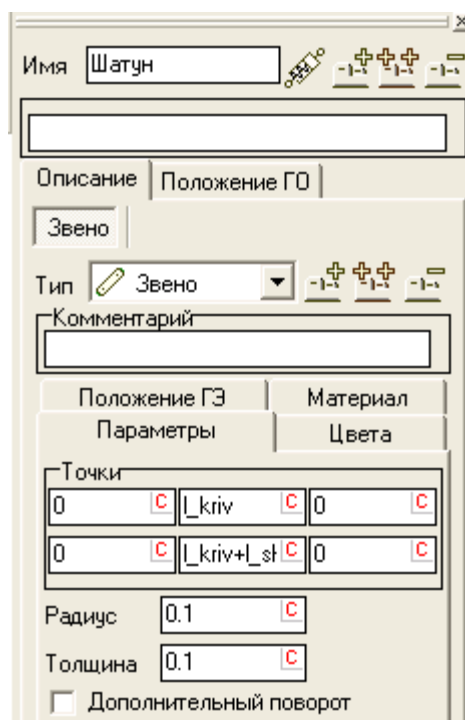


Рис. 6.

### 2.3. Создание графического образа ползуна

Для создания ползуна необходимо в списке элементов модели нажать правую кнопку мыши на пункте «Графические объекты» и в контекстном меню выбрать пункты «Добавить элемент в группу «Графические объекты»», «Конус». Затем в инспекторе объектов указать название объекта «Ползун», а так же значения размеров конуса и его точное положение. Поскольку в рассматриваемой задаче размеры ползуна не используются их можно задать произвольными. Например, как показано на рис. 7.

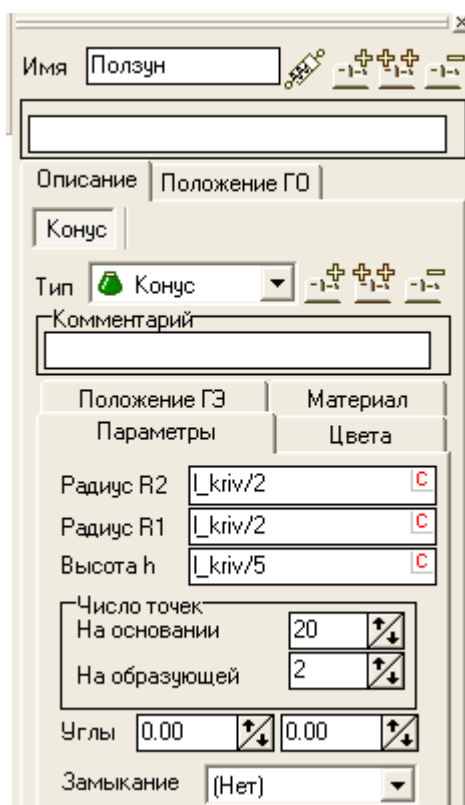


Рис. 7.

Значения параметров конуса следующие:

Радиусы **R2** и **R1** обозначают радиусы оснований конуса. Поскольку для моделирования необходимо получить цилиндр, они равны между собой.

Высота **h** обозначает высоту конуса.

Углы – углы разворота конуса. При значении первого угла 0, а второго 180 – получится незамкнутая половина поверхности конуса.

Замыкание – тип замыкания поверхности конуса при использовании углов разворота.

*Примечание.* Число точек на основании и образующей характеризуют качество прорисовки конуса. Если число точек на основании задать равным 4-м, то вместо конуса получится четырехугольная пирамида. Качество прорисовки влияют на значения моментов инерции и координат центра тяжести при автоматическом способе их вычисления.

По умолчанию конус создается таким образом, что его ось вертикальна. Для того, что бы развернуть ось горизонтально и переместить конус в нужное место необходимо в инспекторе объектов в свойствах конуса выбрать вкладку «**Положение ГЭ**». Для того, что бы ось ползуна стала горизонтальной необходимо первый параметр из группы «**Поворот**» установить в значение **X** и задать значение угла поворота  $270^{\circ}$ . Поскольку координата левого края ползуна должна совпадать с правым краем шатуна в группе параметров «**Сдвиг**» значение координаты **Y** необходимо задать как  $L\_kriv + l\_shat$ . Вкладка «**Положение ГЭ**» с заданными параметрами показана на рис. 8.

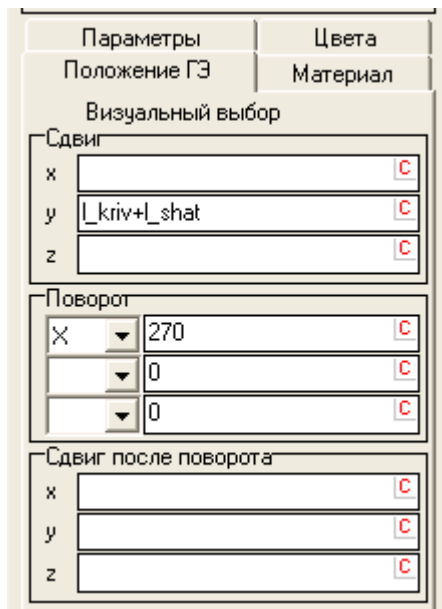


Рис. 8.

### 3.Задание инерционно-массовых свойств элементов.

После создания графический образ преобразуется в тело. Тело представляет собой предмет без заранее заданной формы, который характеризуется массой и моментами инерции. При назначении телу графического образа инерционно массовые характеристики могут вычисляться автоматически заданием материала или плотности, или непосредственно задаваться пользователем. В данной работе осевой момент инерции кривошипа будет принимать различные значения, поэтому для него необходимо создать идентификатор  $I_{xx}$  и присвоить ему значение согласно исходным данным (рис. 9).

| Весь список |           |   |
|-------------|-----------|---|
| Имя         | Выражение | З |
| $I_{kriv}$  | 1         |   |
| $I_{shat}$  | 3         |   |
| $I_{xx}$    | 13        |   |

Рис. 9.

#### 3.1 Создание тела «Кривошип»

Для создания тела «Кривошип» необходимо в списке элементов модели щелкнуть правой кнопкой мыши на группе «Тела» и выполнить команду контекстного меню «Добавить элемент в группу «Тела»» (рис. 10).

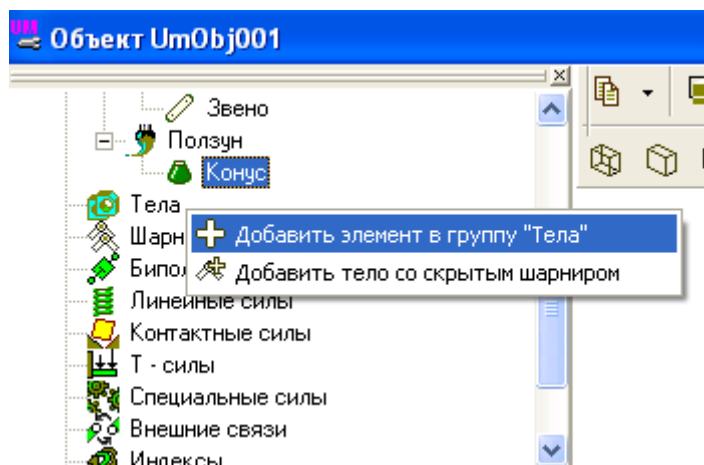


Рис. 10.

После этого в инспекторе объектов необходимо задать название тела, указав имя тела (по умолчанию Body1), назначить ему графический образ «Кривошип», а так же значение массы, моментов инерции и координат центра тяжести. Масса, осевой момент инерции и координаты центра тяжести кривошипа берутся из условий задачи. Окно инспектора объектов с заданными параметрами показано на рис. 11.

*Примечание в данной задаче значения моментов  $I_{zz}$   $I_{yy}$  не используются, поэтому их значения можно считать единичными.*

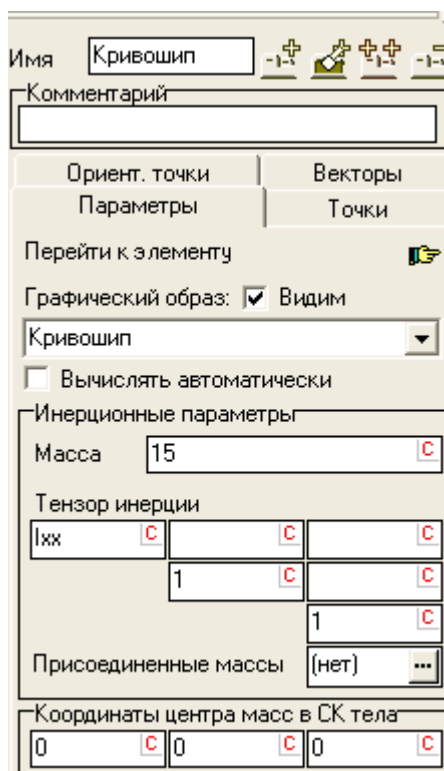


Рис. 11.

Масса и тензор инерции кривошипа могут быть вычислены автоматически (флажок «вычислять автоматически на рис. 11), если для его графического объекта заранее задан материал, из которого состоит тело или

его плотность. Правила задания материала для графических объектов приведены в приложении 2.

### 3.2. Создание тела «Шатун»

Для создания тела «Шатун» необходимо в списке элементов модели щелкнуть правой кнопкой мыши на группе «Тела» и выполнить команду контекстного меню «Добавить элемент в группу «Тела»»

После этого в инспекторе объектов необходимо задать название тела, назначить ему графический образ «Шатун», а так же значение массы, моментов инерции и координат центра тяжести. Масса и осевой момент инерции шатуна берутся из условий задачи, центр тяжести шатуна находится в его середине, поскольку сам шатун считается однородным. Координата Y центра тяжести вычисляется по формуле  $Y_{\text{шат}} = l_{\text{крив}} + l_{\text{шат}}/2$ . Окно инспектора объектов с заданными параметрами показано на рис. 12.

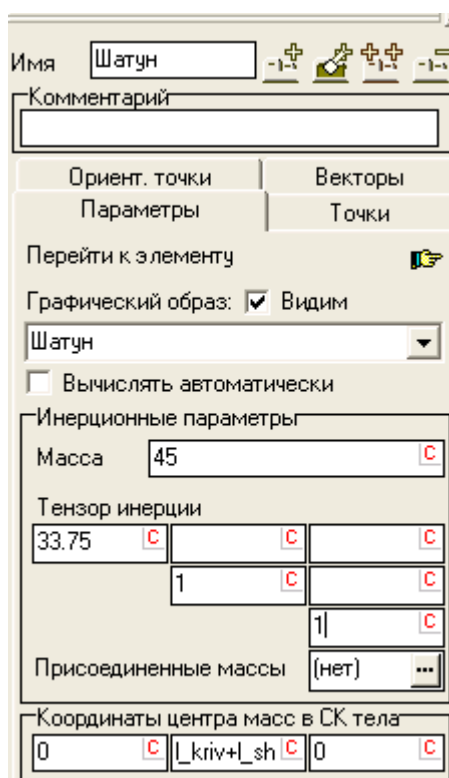


Рис. 12.

### 3.3. Создание тела «Ползун»

Для создания тела «Ползун» необходимо в списке элементов модели щелкнуть правой кнопкой мыши на группе «Тела» и выполнить команду контекстного меню «Добавить элемент в группу «Тела»»

После этого в инспекторе объектов необходимо задать название тела, назначить ему графический образ «Ползун», а так же значение массы, моментов инерции и координат центра тяжести. Масса шатуна берется из условий задачи, центр тяжести ползуна находится в его середине, поскольку ползун считается однородным диском. Координата Y центра тяжести вычисляется по формуле  $Y = l_{\text{крив}} + l_{\text{шат}} + h/2$ , где h – длина ползуна.

Моменты инерции ползуна в данной задаче не используются, поэтому им можно назначить единичные значения. Окно инспектора объектов с заданными параметрами показано на рис. 13.

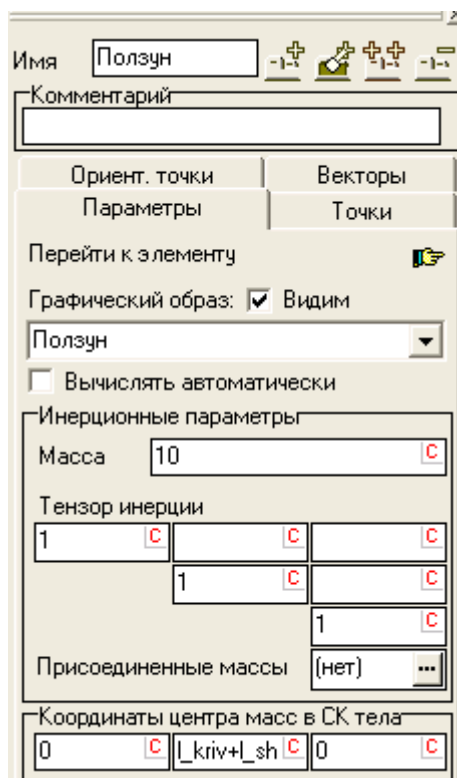


Рис. 13

#### 4. Соединение тел шарнирами.

После того как все тела, составляющие механизм созданы и размещены в нужных местах, их необходимо прикрепить друг к другу и к внешним телам. В качестве внешнего тела в УМ используется фундамент (BASE). Фундамент – единственная часть модели, которая все время остается неподвижной. Она создается автоматически в начале работы. Фундамент можно рассматривать как глобальную систему координат с началом в точке (0,0,0). Фундамент не может двигаться во время расчетов, но на этапе создания модели его можно передвигать по экрану для лучшего обзора моделируемой конструкции.

Закрепление тел друг с другом и с фундаментами осуществляется с помощью моделей шарниров, которые ограничивают перемещения закрепляемых тел друг относительно друга. В данной работе кривошип с фундаментом, кривошип с шатуном и шатун с ползуном соединяются вращательными шарнирами. Такие шарниры дают возможность соединяемым телам только вращаться вокруг общей оси. Ползун с фундаментом соединяется скользящим шарниром, который позволяет соединяемым телам перемещаться вдоль общей оси.

Создание шарниров в УМ возможно несколькими способами:

1. с помощью окна свойств соединяемых объектов;

2. с помощью списка элементов модели;
3. с помощью инспектора объектов.

Для соединения кривошипа с фундаментом с помощью 1 способа необходимо:

1. В дереве элементов модели выбрать **Тела/Кривошип**.

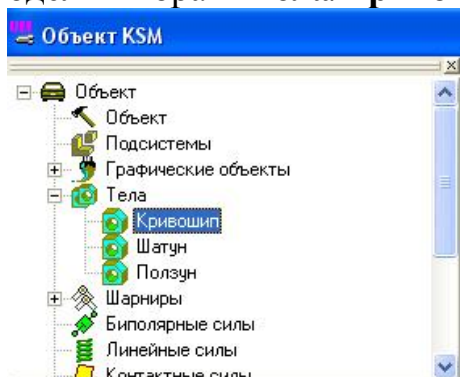


Рис. 14.

2. В инспекторе объектов нажать кнопку **Перейти к элементу** (рис.15).

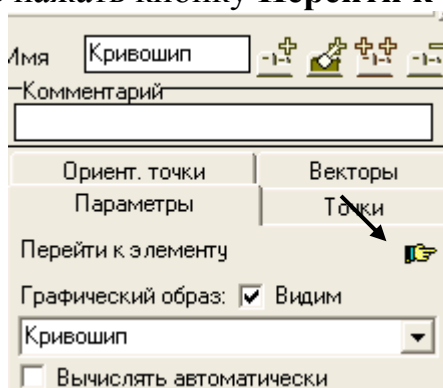


Рис. 15

2. В появившемся списке выбрать пункт **«Создать шарнир»**, затем **Вращательный** (рис.16).

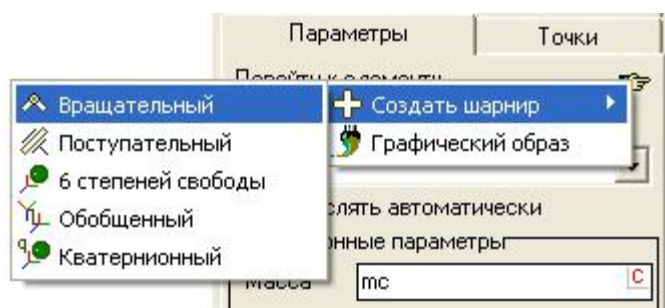


Рис.16.

После этого автоматически будет создан вращательный шарнир с именем **Кривошип**, связывающий фундамент (Base0) и кривошип. Положение шарнира и направление его оси необходимо задать в инспекторе объектов (рис. 17).

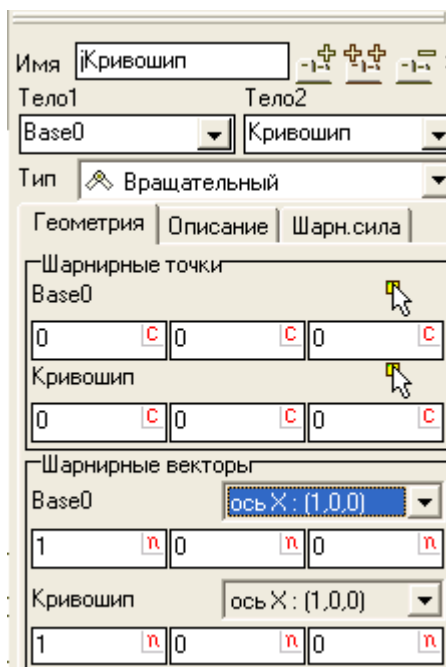


Рис. 17.

Шарнирные точки задают мета расположения шарнира на каждом теле. В данном случае, поскольку кривошип закреплен к фундаменту в начале координат, шарнирные точки имеют нулевые координаты. Шарнирные векторы определяют направление оси вращения относительно каждого тела. На рис. 17 указаны шарнирные вектора с координатами (1,0,0), что соответствует оси вращения параллельной оси X.

Для соединения кривошипа и ползуна 2-м способом необходимо нажать правую кнопку мыши на вкладке «Шарниры» в списке элементов модели и в контекстном меню выбрать пункты «Добавить элемент в группу «Шарниры»», «Вращательный» (рис.18). После этого в инспекторе объектов раскроется окно с характеристиками шарнира, в котором необходимо в явном виде указать название шарнира (по умолчанию Joint1), соединяемые тела (кривошип и шатун), координаты шарнирных точек и направления шарнирных векторов (рис.19).

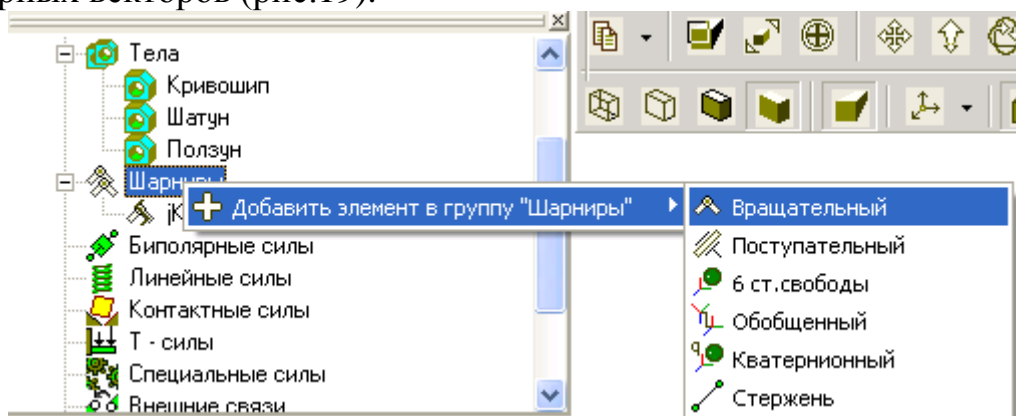


Рис.18.

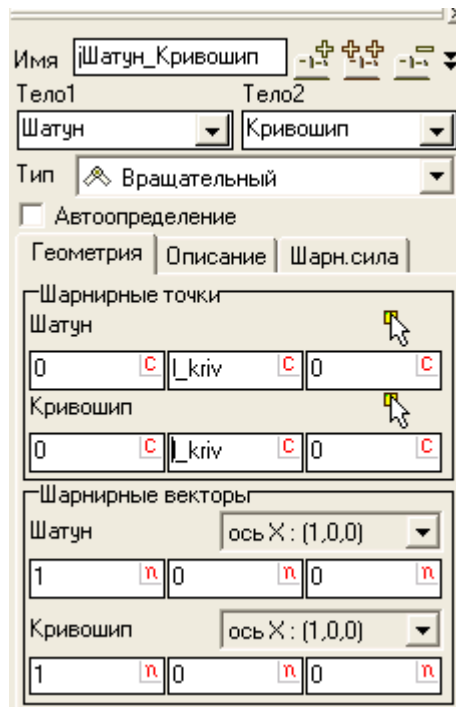


Рис. 19.


Для соединения шатуна и ползуна 3-м способом необходимо в списке элементов модели выбрать вкладку шарниры и в инспекторе объектов нажать кнопку  рядом с именем шарнира. Раскроется панель создания шарнира (рис. 20), в котором необходимо задать имя шарнира – jШатун\_Ползун, тип – Вращательный, координаты шарнирных точек и векторов.



Рис. 20.

Поскольку данный шарнир находится в точке соединения шатуна и ползуна координаты  $Y$  его шарнирных точек должны быть равны  $Y=l_{крив}+l_{шат}$ . Панель создания шарнира с заполненными свойствами приведена на рис. 21.

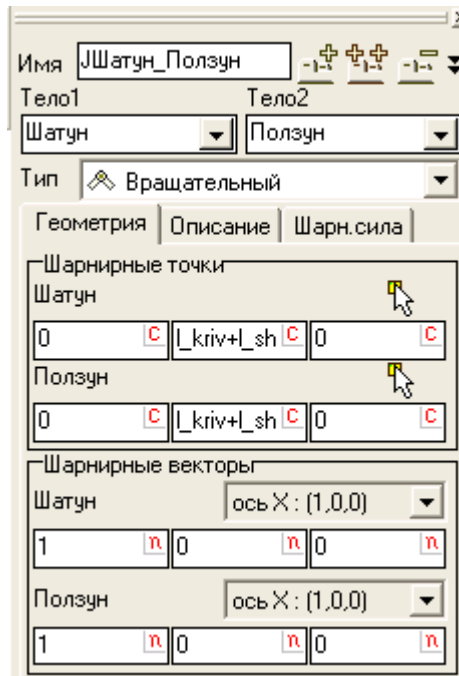


Рис. 21.

Шарнир, соединяющий ползун и фундамент, является поступательным. Он разрешает перемещение тел вдоль общей оси. В данном случае оси Y. Он может быть создан любым из вышеописанных способов. Окно шарнира с заполненными свойствами показано на рис. 22.

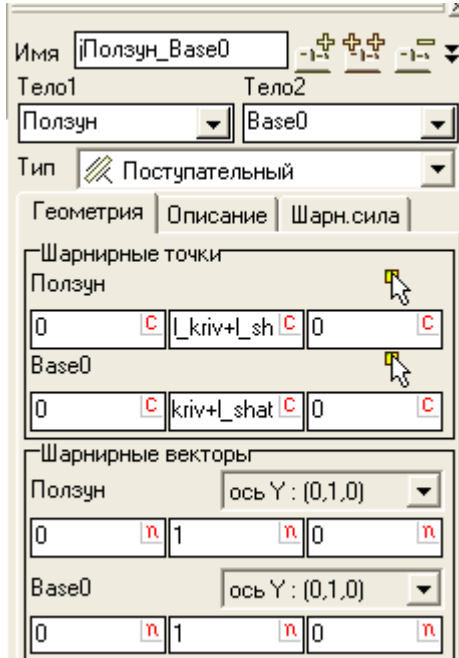


Рис. 22.

После того как описаны геометрические свойства модели и определены наложенные на нее связи, можно проводить кинематический анализ.

## 5. Кинематический анализ механизма.

### 5.1 Задание закона вращения кривошипа

Кинематический анализ модели подразумевает, что движение механизма некоторым образом задано и требуется определить скорости и ускорения некоторых его точек. В данной работе задается вращение кривошипа относительно фундамента. Для задания вращения кривошипа необходимо в списке элементов модели выделить шарнир, соединяющий кривошип и фундамент и в инспекторе объектов выбрать вкладку «Описание» и для параметра «Шарнирная координата» установить флажок «Заданная функция времени». После этого в строке «Значение» задать угол поворота кривошипа как функцию времени, причем для обозначения времени необходимо использовать символ «t» (рис. 23). Теперь модель готова к анализу.

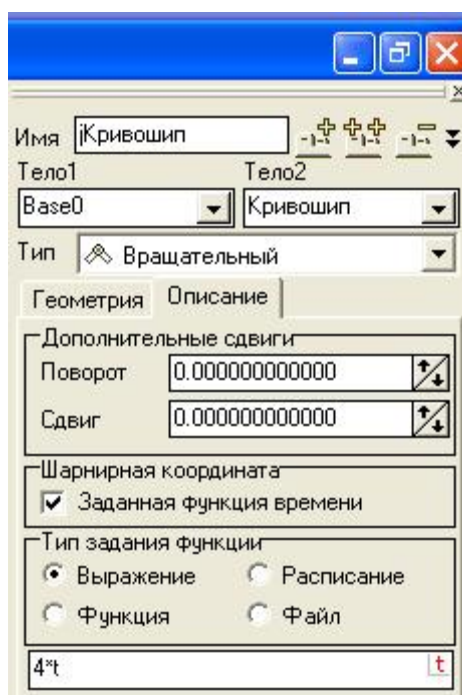


Рис. 23.

### 5.2. Синтез уравнений движения

Для анализа поведения модели необходимо построить уравнения, описывающие ее движение. Этот процесс автоматизирован и выполняется командами «Объект», «Синтезировать уравнения движения». Раскроется окно, в котором необходимо установить флажок «Перейти к модулю моделирования» (рис. 24). После нажатия клавиши Ok появится запрос о переходе к настройкам, в ответ на который необходимо нажать кнопку «Нет». После этого появится сообщение о том, что уравнения успешно синтезированы и после нажатия кнопки Ok запустится программа моделирования.

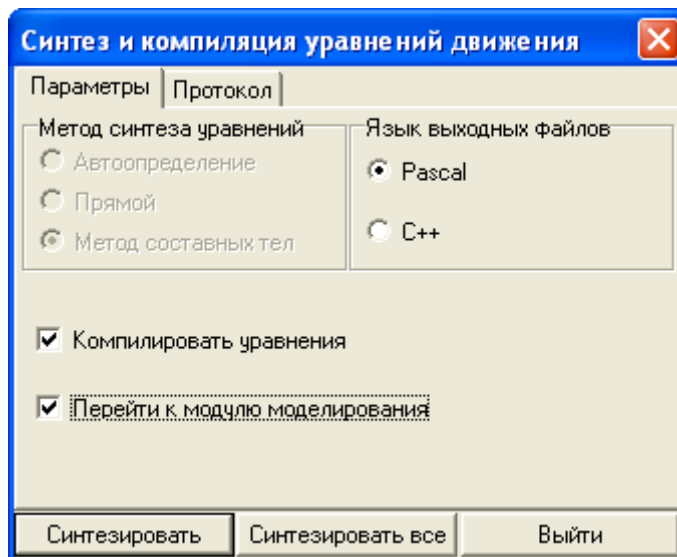


Рис. 24.

### 5.3. Программа UMSimul.

Решение полученных уравнений происходит в программе **UMSimul**, которая запускается автоматически, если установлен флажок «Перейти к модулю моделирования» на этапе синтеза уравнений. При запуске этой программы на экране появляется анимационное окно с изображением построенной модели (рис. 25).

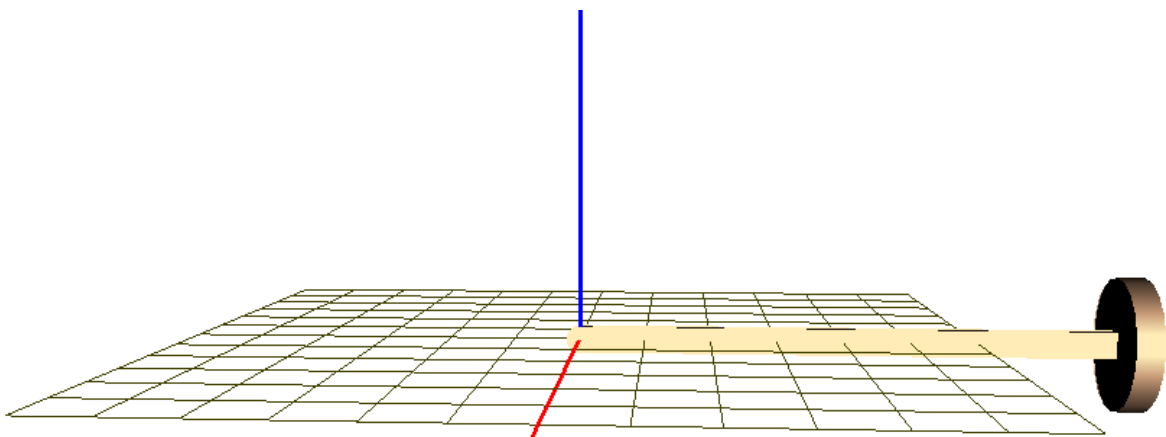


Рис. 25.

Это окно служит для показа анимационного движения модели в процессе расчетов.

Запуска моделирования необходимо выполнить команды меню «**Анализ**», «**Моделирование**». После этого на экране появиться окно управления моделированием (рис. 26). В этом окне можно выбрать метод интегрирования, задать начальное положение частей модели, отличное от того, которое было задано на этапе построения, изменить значения ранее созданных идентификаторов и т.д. Для запуска моделирования необходимо в

этом окне нажать кнопку «Интегрирование». Во время моделирования в анимационном окне будет отображаться движение механизма.

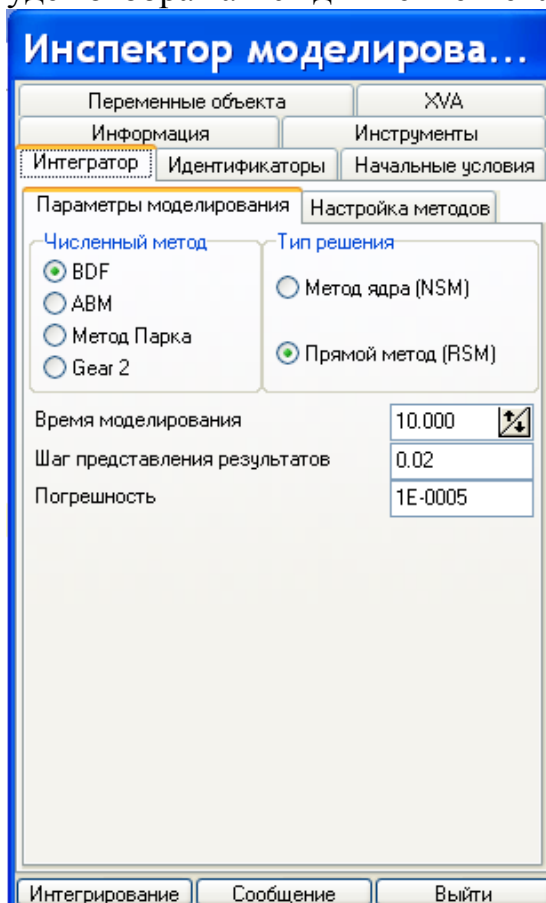



Рис. 26.

Так же во время моделирования в нижнем лево углу экрана появится окно «параметры интегрирования» (рис. 27), в котором можно просмотреть время от начала расчетов (Модельн. время), прочитанное время поведения модели (**Реальн.** время), величину шага интегрирования и время необходимое для его совершения. Кроме того, расчеты можно приостановить, нажав кнопку .

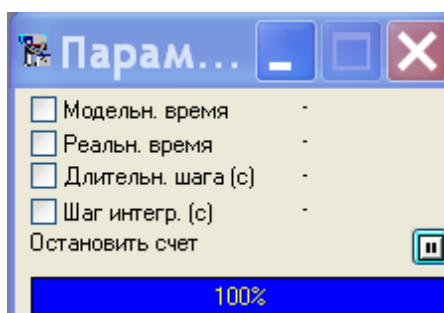


Рис. 27

При приостановке или завершении интегрирования, на экране появляется окно режима паузы (рис. 28), с помощью которого можно либо продолжить процесс моделирования (кнопка «Продолжить»), либо остановить его окончательно (кнопка «Прервать»)

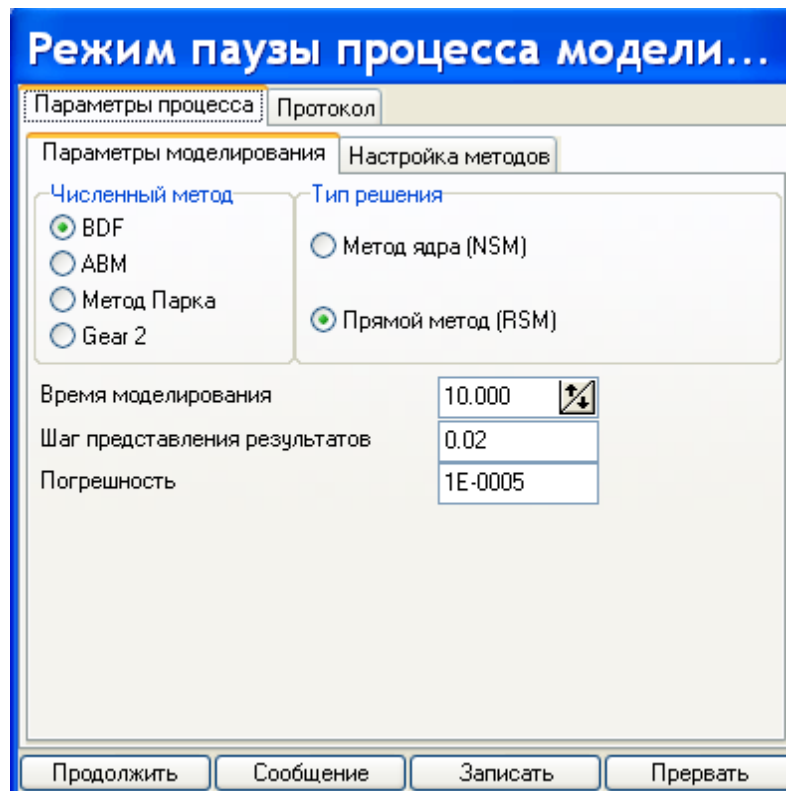


Рис. 28.

#### 5.4. Просмотр результатов вычислений

В анимационном окне могут отображаться траектории и вектора для различных величин, например вектора скорости и ускорения. Для возможности показа векторов и траекторий необходимо в анимационном окне нажать правую кнопку мыши и в контекстном меню выбрать команды «Положение списка векторов», «Слева» (рис. 29).

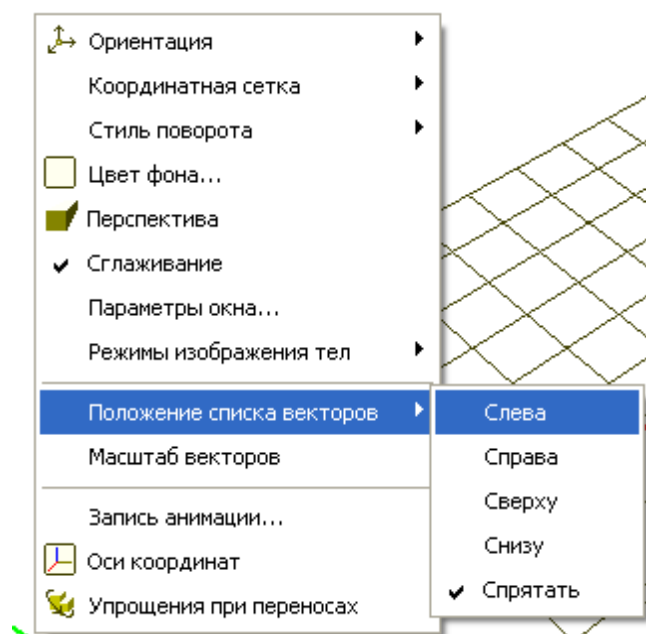


Рис. 29

После этого в анимационном окне появится вкладка «Векторы/Траектории». Для отображения графиков различных величин используется графическое окно. Для его вызова на экран необходимо выполнить команды верхнего меню «Инструменты», «Графическое окно». Графическое окно имеет вкладку «Переменные» для отображения названий параметров, графики которых строятся в этом окне.

### 5.5. Использование мастера переменных

Для задания величин графики или векторы которых необходимо показать служит мастер переменных. Он вызывается с помощью команд верхнего меню «Инструменты», «Мастер переменных» общий вид окна мастера переменных показан на рис. 30.

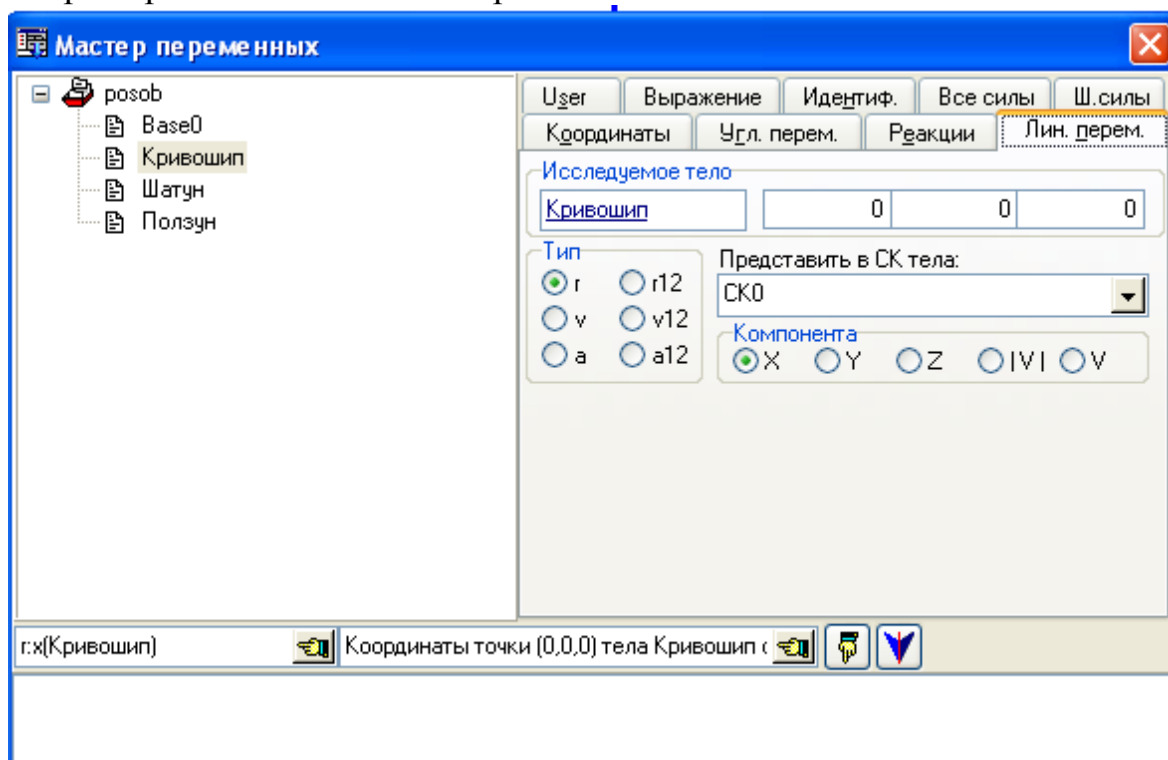




Рис. 30.

На левой вкладке отображается список тел модели. Для каждого из тел в правой части отображается список возможных параметров, вектора и графики величин которых возможно построить. Для построения вектора полного ускорения точки «С» шатуна необходимо в списке тел выбрать «Шатун», затем задать координаты исследуемой точки. Координаты задаются численно в абсолютной системе отсчета. Поэтому если, например, необходимо использовать точку, находящуюся на расстоянии 1 м от левого края шатуна, то в качестве координат необходимо указать (0,2,0), поскольку сам шатун отстоит от начала координат на 1 м. После этого необходимо выбрать вкладку «лин. перем.» (линейные перемещения), затем указать тип - «а» и компоненту v (без модуля). Затем нажать на две кнопки  в нижней части окна для формирования правильного названия исследуемой величины и кнопку  для добавления параметра в список переменных. Общий вид окна мастера переменных с заданными параметрами для показа вектора

ускорения точки, отстоящей на 2 метра от левого края шатуна показан на рис. 31.

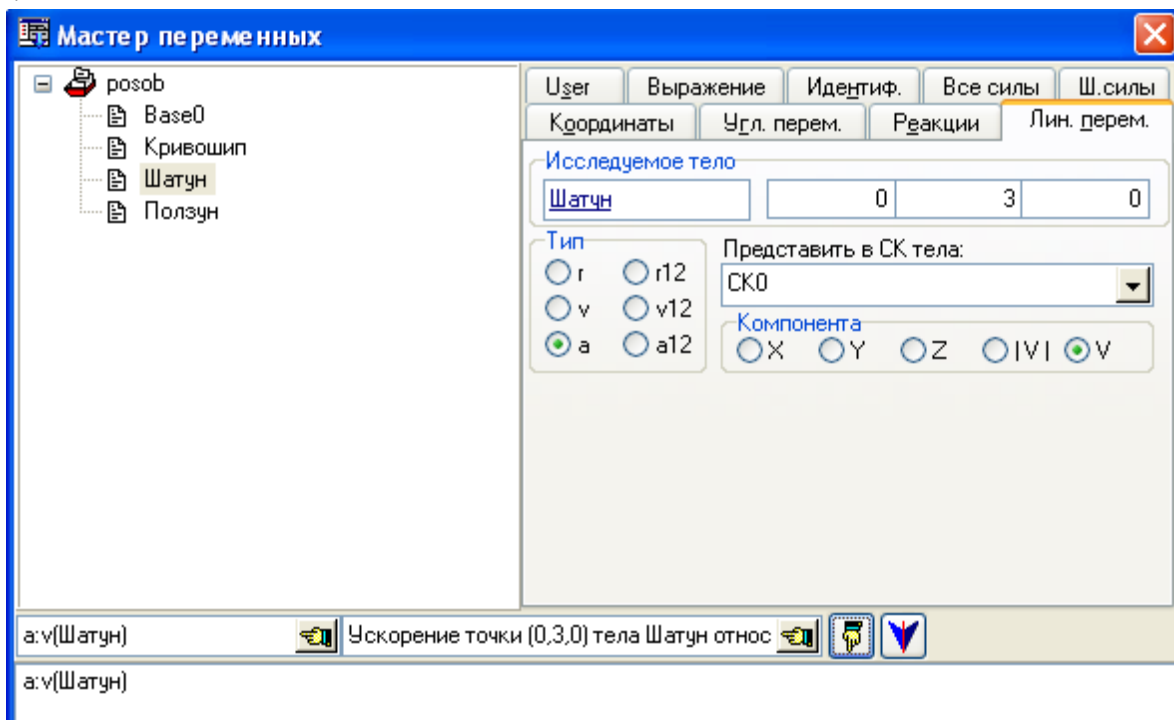


Рис. 31.

Затем необходимо левой кнопкой мыши перетащить выбранный параметр в список векторов анимационного окна, щелкнуть на нем два раза и в появившемся окне для лучшей наглядности выбрать красный цвет. Затем запустить вычисления. Во время анимации на экране красной стрелкой будет отображаться вектор ускорения точки «С» (рис. 32).

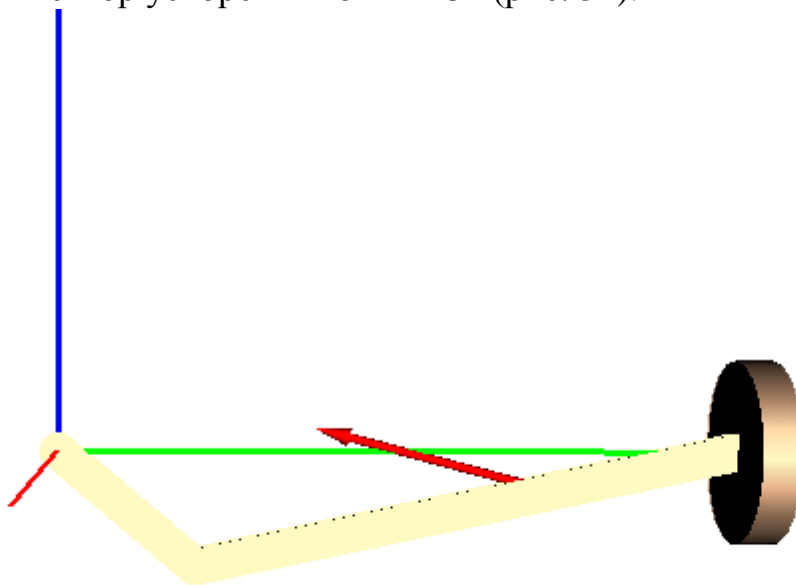


Рис. 32.

Для построения графика годографа скорости точки «С» необходимо вызвать на экран графическое окно, предназначенное для построения графиков

различных величин. Это окно вызывается командами «Инструменты», «Графическое окно». При необходимости можно вызвать на экран несколько графических окон одновременно. В мастере переменных необходимо создать две переменные для проекций скорости точки «С» вдоль осей Y и Z.

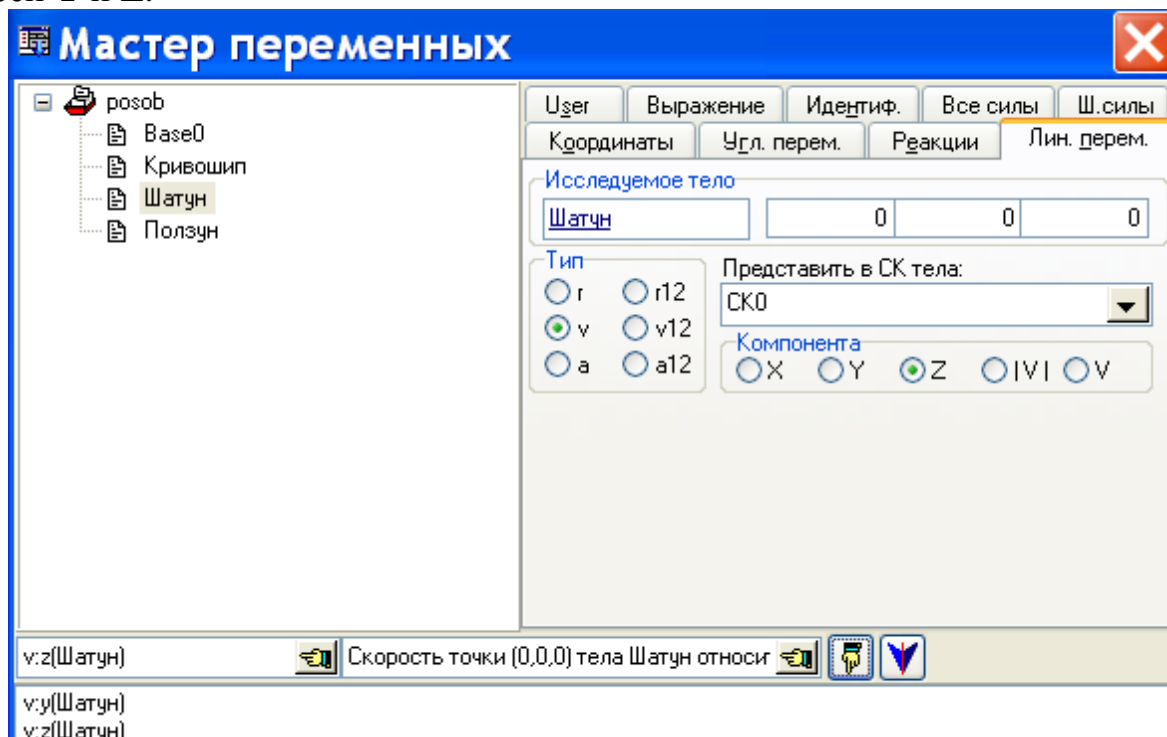


Рис. 33.

Для этого необходимо выбрать тело «Шатун» в списке элементов модели, указать вкладку «Лин. перем.», в которой выбрать тип «v» и указать компоненту «y». Затем нажать на две кнопки в нижней части окна для формирования правильного названия исследуемой величины и кнопку для добавления параметра в список переменных. Аналогично создается переменная для  $V_{z_c}$ . Окно мастера переменных, настроенное для определения переменной для  $V_{z_c}$ , показано на рис. 33.

После этого необходимо левой кнопкой мыши перетащить созданные переменные в графическое окно.

Если в графическом окне навести курсор мыши границу верхней полосы, то появится меню инструментов просмотра (рис. 34).

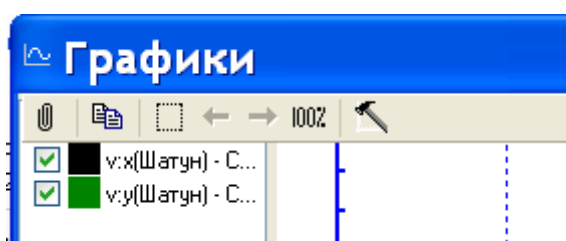


Рис. 34.

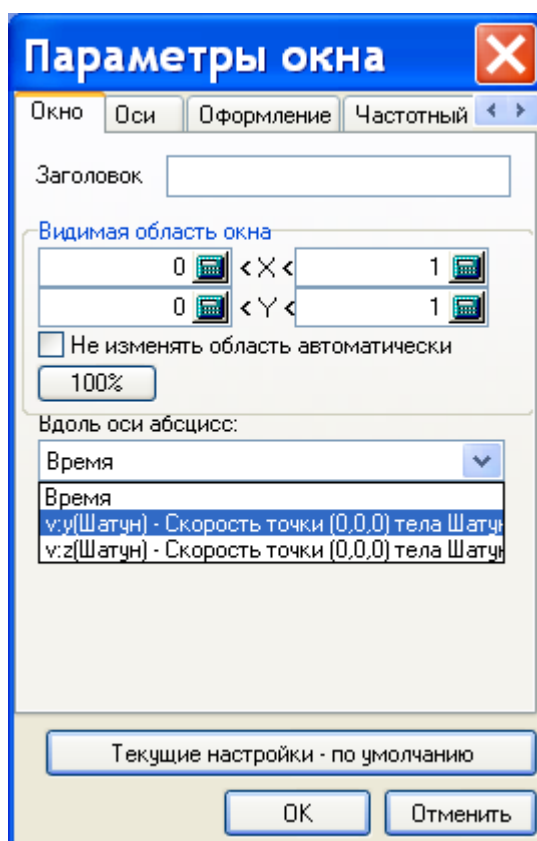



Рис. 35.

В этом меню необходимо нажать кнопку . После этого на экране появится панель «Параметры окна» (рис.35) в котором необходимо значение «**Время**» параметра «**Вдоль оси абсцисс**» изменить на «**v:z(Шатун)**». После нажатия кнопки «Ок» необходимо снова запустить расчет и тогда в графическом окне отобразится график годографа (рис. 36).

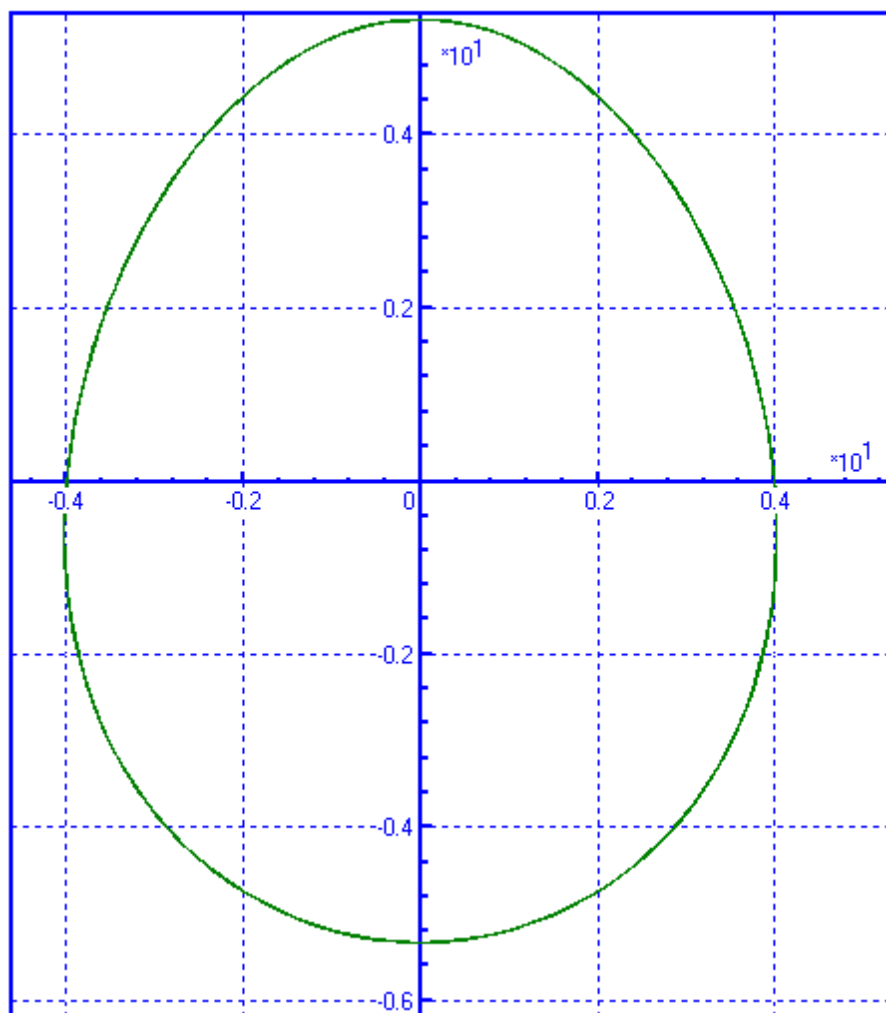


Рис. 36

## 6. Динамический анализ модели

При проведении динамического анализа к кривошипу прикладывается вращающий момент, а к ползуну – сила сопротивления, зависящая от положения ползуна.

### 6.1. Наложение силы, действующей на ползун.

Для задания силы, действующей на ползун, необходимо воспользоваться графиком силы в зависимости от положения ползуна. В данном примере используется следующий график силы, действующей на ползун, см. рис. 37.

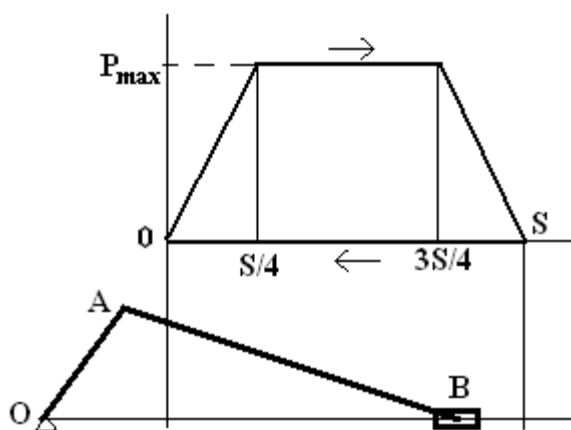


Рис. 37

На рис. 37  $S$  – ход ползуна,  $P_{\max}$  – максимальное значение силы, действующей на ползун.

Для задания силы  $P$  в УМ используется биполярный элемент «Гистерезис». Этот элемент представляет собой силу действующую между двумя точками и ее величина изменяется в зависимости от расстояния между этими точками по гистерезисной кривой. Гистерезисная кривая разбивается на 6 участков: предварительная нагрузка (график до точки разрыва), начальная нагрузка, нагрузка, стоп или упор (график после точки слияния), начальная разгрузка, разгрузка. Вид разбиения для данного примера показан на рис. 38.

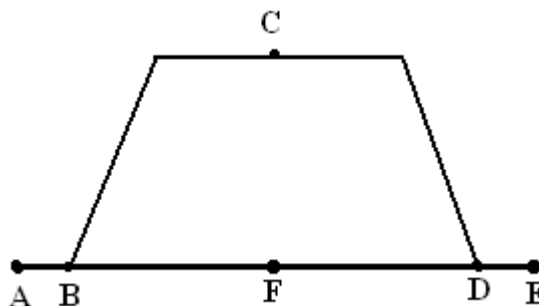


Рис. 38.

На рис. буквами обозначены:

Участок А - В – предварительная нагрузка;

участок В - С – начальная нагрузка;

участок С - D – нагрузка;

участок D - E –упор;

участок D - F – начальная разгрузка;

участок F - В – разгрузка.

Каждый участок должен описываться как минимум 3-мя точками. Граничные точки участков должны совпадать. Таким образом, график силы будет состоять из 12-ти точек. Для задания силы необходимо определить координаты всех точек. За начало координат в данном случае удобно выбрать точку 2. Для рассматриваемого примера таблица с координатами точек будет иметь следующий вид:

Таблица 1

| № точки | X | Y |
|---------|---|---|
|---------|---|---|

|    |         |            |
|----|---------|------------|
| 1  | -0.2    | 0          |
| 2  | -0.1    | 0          |
| 3  | 0       | 0          |
| 4  | $S/4$   | $P_{\max}$ |
| 5  | $S/2$   | $P_{\max}$ |
| 6  | $3S/4$  | $P_{\max}$ |
| 7  | $S$     | 0          |
| 8  | $S+0.1$ | 0          |
| 9  | $S+0.2$ | 0          |
| 10 | $3S/4$  | 0          |
| 11 | $S/2$   | 0          |
| 12 | $S/4$   | 0          |

Для создания силы в программе необходимо сначала создать два идентификатора, описывающих ход ползуна  $S$  и максимальное значение силы  $P_{\max}$  (рис. 39). Выражение  $S$  вычисляется как удвоенная длина кривошипа, значение  $P_{\max}$  берется из исходных данных задачи.

| Имя    | Выражение      | Значение |
|--------|----------------|----------|
| L_kriv | 1              |          |
| L_shat | 3              |          |
| lxx    | 100            |          |
| S      | $2 * L_{kriv}$ | 2        |
| p_max  | 1000           |          |

Рис. 39.

После этого в списке элементов модели необходимо нажать правую кнопку мыши в строке «Биполярные элементы», в контекстном меню выбрать команды «Добавить элемент в группу «Биполярные силы», а затем «Гистерезис» (рис. 40).

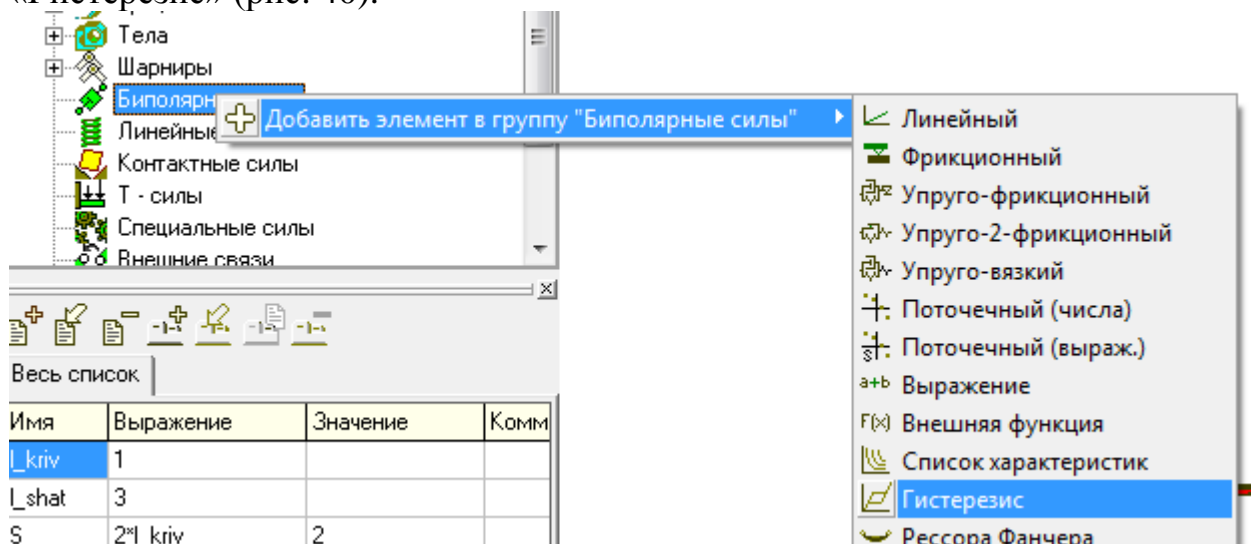


Рис. 40.

Затем в инспекторе объектов для элемента bFc1 указать тела, между которыми действует сила (ползун и Base0), и точки приложения силы на каждом из указанных тел. Один полюс силы расположен на ползуне и имеем координаты  $(0, l_{крив} + l_{шат})$  а второй на фундаменте и, поскольку сила должна действовать справа налево, его можно расположить в начале координат (рис. 41).

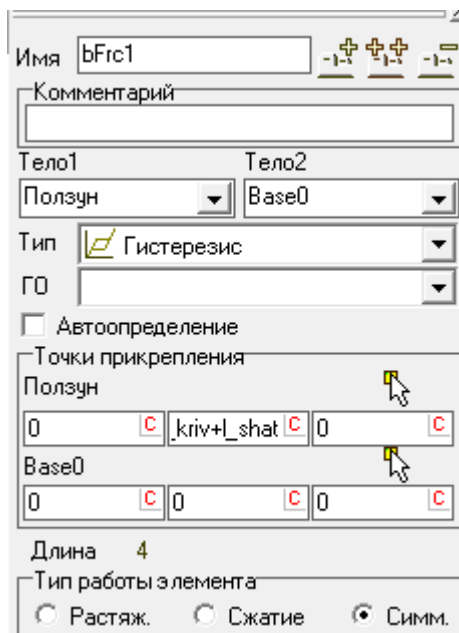


Рис. 41

Затем нужно создать таблицу расположения ключевых точек гистерезиса. Изначально таблица пуста, о чем свидетельствует надпись «нет точек», расположенная в нижней части инспектора объектов (рис. 42.).

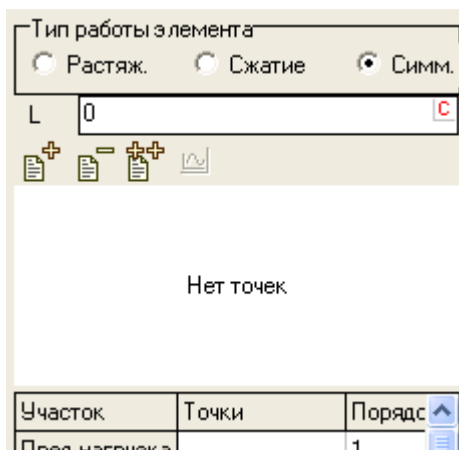


Рис. 42

Для добавления строки в таблицу необходимо нажать кнопку . Появится строка с номером точки, куда в столбец X нужно занести положение шатуна для 1-й точки в столбец Y – значение силы в этой точке. После заполнения таблицы нужно указать, к какому участку относится та или иная точка. В рассматриваемом примере распределение точек по участкам следующее:  
 Предварительная нагрузка (участок АВ) – точки 1,2,3  
 Начальная нагрузка (участок ВС) – точки 3,4,5

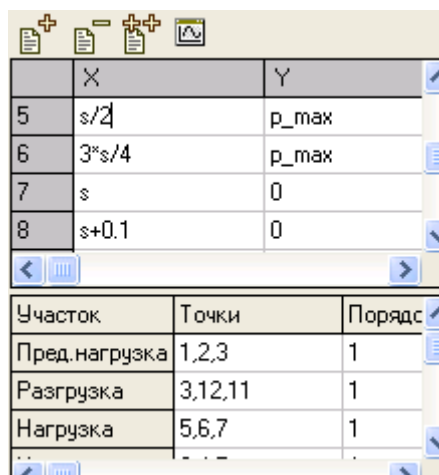
Нагрузка (участок CD) – точки 5,6,7

Упор или СТОП (участок DE) – точки 7,8,9

Начальная разгрузка (участок FD) – точки 11,10,7

Разгрузка (участок BD) – точки 3,12,11

Эти номера точек записываются в таблицу, расположенную в нижней части инспектора объектов. Заполненные таблицы с координатами точек и распределением точек по участкам представлены на рис. 43.




|   | X       | Y     |
|---|---------|-------|
| 5 | $s/2$   | p_max |
| 6 | $3*s/4$ | p_max |
| 7 | s       | 0     |
| 8 | $s+0.1$ | 0     |

| Участок        | Точки   | Порядок |
|----------------|---------|---------|
| Пред. нагрузка | 1,2,3   | 1       |
| Разгрузка      | 3,12,11 | 1       |
| Нагрузка       | 5,6,7   | 1       |

Рис. 43.

Необходимо отметить, что при распределении точек по участкам координаты точек, обозначающие положение ползуна должны возрастать, даже если при этом нарушается порядок точек. Так, например, на рис. В строке «Разгрузка» порядок точек нарушен, поскольку на участке BD точка 3 имеет минимальную координату, точка 11 – максимальную, а точка 12 – промежуточную. Проконтролировать правильность задания точек можно с помощью графика построенного гистерезиса, который вызывается кнопкой , расположенной между таблицами с координатами точек и их разбиением по участкам (рис. 44).

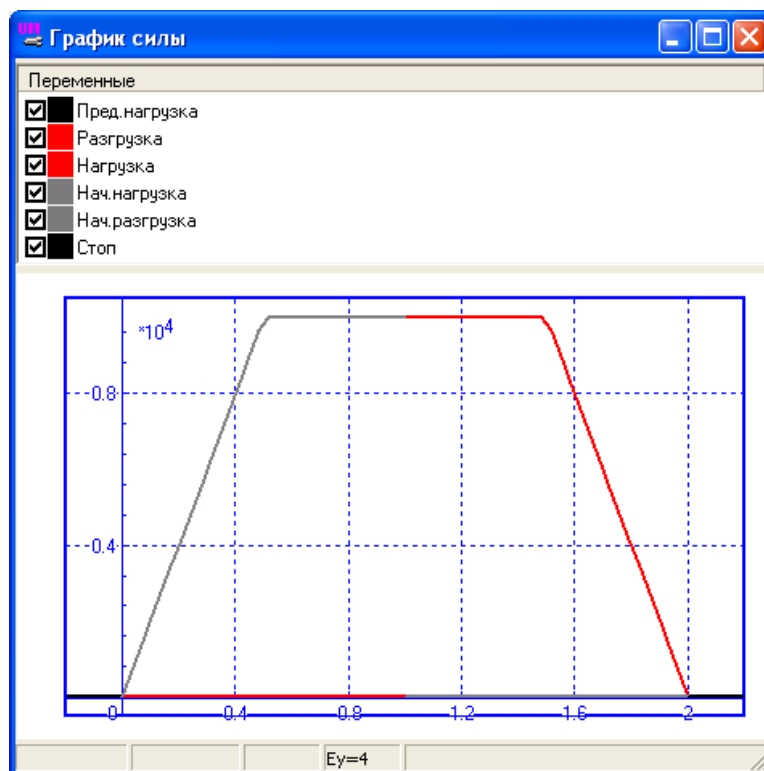


Рис. 44.

Завершает создание силы задание смещения  $L$ . Это смещение определяет насколько смещается график силы вдоль горизонтальной оси. Согласно заданным точкам сила действует на участке  $[0, 2 \cdot l_{kriv}]$ , а согласно диаграммы сила должна действовать на участке  $[l_{shat} - l_{kriv}, l_{shat} + l_{kriv}]$ . Поэтому смещение  $l$  необходимо задать как  $l_{shat} - l_{kriv}$  (рис. 45.)

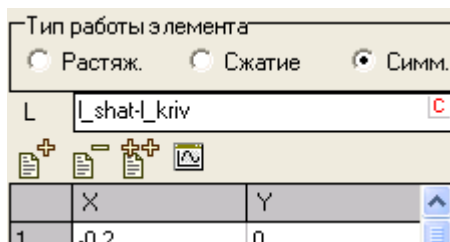


Рис. 45.

Примечание. Для проверки правильности действия силы рекомендуется синтезировать уравнения движения, запустить программу моделирования и построить в ней график силы в зависимости от положения точки  $(0, l_{kriv} + l_{shat}, 0)$  ползуна. При правильно задании силы график должен совпадать с рис.44 за исключением участков преднагрузки и упора.

## 6.2. Наложение момента на кривошип.

Вращающий момент, приложенных к кривошипу, задается некоторым выражением, например

$$M = M_0 \left( 1 - \frac{\omega}{\omega_0} \right),$$

где  $M_0$  - максимальный момент,  $\omega_0$  - максимальная угловая скорость.

Для наложения на модель вращающего момента необходимо закрыть окно программы UMSimul и открыть окно программы UMInput, где в списке идентификаторов создать параметры  $M_0$  и  $w_0$  и присвоить им значения согласно условиям задачи (рис. 46).

| Имя    | Выражение | Значение |
|--------|-----------|----------|
| L_kriv | 1         |          |
| L_shat | 3         |          |
| Ixx    | 13        |          |
| S      | 2*L_kriv  | 2        |
| p_max  | 1000      |          |
| m0     | 1000      |          |
| w0     | 50        |          |

Рис. 46.

Затем в окне со списком элементов модели выбрать шарнир, соединяющий кривошип с фундаментом, в инспекторе свойств объектов открыть вкладку «**Описание**» и убедиться в том, что не установлен флажок «**Заданная функция времени**» для параметра «**Шарнирная координата**». Затем перейти на вкладку «**Шарнирная сила**» и для параметра «**Шарнирный момент**» с помощью меню выбрать значение «**Линейный**». Ниже появится обобщенная формула для линейного момента и строки редактирования, позволяющие задать выражение для момента. В значение параметра  $F_0$  необходимо задать как  $M_0$ , а параметра  $d$  –  $M_0/w_0$  (рис.47), после чего нажать Enter.

Имя: Кривошип

Тело1: Base0 | Тело2: Кривошип

Тип: Вращательный

Шарнирный момент: Линейный



$F = F_0 - c \cdot (x - x_0) - d \cdot v + Q \cdot \sin(w \cdot t + a)$

|    |       |
|----|-------|
| F0 | m0    |
| c  | 0     |
| x0 | 0     |
| d  | m0/w0 |
| Q  | 0     |
| w  | 0     |
| a  | 0     |

Рис. 47.

Таким образом, максимальный крутящий момент в рассматриваемом примере равен 1000 Нм, а максимальная угловая скорость вращения 50 рад/с.

### 6.3. Построение графика угловой скорости кривошипа

Затем нужно с помощью команд верхнего меню **«Объект»**, **«Синтезировать уравнения движения»** синтезировать уравнения движения и запустить программу моделирования (см. пункт 5.2.) В этой программе необходимо построить график изменения угловой скорости кривошипа со временем. Для этого с помощью кнопки  на верхней панели инструментов создать графическое окно. С помощью команд верхнего меню **«Инструменты»**, **«Мастер переменных»** вызвать мастер переменных, где выбрать вкладку **«Угл. перем.»** для тела **«Кривошип»**, в качестве исследуемой величины указать угловую скорость, а в качестве компоненты – модуль скорости (рис.48), затем кнопками  сформировать переменную и ее название (см. пункт 5.5) и добавить эту переменную в созданное графическое окно.

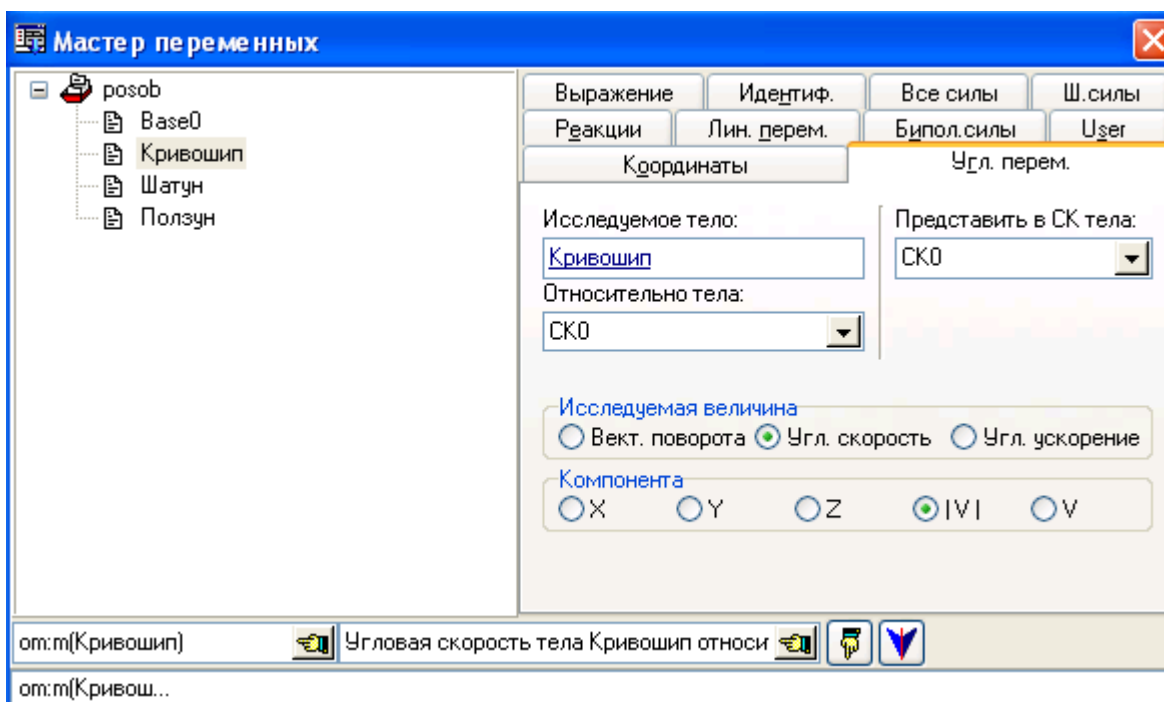



Рис. 48.

После этого необходимо нажать кнопку  на верхней панели инструментов для вызова Инспектора моделирования объекта и запустить симуляцию, нажав кнопку **«Интегрирование»**. По окончании интегрирования в графическом окне построится график зависимости угловой скорости кривошипа от времени. После окончания моделирования появится окно **«Процесс моделирования закончен»**, в котором нужно нажать кнопку **«Ок»** и проанализировать график (рис. 49).

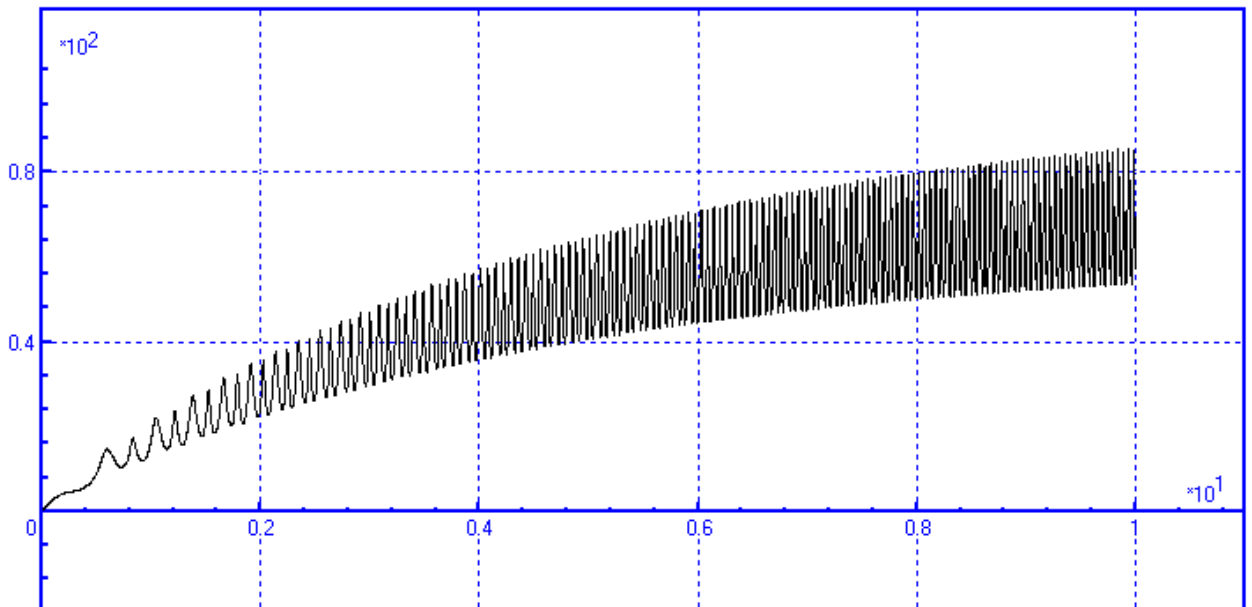


Рис. 49

Как видно из графика, в рассматриваемом примере 10-ти секунд интегрирования оказалось недостаточно, чтобы режим вращения кривошипа стал установившимся, поскольку угловая скорость возрастает до конца интегрирования. В этом случае нужно увеличить время интегрирования в окне инспектора моделирования объекта, например до 20-ти секунд и нажать кнопку «Продолжить» (рис. 50)

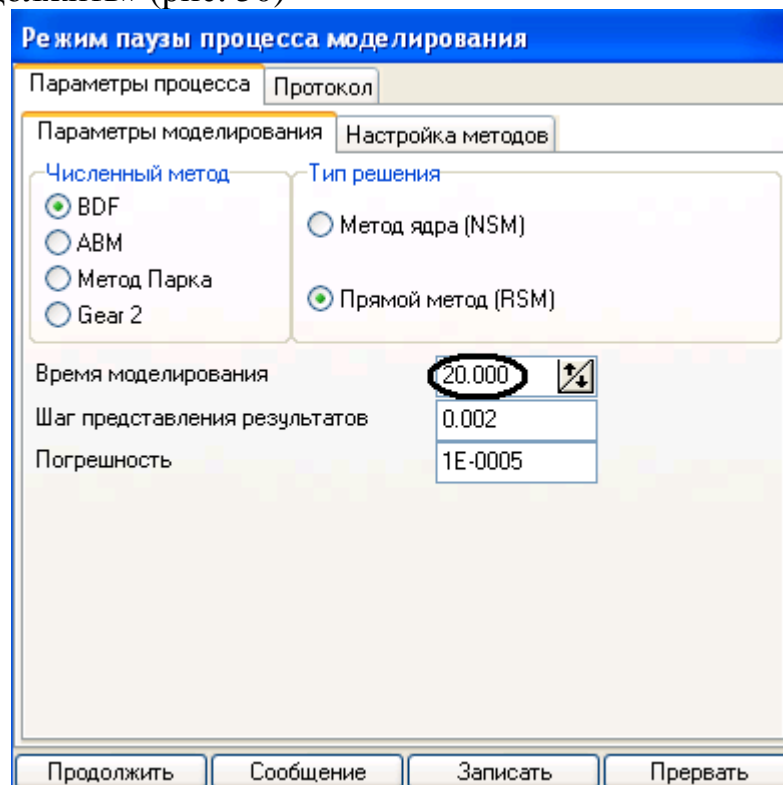


Рис. 50

После этого график угловой скорости примет вид, как на рис. 51, что соответствует установившемуся процессу вращения кривошипа.

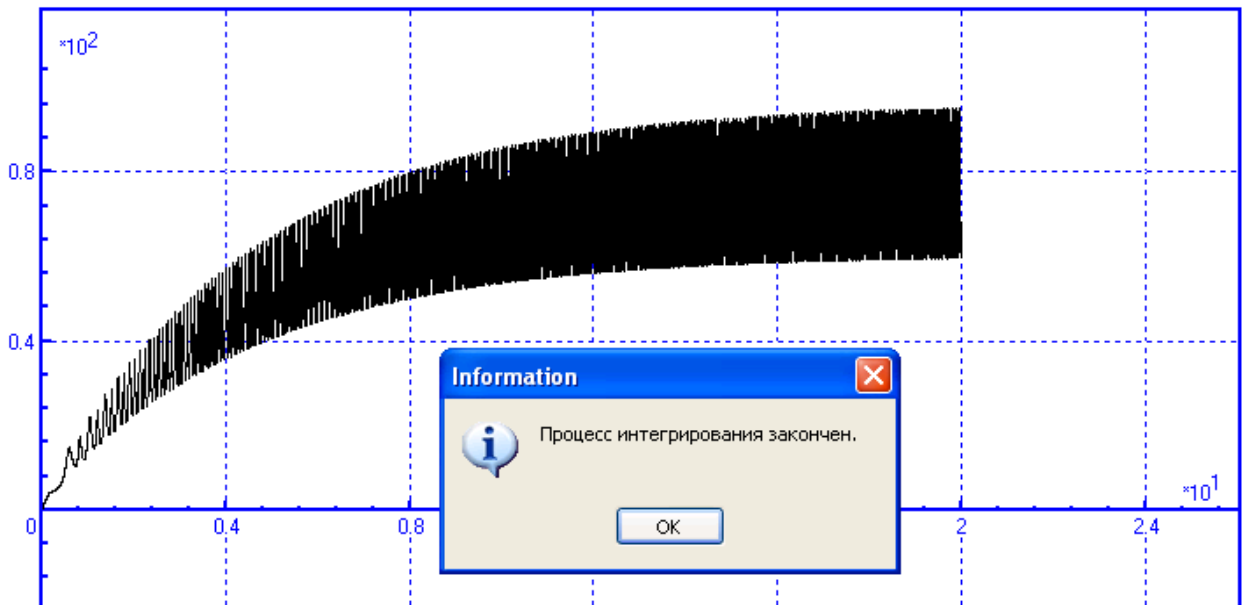


Рис. 51.

#### 6.4. Определение показателя неравномерности вращения

Для определения показателя неравномерности вращения необходимо получить численные значения угловой скорости. Для этого в графическом окне на названии переменной необходимо нажать правую кнопку мыши и выбрать команду «Сохранить в текстовый файл» (рис. 52).

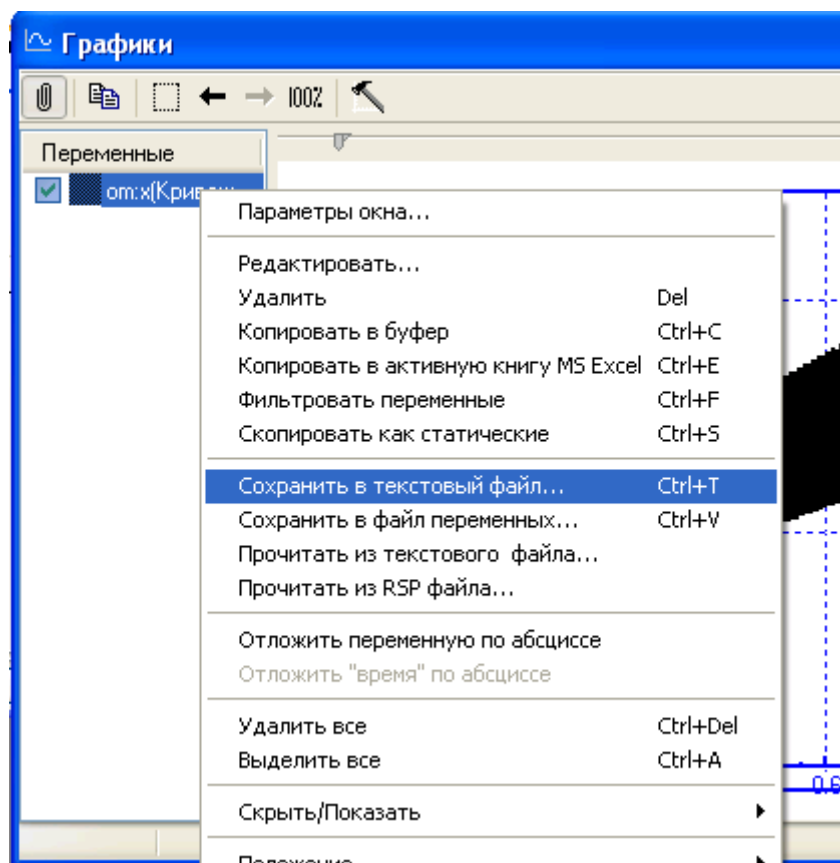


Рис. 52.

После этого откроется стандартный диалог, в котором нужно выбрать папку для сохранения файла и его название. После сохранения файл можно открыть любым текстовым редактором, например «Блокнот». Файл имеет следующий вид:

Описание переменных:

Столбец 1 - Массив значений по оси абсцисс

Столбец 2 -  $\omega_x$ (Кривошип) [Угловая скорость тела Кривошип относительно Base0, СК Base0, проекция X]

|                        |                               |
|------------------------|-------------------------------|
| 0.00000000000000E+0000 | 0.00000000000000E+0000        |
| 2.07231170497835E-0003 | 5.76536916196346E-0002        |
| 4.83180116862059E-0003 | 1.34359091520309E-0001        |
| 6.21154578402638E-0003 | 1.72683402895927E-0001        |
| .....                  |                               |
| 1.99541625976562E+0001 | 6.80372619628906E+0001        |
| 1.99561634063721E+0001 | 7.16353683471680E+0001        |
| 1.99581642150879E+0001 | 7.58791809082031E+0001        |
| 1.99601631164551E+0001 | 8.06550750732422E+0001        |
| 1.99621639251709E+0001 | 8.56666946411133E+0001        |
| 1.99641628265381E+0001 | 9.03356399536133E+0001        |
| 1.99661636352539E+0001 | 9.37942886352539E+0001        |
| 1.99681625366211E+0001 | <b>9.51453094482422E+0001</b> |
| 1.99701633453369E+0001 | 9.39728240966797E+0001        |
| 1.99721641540527E+0001 | 9.06461868286133E+0001        |
| 1.99741630554199E+0001 | 8.60467681884766E+0001        |
| 1.99761638641357E+0001 | 8.10534286499023E+0001        |
| 1.99781627655029E+0001 | 7.62633743286133E+0001        |
| 1.99801635742187E+0001 | 7.19877166748047E+0001        |
| 1.99820384979248E+0001 | 6.85568466186523E+0001        |
| 1.99841003417969E+0001 | 6.54552307128906E+0001        |
| 1.99861011505127E+0001 | 6.31061973571777E+0001        |
| 1.99881000518799E+0001 | 6.13793601989746E+0001        |
| 1.99901008605957E+0001 | 6.02541542053223E+0001        |
| 1.99921016693115E+0001 | <b>5.97269096374512E+0001</b> |
| 1.99941005706787E+0001 | 5.98183441162109E+0001        |
| 1.99961013793945E+0001 | 6.05817146301270E+0001        |
| 1.99981002807617E+0001 | 6.21137084960937E+0001        |
| 2.00001010894775E+0001 | 6.45695953369141E+0001        |
| 2.00022258758545E+0001 | 6.84530487060547E+0001        |

Для вычисления коэффициента неравномерности вращения необходимо использовать разность максимального и минимального значения угловой скорости за один оборот. Из анализа числовых данных видно, что минимальное значение угловой скорости равно 59.72, а максимальное – 95.14. Таким образом, среднее значение угловой скорости  $(59.72+95.14)/2=77.43$ , а коэффициент неравномерности вращения равен 17.71.

Теперь необходимо изменить осевой момент инерции кривошипа таким образом, что бы коэффициент неравномерности был не более 7. Для изменения момента инерции нужно в инспекторе моделирования объекта нажать кнопку «Прервать» и выбрать вкладку «Идентификаторы» (рис. 53).

| Инспектор моделирования объекта   |                |                   |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
|---|----------------|-------------------|---------|-----|-----------|----------|---------|--------|---|--|--|--------|---|--|--|-----|----|--|--|---|----------|---|--|-------|------|--|--|----|------|--|--|----|-----|--|--|
| Переменные объекта  |                | XVA               |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
| Информация  |                | Инструменты       |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
| Интегратор  | Идентификаторы | Начальные условия |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
| <div style="display: flex; align-items: center;"> <span>📁</span> <span>📄</span> <span>📄</span> <span>➔</span> </div> <p>Весь список</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Имя</th> <th>Выражение</th> <th>Значение</th> <th>Коммент</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L_kriv</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>L_shat</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ixx</td> <td>13</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>2*L_kriv</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>p_max</td> <td>1000</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>m0</td> <td>1000</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>w0</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |                |                   |         | Имя | Выражение | Значение | Коммент | L_kriv | 1 |  |  | L_shat | 3 |  |  | Ixx | 13 |  |  | S | 2*L_kriv | 2 |  | p_max | 1000 |  |  | m0 | 1000 |  |  | w0 | 100 |  |  |
| Имя   | Выражение      | Значение          | Коммент |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
| L_kriv  | 1              |                   |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
| L_shat  | 3              |                   |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
| Ixx   | 13             |                   |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
| S   | 2*L_kriv       | 2                 |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
| p_max   | 1000           |                   |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
| m0  | 1000           |                   |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |
| w0  | 100            |                   |         |     |           |          |         |        |   |  |  |        |   |  |  |     |    |  |  |   |          |   |  |       |      |  |  |    |      |  |  |    |     |  |  |

Рис. 53.

Значение идентификатора Ixx нужно изменить на 130. Поскольку момент инерции маховика увеличился, время достижения установившегося режима так же возрастет. В рассматриваемом примере время интегрирования необходимо увеличить до 100 с и снова нажать кнопку «Интегрирование». График угловой скорости примет вид (рис. 54)

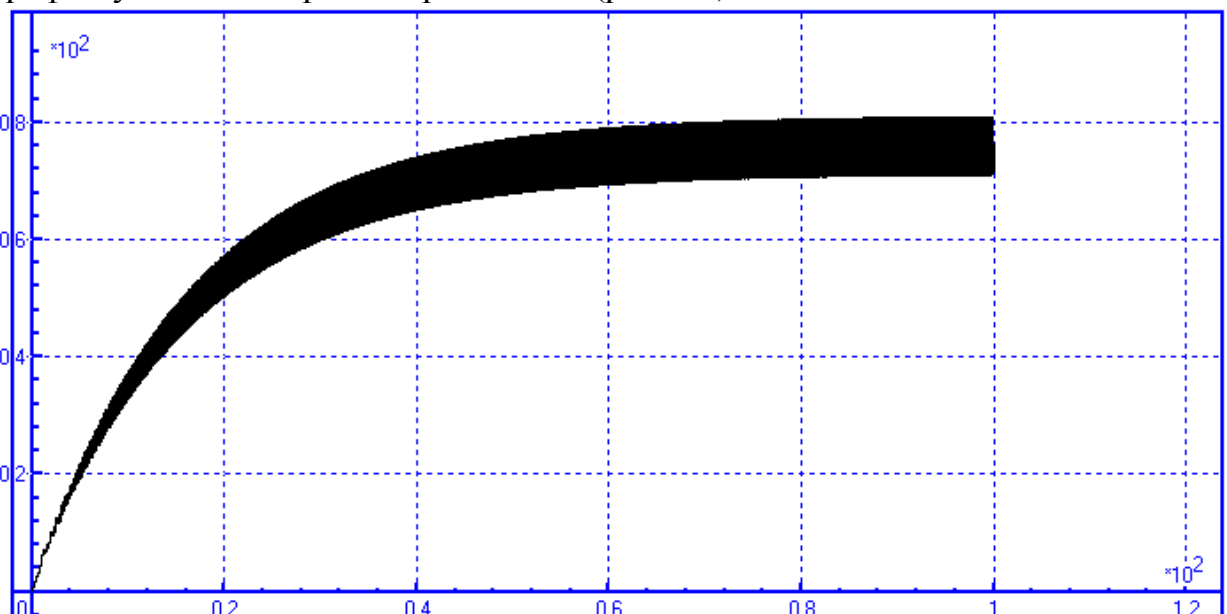
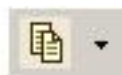


Рис. 54

Сохранив, как указано выше, значения угловой скорости в текстовый файл и проанализировав их получаем, что среднее значение угловой скорости равно 76, а коэффициент отклонения равен 5. Таким образом, задание полностью выполнено.

## Приложение 1

### Назначение кнопок на панели управления просмотром



-копировать изображение модели в память или графический файл.



– увеличивает масштаб выделенной прямоугольной области до размеров полного экрана.



– изменяет масштаб отображения модели таким образом, что бы она целиком поместилась на экране.



– увеличение изображения модели по щелчку мыши



–перемещение модели параллельно плоскости экрана. Для этого действия необходимо нажать на кнопку, навести мышь на модель, нажать левую кнопку мыши и двигать ее в нужном направлении.



– увеличение/уменьшение масштаба отображения модели мышкой



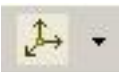
– поворот модели в соответствии с выбранным стилем мышкой



– упрощенное отображение модели при перемещении по экрану.



- эти кнопки служат для изменения перспективы при изображении модели



– выбор ориентации системы координат для просмотра модели



- переключение объект/элемент



- показать иконки элементов

## Приложение 2

### Правила задания материала или плотности для графических объектов

Для задания материала или плотности тела необходимо:

1) Выделить в списке элементов модели необходимый графический образ и в инспекторе свойств объектов выбрать пункт **Материал** (рис. 55).

2) В поле **Материал** необходимо либо выбрать материал, который необходимо назначить телу (программа УМ 4.0. предусматривает два вида материала: **Сталь** и **Дерево**, либо задать значение эквивалентной плотности материала, который в этом случае будет рассматриваться как однородный.

3) Указать **Тип Элемента**, его значения могут быть следующими:

а) *Сплошной* (объёмный);

б) *Полый*, в этом случае дополнительно задаётся толщина стенок, в мм ;

в) *Каркас* ( задаётся площадь сечения составляющих его кривых, в мм<sup>2</sup>).

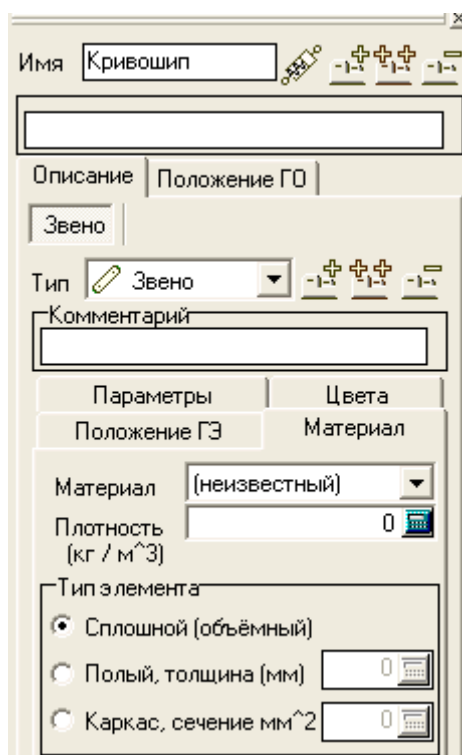


Рис. 55

## Описание команд верхнего меню

### Файл

- **Новый объект ССТ (Ctrl+N)** - открывает конструктор нового объекта (система связанных тел, ССТ) с именем по умолчанию **UmObj0**.
- **Открыть объект ССТ (Ctrl+O)** - вызывает окно выбора объекта, с помощью которого следует выбрать каталог с ранее созданным объектом - ССТ. Окно отображает дерево объектов в выбранном *каталоге для просмотра объектов*. Для установки пути по умолчанию к этому каталогу используйте кнопку *Сканировать папку* для выбора каталога и затем появившуюся кнопку *Сохранить в настройке*.
- Для обновления дерева объектов в окне *Открыть объект* используйте F5 или всплывающее меню. Верхнее поле окна используется для выбора текущего каталога просмотра объектов.
- **Открыть заново** - позволяет открыть один из списка последних объектов.
- **Сохранить (Ctrl+S)** - сохранить активный объект. Команда выполняется, если активный объект был создан и не сохранялся или был изменен после открытия.
- **Сохранить как...** - сохраняет объект под новым именем. При выполнении команды появляется окно (Рис. 55).

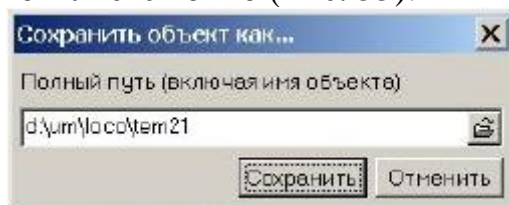



Рис 55.

Объект сохраняется в каталоге, полный путь к которому указывается в редактируемой строке окна. Используйте кнопку  в правой части строки для вызова стандартного окна выбора существующего каталога. При необходимости *создается* полный путь к заданному каталогу. После записи имя объекта *автоматически изменяется на имя каталога, в котором сохраняется объект*.

**Замечание.** Имя задачи (соответственно, последнего каталога) должно быть *идентификатором*, то есть содержать буквы латинского алфавита a...z, A...Z, цифры 0...9, символ '\_' и должно начинаться с буквы. Не допускаются пробелы в имени объекта.

- **Выйти (Alt+X)** - закрывает программу описания объекта.

### Объект

- **Проверить данные (F7)** - проверка полноты описания *активного* объекта.
- **Синтезировать уравнения (F8)** - сохраняет объект (если он изменен после последней записи), удаляет старую *динамическую библиотеку (Umtask.DLL)* объекта, проверяет полноту его описания и при положительном результате проверки вызывает окно синтезатора уравнений

движения *активного* объекта.

## Инструменты

- **Редактор (Ctrl+E)** - вызывает встроенный текстовый редактор.
- **Калькулятор выражений** - вызывает встроенный символьный калькулятор
- **Инспектор (F12)** - помещает *инспектор данных* активного объекта поверх всех окон (при условии, что инспектор был закрыт).
- **Список элементов (F11)** - помещает *список элементов* активного объекта поверх всех окон (при условии, что список снят с конструктора в отдельное окно или закрыт).
- **Идентификаторы (Alt+I)** помещает *список идентификаторов* активного объекта поверх всех окон (при условии, что список снят с конструктора в отдельное окно или закрыт).
- **Список окон (Alt+O)** - вызывает окно со списком всех открытых окон и позволяет разместить одно из них поверх остальных.
- **Файл управления (Alt+C)** - размещает файл управления активного объекта в редакторе, указанном пользователем.
- **Файл элементов (input.dat)** - размещает в текстовом редакторе файл с полными списками элементов активного объекта (телами, шарнирами и так далее).
- **Графический конвертор** - открывает графический конвертор файлов форматов 3ds и asc в формат UM (umi).
- **Преобразование координат (Alt+T)** открывает окно, позволяющее пересчитывать координаты точек в разные системы координат.
- **Мастер компонент** - инструмент для редактирования библиотек компонент.
- **Список компонент** - вызывает диалог со списком подгруженных компонент. Дублирует закладки с компонентами.
- **Настройки** - вызывает окно с настройками программы описания объекта (пути к внешним компиляторам, внешним подсистемам, программным модулям пользователя и так далее).

## Правка

- **Копировать в буфер** - записывает параметры выделенного элемента в буфер обмена.
- **В буфер как компоненту** - записывает в буфер параметры выделенного элемента и связанного с ним графического образа. Если элементу не назначен графический образ, опция недоступна.
- **Копировать в файл ...** - записывает параметры выделенного элемента в файл. Имя файла задаётся в стандартном интерфейсе.
- **В файл как компоненту ...** - сохраняет в файле параметры выделенного тела и связанного с ним графического образа.
- **Вставить** - вставка элемента/компоненты из буфера.
- **Прочитать из файла** - добавляет в объект все элементы, содержащиеся в файле. При совпадении имён элементов, к именам добавляемых элементов добавляется индекс. Допустим, что активный объект содержит тело с именем

Body. При загрузке из файла объекта, также содержащего некоторое тело Body, оно будет переименовано в Body1.

### **Помощь**

- **Уроки** - доступ к *обучающей среде* UM. Содержит подробное описание использования UM для моделирования простейших систем тел.
- **О программе** - сведения о версии и разработчиках UM.