

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный университет»

Механико-математический факультет

Учебное пособие

Моделирование кинематики и динамики кривошипно-шатунного
механизма в пакете прикладных программ ADAMS

К.А. Поляков

Содержание

Введение

I. Создание кинематической модели

- 1.1. Средства создания модели
- 1.2. Подготовка к созданию модели
- 1.3. Средства геометрического проектирования
- 1.4. Создание модели кривошипа.
- 1.5. Создание модели шатуна.
- 1.6. Создание модели ползуна
- 1.7. Соединение кривошипа с опорой (фундаментом)
- 1.8. Соединение шатуна и кривошипа
- 1.9. Соединение шатуна и ползуна
- 1.10. Соединение ползуна и опоры
- 1.11. Задание управляющего движения для кинематического анализа

II. Кинематический анализ модели.

- 2.1. Запуск симуляции модели
- 2.2. Просмотр результатов симуляции.

III. Динамический анализ модели.

- 3.1. Создание метки для угла поворота кривошипа.
- 3.2. Создание силы, действующей на ползун.
- 3.3. Задание уравновешивающего момента.
- 3.4. Задание инерционно массовых характеристик частей модели
- 3.5. Создания метки угловой скорости вращения кривошипа.

Введение

Усложнение математических моделей в современной науке неизбежно ведет к широкому использованию численных методов и, следовательно, к созданию специализированного программного обеспечения. В связке: составление программы – отладка – расчет второе звено занимает много больше времени, чем остальные два. Поэтому каждая модификация программы или адаптация ее к новой задаче очень часто приводит к значительным временным потерям. Кроме того программы созданные отдельными программистами, как правило, используют различный формат входных и выходных данных, различные численные методы и алгоритмы расчета. Это сильно затрудняет совместное использование нескольких программ, например, для проверки корректности результатов, а так же обмен данными между различными программами при решении совместных задач. Преодоление этих проблем привело к созданию вычислительных пакетов, то есть программных продуктов, предназначенных для решения необычайно широкого круга задач и при этом использующих стандартные способы ввода-вывода исходных данных. К первым из таких пакетов программ, получивши мировую известность можно отнести пакет ANSYS, который позволяет решать задачи в области деформируемого твердого тела, механики жидкости и газа, электромагнетизма и др. Позже появились специализированные пакеты – NASTRAN, LS-DYNA, STAR-CD и рассматриваемый ниже пакет ADAMS. Все вычислительные пакеты функционально состоят из трех основных частей:

- Предпроцессор – программа позволяющая задавать геометрические и физические параметры модели, а так же начальные и граничные условия. Обычно в предпроцессор закладываются геометрические и физические свойства

простейших элементов и материалов. Можно сказать, что предпроцессор это с одной стороны, графический редактор, где изображение строится по уже готовым эскизам, с другой стороны это инструмент для задания всех исходных данных модели. Кроме того, предпроцессор отвечает за импорт данных из других вычислительных пакетов. Это позволяет для решения составной задачи использовать несколько различных вычислительных пакетов, применяя к каждой части задачи именно тот пакет, который дает наиболее точное решение.

- Процессор или решатель (solver) это программа, предназначенная для численного решения уравнений, описывающих поведение созданной модели, с исходными данными, заданными в предпроцессоре. Один и тот же решатель может использовать различные методы интегрирования уравнений. В вычислительном пакете можно использовать различные решатели по желанию пользователя.
- Постпроцессор отвечает за обработку результатов вычислений. Он используется для построения графиков, различных величин. Экспорта числовых и графических данных, построения анимационных роликов для наглядного представления работы модели.

ADAMS/View предназначен для создания, тестирования и оптимизации работы моделей механизмов и конструкций, состоящих из абсолютно твердых тел и их соединений (шарниров, нитей, пружин и т.д.).

Создание модели подразумевает описание всех ее характеристик: геометрических размеров, физических свойств, способов соединения

подвижных и неподвижных частей, задание действующих сил и моментов, начального положения элементов модели и их скоростей.

Этап тестирования модели включает в себя моделирование поведения частей модели под действием приложенных сил и заданных движений и выявление критических параметров, наиболее сильно влияющих на эффективность работы модели в целом.

Оптимизация модели заключается в определении таких значений критических параметров модели, при которых ее работа будет наиболее эффективной.

I. Создание кинематической модели

1.1. Средства создания модели

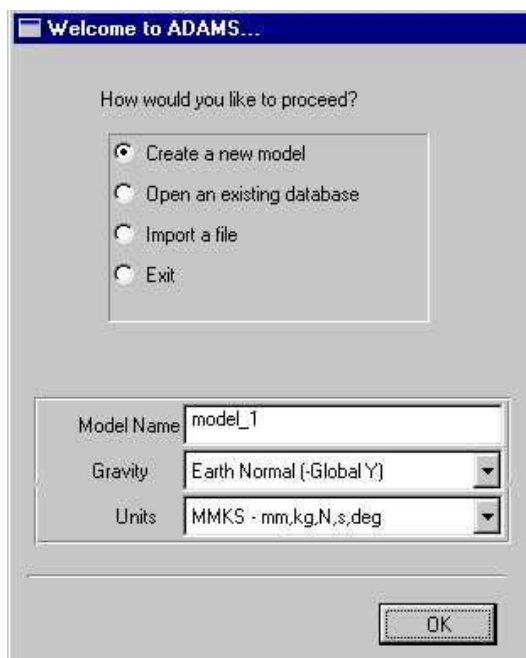


Рис. 1

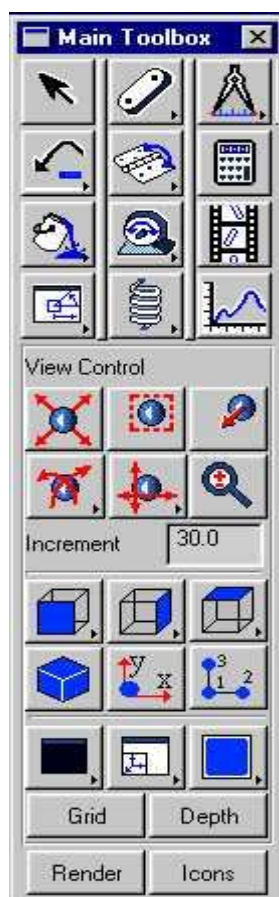






Рис. 2

При запуске ADAMS на экране появляется окно "Welcome to ADAMS", (рис.1), в котором предлагается выбрать одно из следующих действий:

- 1) создать новую модель. При этом в нижней части окна показываются входные данные модели - название, ось, по которой направлена сила тяжести, и единицы измерения;
- 2) открыть уже существующую модель;
- 3) импортировать некоторые данные из файла. Это может быть командный файл ADAMS, в котором может также содержаться описание некоторой модели в виде набора команд. Такой файл существенно экономит место на диске;
- 4) завершить работу с ADAMS.

Управление ADAMS осуществляется при помощи верхнего меню. Кроме того, для удобства на экран можно вывести различные панели инструментов. Обычно после начала работы на экране присутствует главная панель инструментов (**Main toolbox**) (рис. 2). С ее помощью можно создавать различные конструкции, проводить расчеты движения с одновременной анимацией. Эта панель состоит из двух частей -

«Набора инструментов» и «Панели управления просмотром», которая позволяет рассматривать создаваемую модель с различных позиций. Кнопки на панели управления просмотром имеют следующие значения:

-  – вид модели спереди.
-  – вид модели справа.
-  – вид модели сверху.
-  – изометрический вид модели под углом 34 градусов ко все координатным осям.

Во время работы с ADAMS на экране могут присутствовать следующие окна:

- координатное окно - в нем отображаются текущие координаты курсора. Оно вызывается клавишей **F4** или с помощью пунктов верхнего меню **View/Coordinate Window**;
- для показа выполняемых команд ADAMS используется командное окно. Оно вызывается клавишей **F3** или с помощью пунктов верхнего меню **View/Command Window**;
- для просмотра текущих сообщений о результатах работы используется окно сообщений **Message Window**. Оно вызывается с помощью пунктов верхнего меню **View/Message Window**.
- кроме того, на экране всегда присутствует рабочее окно или рабочая плоскость, на которой выполняется создание и тестирование моделей.

1.2. Подготовка к созданию модели

При подготовке к созданию модели необходимо выполнить следующие действия.

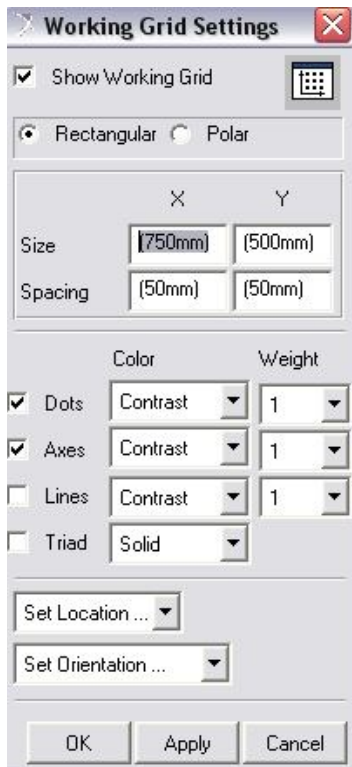


Рис. 3

Для устранения этого недостатка необходимо в этом пункте выбрать правильную тройку чисел, например 123, и систему координат, фиксированную в пространстве (**Space fixed**).

2) Выбирать размеры рабочей области. Для этого выбрать пункт верхнего меню **Settings**, затем выбрать пункт **Working Grid**. В этом пункте задается размер рабочей плоскости и шаг между

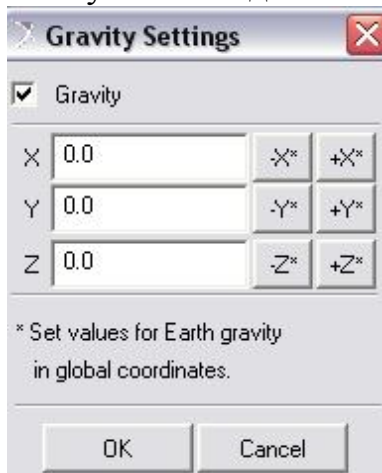


Рис. 4

выбирается таки образом, что бы удобно было проектировать модель,

1) Выбрать систему координат, в которой будет создаваться модель. Для этого используется пункт верхнего меню **Settings**. При его активизации раскрывается подменю, в котором необходимо выбрать пункт **Coordinate System**. Пункт **Coordinate System** дает возможность выбрать глобальную систему координат - декартовую, цилиндрическую или сферическую, а также присвоить осям координат порядковые номера. По умолчанию в ADAMS в тройке векторов, вокруг которых может происходить вращение модели, отсутствует поворот вокруг оси **Y**. Для устранения этого недостатка необходимо в этом пункте выбрать правильную тройку чисел, например 123, и систему координат, фиксированную в пространстве (**Space fixed**). Размеры рабочей плоскости задаются в полях **Size** по осям **X** и **Y** соответственно. Размеры рабочей плоскости зависят от величины модели (общая длина всех звеньев + 10% от этого значения). Шаг между вспомогательными точками задается в полях **Spacing**. Шаг

вспомогательными точками координатной сетки (рис. 3). Размеры рабочей плоскости задаются в полях **Size** по осям **X** и **Y** соответственно. Размеры рабочей плоскости зависят от величины модели (общая длина всех звеньев + 10% от этого значения). Шаг между вспомогательными точками задается в полях **Spacing**. Шаг

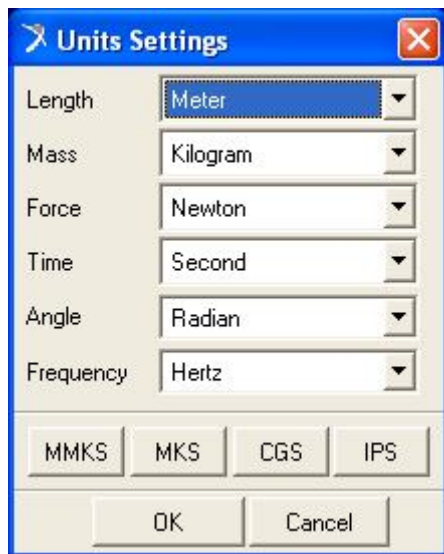


рис. 5

например, так что бы рабочая плоскость была порята 50-ти точками по длине и ширине. То есть размеры рабочей плоскости по осям **X** и **Y** надо поделить на 50 и получившиеся числа записать в соответствующие ячейки поля **Spacing**.

3) Задать параметры гравитации. Для этого в подменю пункта **Settings** нужно выбрать пункт **Gravity**. Раскрывается окно в котором надо снять флажок

Gravity (рис. 4) и нажать **Ок**.

4) Выбрать систему единиц измерения. Для этого необходимо включить пункт верхнего меню **Settings**, затем пункт **Units**. После этого раскроется окно с единицами измерения, в котором длину (**Length**) необходимо установить в метрах, а угол (**Angle**) - в радианах (рис. 5)

1.3. Средства геометрического проектирования

Модели простейших твердых тел заложены в библиотеку **ADAMS**. Более сложные тела создаются комбинацией этих простейших тел. Основным инструментом для создания примитивов и твердых тел является панель геометрического моделирования (палитра инструментов), которая вызывается либо командой верхнего меню **Build/Bodies Geometry** (рис. 6), либо как часть главной панели инструментов (рис. 7) активизацией правой кнопкой мыши среднего значка верхней строки, обозначенного как соединительное звено.

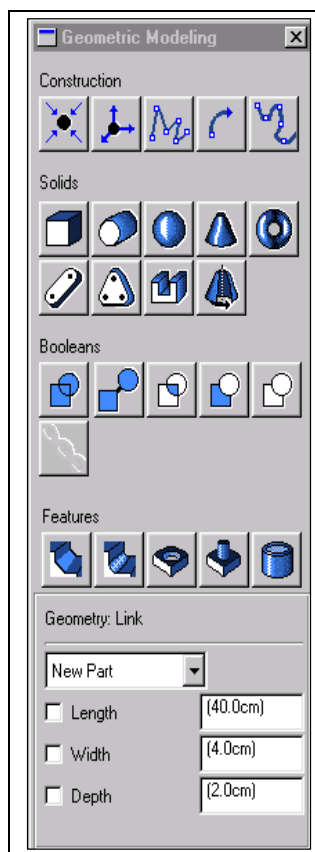


Рис. 6

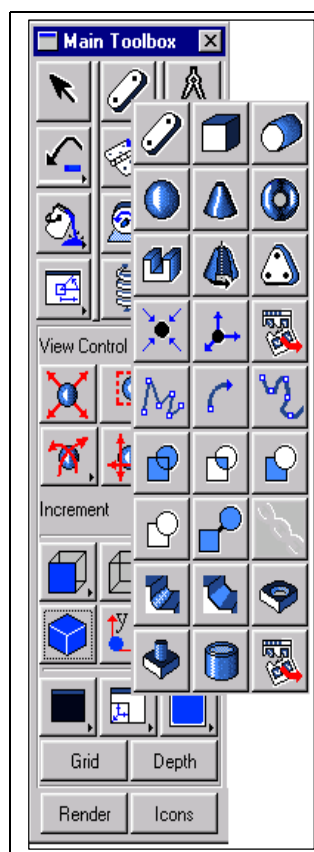


Рис. 7

Замечание. Некоторые кнопки в ADAMS отмечены маленьким черным треугольником в нижнем правом углу. Это означает, что данная кнопка представляет собой меню. Для активизации такого меню необходимо привести на него курсор мыши и нажать правую кнопку. На панели геометрического моделирования указаны все простейшие твердые тела, которые заложены в библиотеку ADAMS, например, цилиндр, соединительное звено, сфера и т.д.

1.4. Создание модели кривошипа.

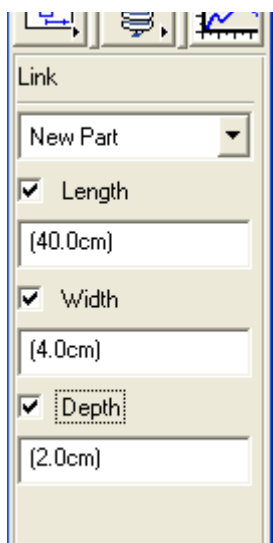



Рис. 8

Для создания модели кривошипа необходимо выбрать значок соединительного звена  на главной панели инструментов, вместо панели управления просмотром появится панель установок **Settings Container** (рис. 8), где нужно поставить флажки и задать значения длины (**Length**) кривошипа. Затем необходимо нажать левую кнопку мыши в начале координат и задать начальное положение кривошипа.

После создания в крайних точках кривошипа будут находиться маркеры, определяющие его положение в пространстве (рис.9).

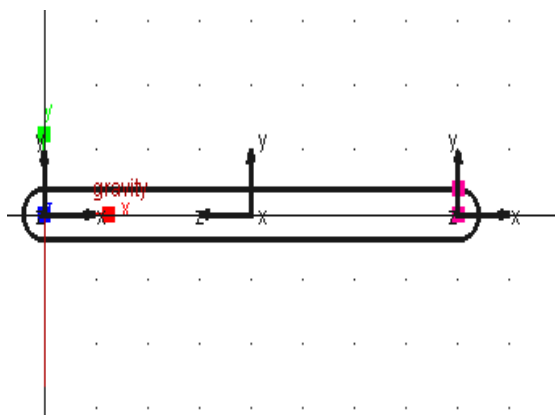


Рис. 9

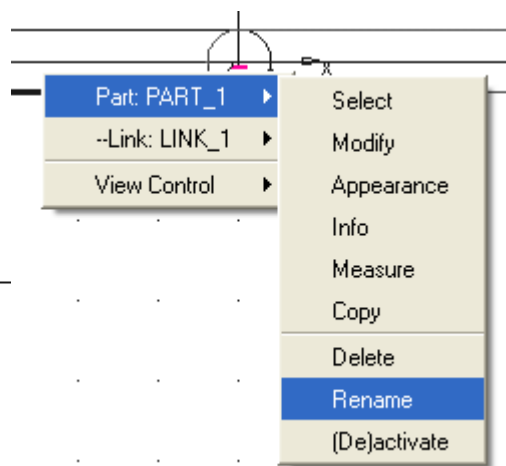


Рис. 10

После создания кривошип будет иметь название «по умолчанию» **Part_1**. Это название необходимо изменить на **Krivoship**. Для этого на произвольном месте кривошипа нажать правую кнопку мыши и раскрывшемся меню выбрать сначала пункт **Part_1**, а затем пункт

Rename (рис 10). Появится окно, в котором необходимо набрать новое название (рис. 11).

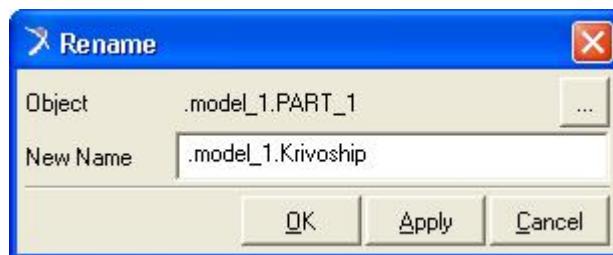



Рис. 11.

1.5. Создание модели шатуна.

Для создания модели шатуна, так же как при создании кривошипа, необходимо выбрать значок соединительного звена , раскроется окно, где нужно поставить флажки и задать значения длины шатуна. Начало задается в незакрепленной точке кривошипа. После создания шатуна модель будет иметь вид, изображенный на рис. 12. Название шатуна необходимо, тем же способом как для кривошипа, изменить на **Shatun**.

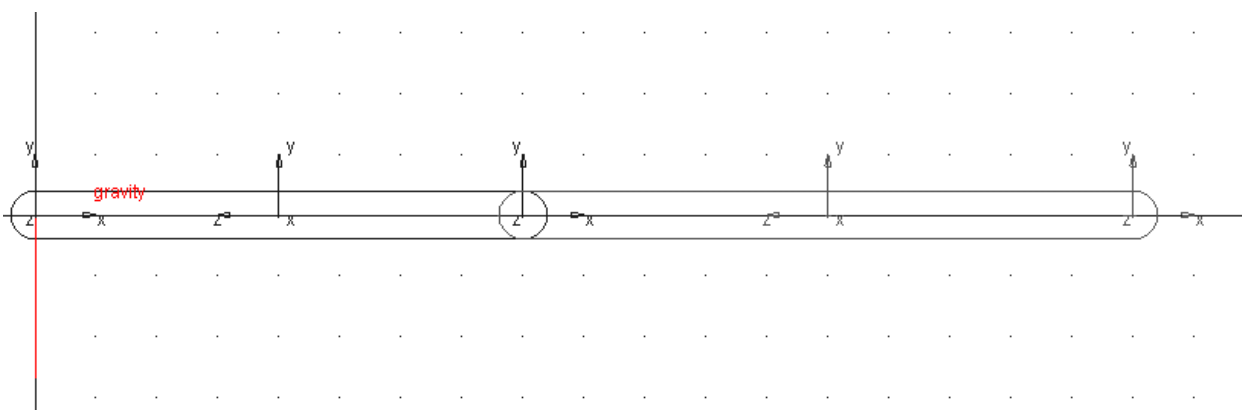


Рис. 12

1.6. Создание модели ползуна

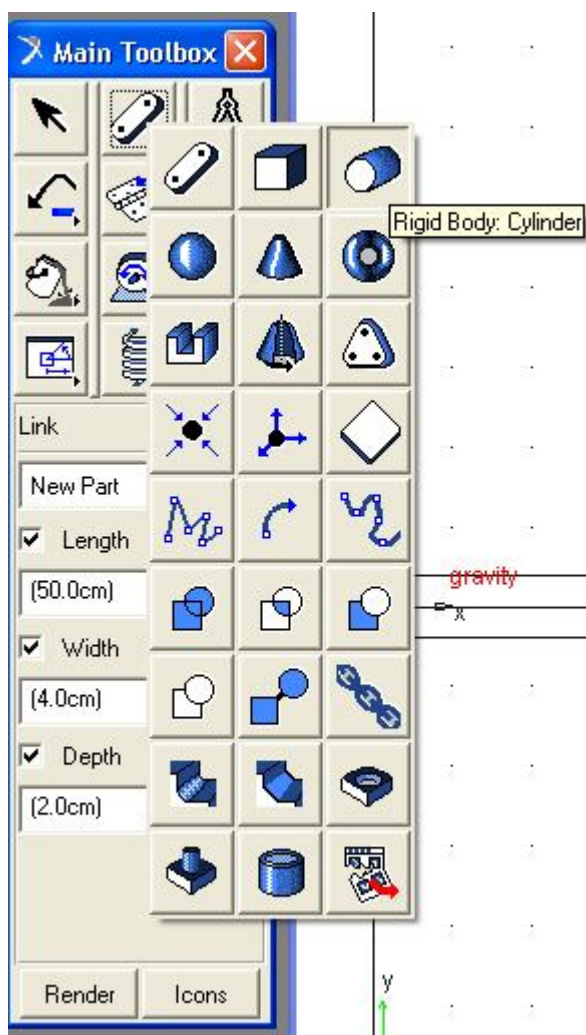



Рис. 13

В качестве ползуна используется цилиндр. Для построения ползуна необходимо раскрыть панель геометрического проектирования (щелкнуть правой кнопкой мыши на значке соединительного звена) и выбрать там знак цилиндра  (рис. 13), а затем установить нужные длину и радиус на панели установок (рис. 14). Длина ползуна равна 5% длины кривошипа, а радиус цилиндра равен 2,5 длина цилиндра. Далее нужно нажать левую кнопку мыши на маркере, расположенном на свободном конце шатуна и ориентировать модель ползуна так, чтобы его ось совпадала с осью кривошипа (рис. 15).

совпадала с осью кривошипа (рис. 15).

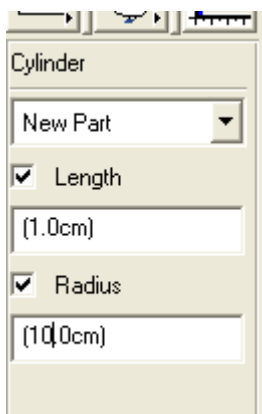


Рис. 14

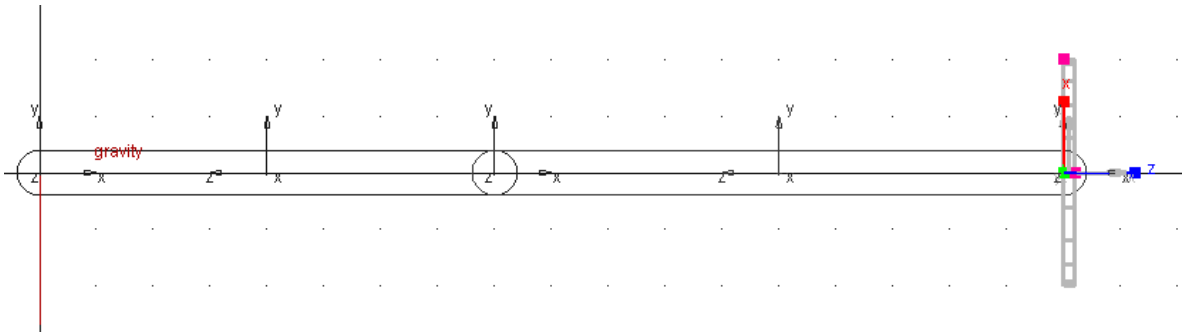



Рис. 15

Название ползуна необходимо изменить на **Polzun**.

Для того, что бы убедиться, что модель создана правильно необходимо установить изометрический вид просмотра. Для этого необходимо

сначала нажать кнопку  для возврата на экран панели управления

просмотром, а затем на этой панели нажать кнопку .

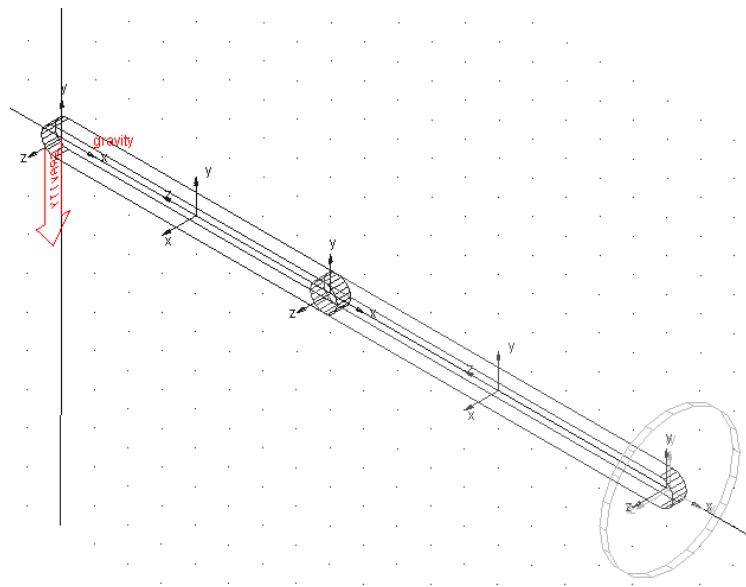


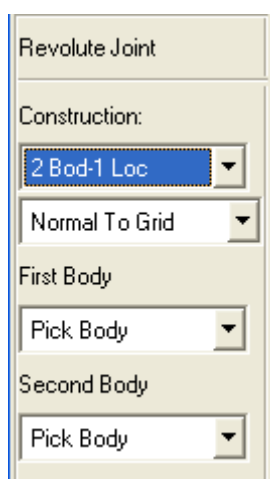


Рис. 16.

Если все сделано правильно, вид модели должен быть следующим (рис. 16). Для удобства просмотра центр модели можно переместить в центр

экрана. Для этого служит кнопка , позволяющая перемещать модель в плоскости экрана. Для перемещения модели необходимо нажать на эту кнопку (при этом указатель мыши изменит свою форму), затем нажать левую кнопку мыши и перемещать ее по экрану. Модель будет перемещаться вместе с указателем мыши. Для возврата в режим создания модели необходимо нажать кнопку .

1.7. Соединение кривошипа с опорой (фундаментом)



Кривошип соединяется с неподвижной опорой петлевым шарниром, который в ADAMS обозначается словом Revolute. Для создания этого шарнира необходимо на панели инструментов левой кнопкой


мыши нажать на значок . При этом вместо панели управления просмотром появится панель установок,

Рис. 17 которая должна иметь следующий вид (рис. 17). После этого необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши сначала на произвольном месте кривошипа, при этом название кривошипа появится около курсора мыши (рис. 18), затем на пустом месте рабочей плоскости (около курсора мыши появится слово **Ground**) и на левом маркере кривошипа. При удачном создании шарнира на экране появится его значок (рис 19).

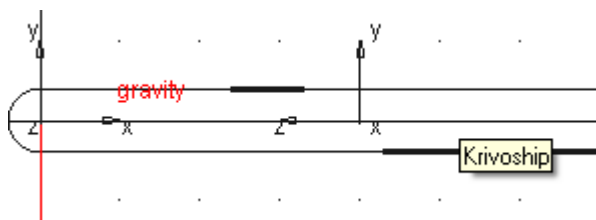


Рис. 18

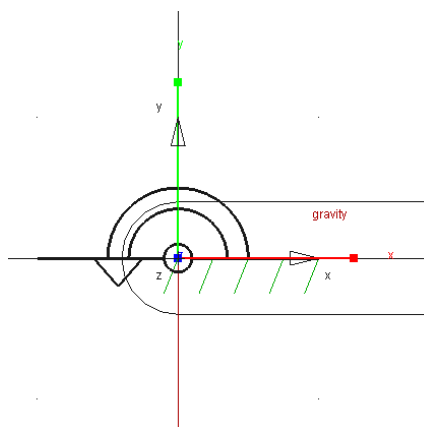



Рис. 19.


1.8. Соединение шатуна и кривошипа

Кривошип и шатун соединяются петлевым шарниром, как и кривошип с фундаментом. Для создания шарнира необходимо нажать на

значок , затем щелкнуть левой кнопкой мыши на кривошипе, затем на шатуне и затем в точке их соединения. При удачном создании шарнира на экране появится его значок, изображенный на рис. 19.


1.9. Соединение шатуна и ползуна

Ползун и шатун соединяются петлевым шарниром, как и кривошип с фундаментом. Для создания шарнира необходимо нажать на значок

, затем щелкнуть левой кнопкой мыши на ползуне, затем на кривошипе и затем в точке их соединения. При удачном создании шарнира на экране появится его значок, изображенный на рис. 19.

1.10. Соединение ползуна и опоры

Ползун соединяется с неподвижной опорой скользящим шарниром, который называется **Translational**. Для его создания необходимо

щелкнуть правой кнопкой мыши на кнопке осевого шарнира, в раскрывшемся меню выбрать значок , на панели установок установить способ соединения **2 Bodies - 1 Location** (см. рис. 17). На рабочей плоскости щелкнуть левой кнопкой мыши сначала на модели цилиндра затем на пустом месте плоскости (на фундаменте) и в центре цилиндра. После этого двигать курсор мыши из точки вдоль оси X. Появится стрелка, обозначающая ось шарнира (рис.20). Как только эта стрелка будет направлена по оси X, нажать левую кнопку мыши. На экране появится пиктограмма, обозначающая скользящий шарнир (рис. 21).

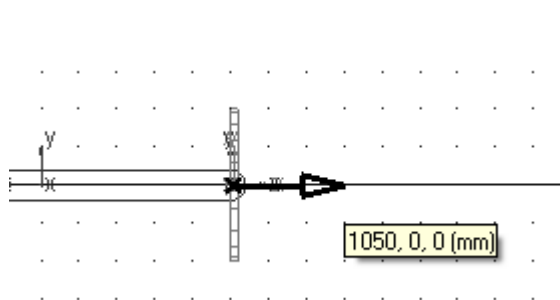


Рис. 20

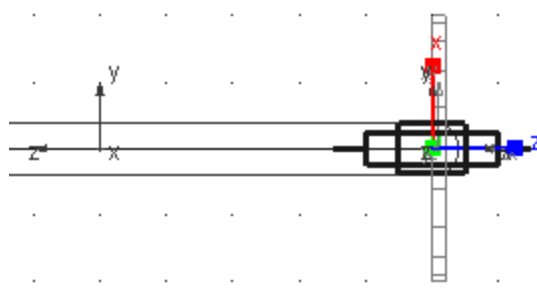




Рис. 21

Геометрическая модель создана. Для проверки правильности модели необходимо нажатием кнопки  вернуть на экран панель управления просмотром, в которой нажать кнопку  для включения изометрического вида модели. Правильно созданная модель должна иметь вид, изображенный на рис. 22.

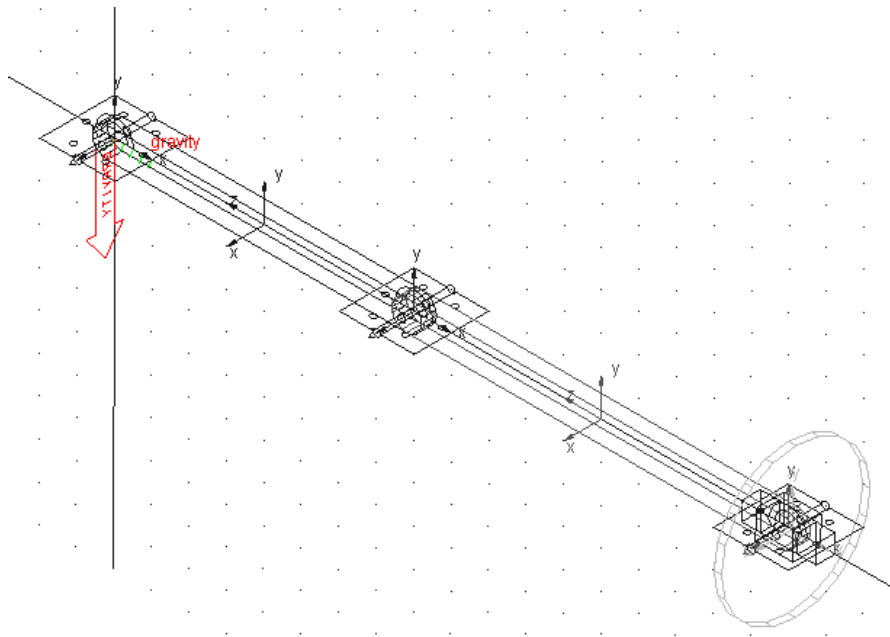


Рис. 22.

1.11. Задание управляющего движения для кинематического анализа

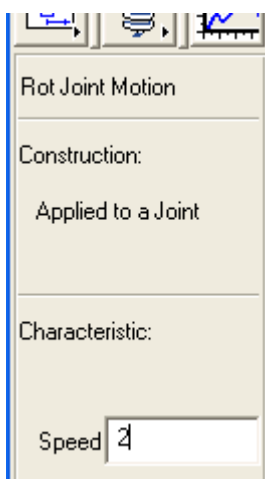



Рис. 23

Управляющее движение позволяет задать закон вращения кривошипа, то есть угол поворота, угловую скорость или угловое ускорение как функцию времени. В данном случае необходимо задать угловую скорость вращения кривошипа. Для этого на панели инструментов необходимо левой кнопкой мыши щелкнуть на кнопке  На панели установок в строке **Speed** задать угловую скорость вращения

шатуна в радианах за секунду (рис. 23). После этого щелкнуть левой кнопкой мыши на шарнире, соединяющим кривошип с фундаментом. Признаком того, что управляющее движение успешно создано является круговая стрелка (обычно зеленого цвета) вокруг шарнира (рис. 24).

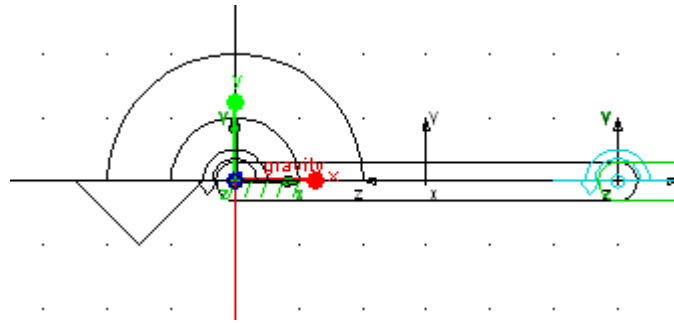


Рис. 24.

II. Кинематический анализ модели.

2.1. Запуск симуляции модели


Итак, модель создана. Поскольку к модели не приложены силы и задан закон движения кривошипа, то можно провести кинематический анализ модели для определения скоростей и ускорений заданных точек. Для этого необходимо запустить процесс численного моделирования, который в терминологии ADAMS называется симуляцией (**Simulation**). Для симуляции модели необходимо на главной панели инструментов нажать кнопку . При этом вместо панели установок появляется панель



Рис. 25

симуляции, изображенная на рис 25. Верхние три кнопки, обозначенные цифрами, имеют следующие значения:

- 1 - запуск (продолжение) симуляции;
- 2 - (при)остановка симуляции,
- 3 - возврат модели в начальное положение.

Пять нижележащих строк определяют параметры симуляции:

- 1) **Default** – вид анализа определяет метод решения поставленной задачи,
- 2) **End Time** – условие окончания симуляции при достижении заданного времени,
- 3) **5.0** временной интервал, на котором происходит симуляция модели,
- 4) **Steps** – вид разбиения временного интервала - количеством шагов по времени,
- 5) **50** – количество шагов по времени за время симуляции.

Время симуляции зависит от конструкции модели и угловой скорости вращения кривошипа. Это время вычисляется по формуле

$$t = \frac{\pi}{\omega} ,$$


где t – время симуляции, соответствующее одному обороту кривошипа, ω – угловая скорость вращения кривошипа. Количество шагов определяет точность решения. Для кинематического анализа оно должно быть не менее 100 шагов на каждую секунду.

Для запуска симуляции нажать кнопку «1». Модель начинает двигаться в заданном направлении. В нижней строке в правой части экрана видим индикатор выполнения (завершения) симуляции. Для повторного запуска симуляции после ее завершения нажать «3», затем кнопку «1». Если в процессе симуляции требуется изменить основные параметры симуляции, нажать кнопку «2», ввести новые параметры, нажать кнопку «3», затем «1».

2.2. Просмотр результатов симуляции.

ADAMS/View позволяет строить графики скоростей, ускорений точек и других основных кинематических и динамических характеристик.

Рассмотрим принцип построения кинематических и динамических диаграмм на примере построения графика скорости центра масс шатуна в зависимости от времени.

На панели **Main Toolbox** нажимаем кнопку , которая открывает инструмент создания графиков **ADAMS/PostProcessor**. Общий вид окна постпроцессора изображен на рис. 26.

На вкладке **Data** в окне **Model** выбираем рабочую модель **model_1**, в строке **Source** выбираем пункт подменю **Object**, в окне **Filter** отмечаем строку **body**, в окне **Object** выбираем звено, график скорости которого нам необходимо построить (в данном случае **Shatun**), в окне **Characteristic** выбираем **CM_Velocity** (скорость центра масс). Так же в этом окне можно выбрать следующие пункты, в зависимости от того, какой график нам необходимо построить:

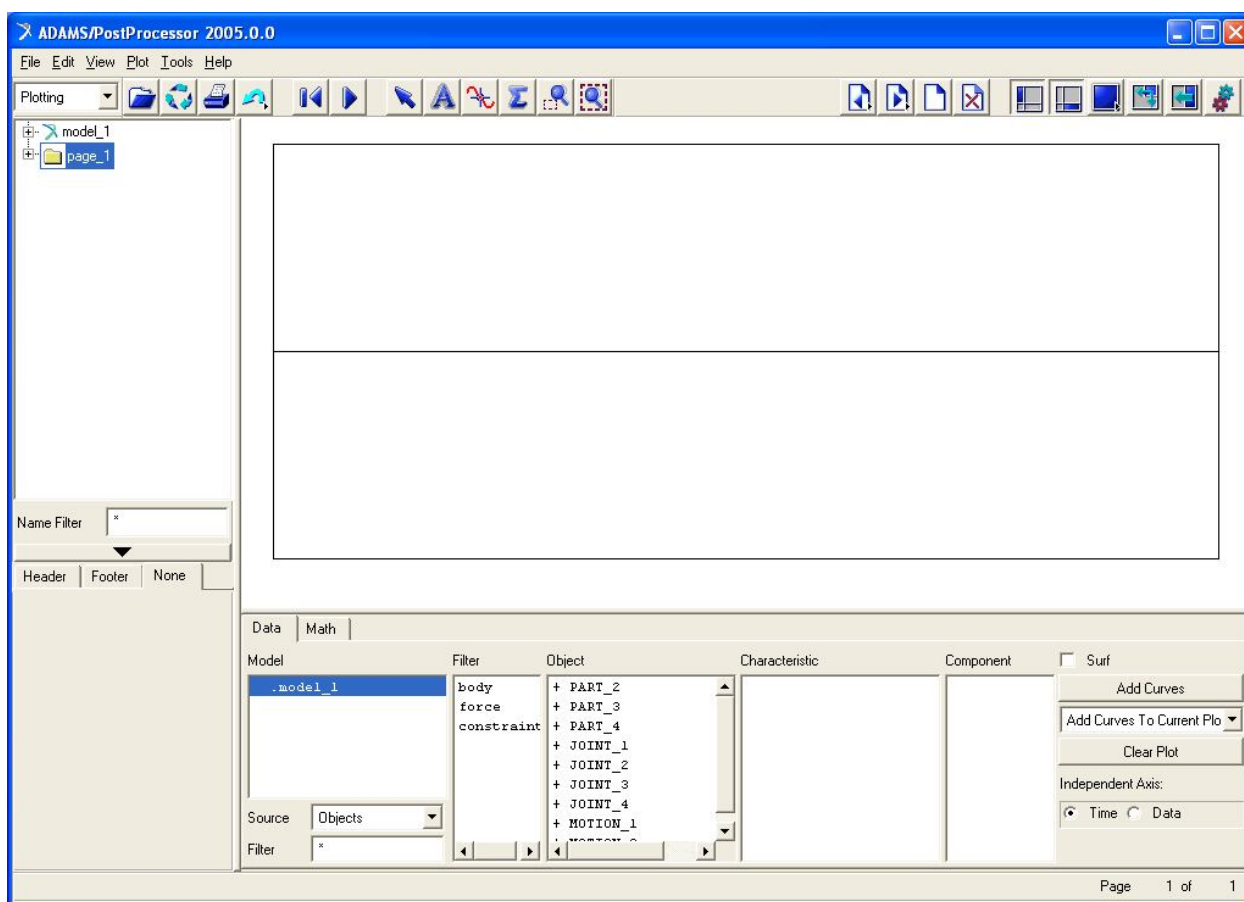


Рис. 26

- **CM_Acceleration** (ускорение центра масс),
- **CM_Angular_Velocity** (угловая скорость центра масс),
- **CM_Angular_Acceleration** (угловое ускорение центра масс),

- **Kinetic Energy** (кинетическая энергия)
- **Potential_Energy_Delta** (потенциальная энергия) и т.д.

В окне **Component** выбираем координату вектора скорости центра масс шатуна (**X**, **Y**, **Z**) для которой необходимо построить график (на рис. 27 выбрана координата **Y**). При выборе значения **Mag** постпроцессор построит график абсолютной величины скорости. В поле **Independent Axis** ставим значок напротив пункта **Time**, это значит, что мы будем рассматривать график зависимости скорости от времени. После нажатия кнопки **Add Curves**, строится график, который отобразится в средней части окна **ADAMS/PostProcessor** (в рабочей области) (рис. 27).

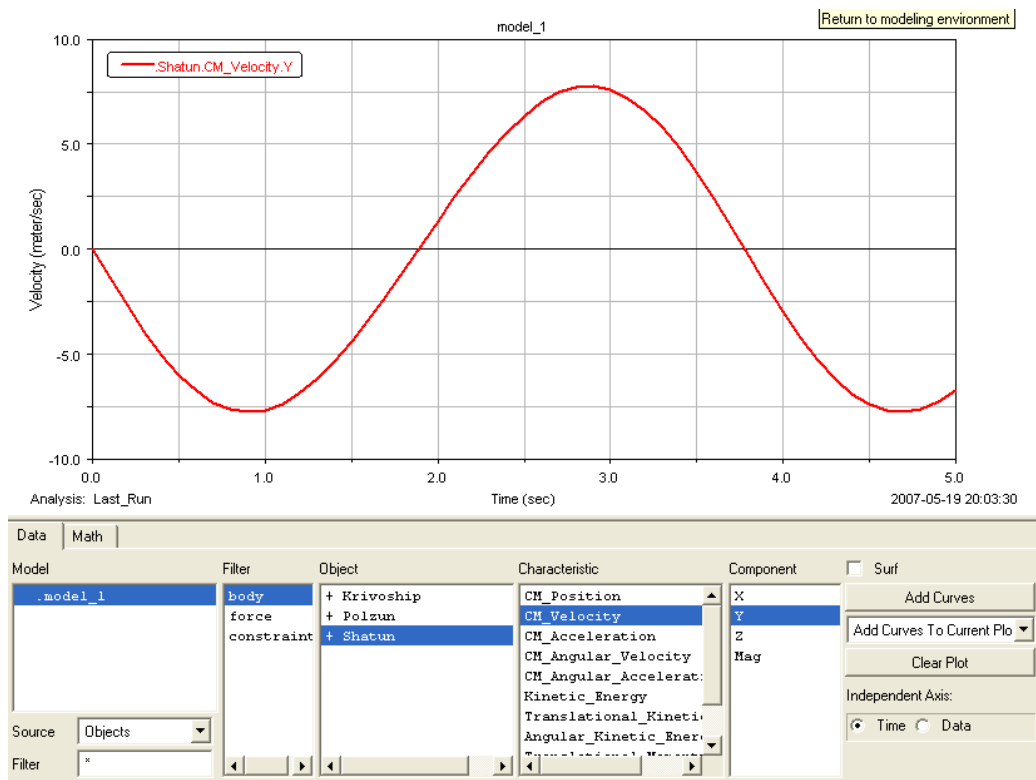



Рис 27.

Полученный график можно распечатать с помощью кнопки  верхнего меню.

Для того, очистить рабочую область, необходимо нажать кнопку **Clear Plot**, которая находится под кнопкой **Add Curves**.

Кроме построения графиков ADAMS позволяет экспортировать числовые данные из графиков в текстовый файл для последующего анализа. Для экспорта числовых данных необходимо в верхнем меню выбрать пункты **File – Export – Numeric – Data**. Раскроется окно, изображенное на рис. 27.

В этом окне необходимо указать название файла, в который будут записаны данные с оси Y текущего графика и (или) установить значок **Also write to terminal** для вывода данных в окно просмотра. В строке **Results Data** необходимо указать название графика. Для этого необходимо в этой строке нажать правую кнопку мыши и в появившемся меню выбрать пункты **Result_Set_Component – Guesses – y_data** (рис. 28). После чего нажать кнопку **Ok**. Если данные только экспортируются в файл, то окно просто закроется. Если же данные выводятся на терминал, то появиться окно с данными.

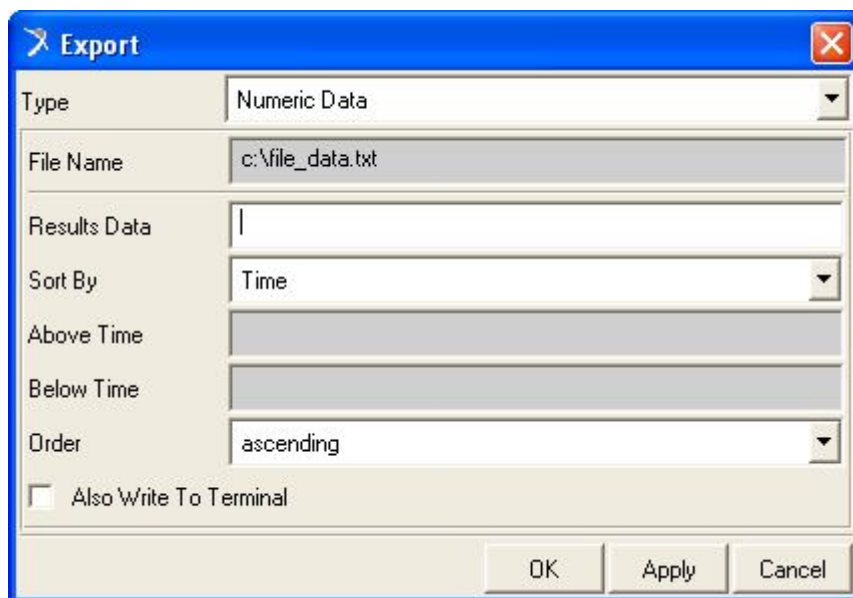


Рис. 27

Таким способом можно построить графики и получить числовые данные для перемещений, скоростей и ускорений точек данного кривошипно-шатунного механизма.

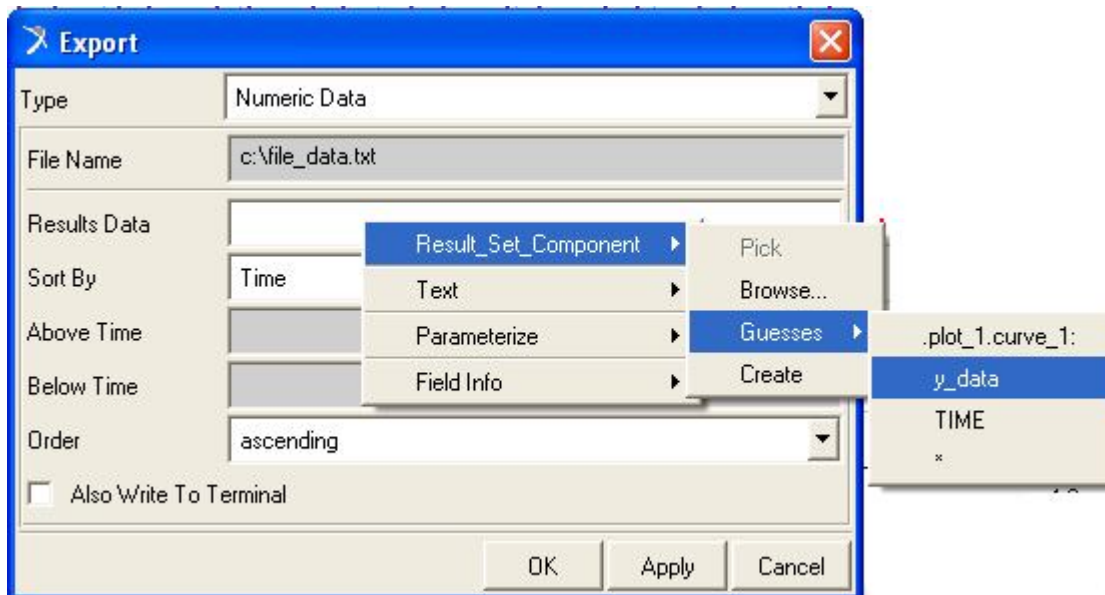



Рис. 28.

Для выхода из постпроцессора необходимо нажать кнопку  или просто закрыть его окно.

III. Динамический анализ модели.

3.1. Создание метки для угла поворота кривошипа.

Динамический анализ модели включает в себя наложение на модели внешних сил и моментов, симуляция модели с приложенными силами и построение графиков необходимых динамических характеристик. Если требуется дополнительно необходимо подобрать величину момента сопротивления таки образом, чтобы угловая скорость вращения кривошипа была заданной величиной. Для проведения динамического анализа необходимо убедиться, что управляющее движение в шарнире, соединяющим кривошип с фундаментом отключено. Для этого на значке управляющего движения (см. рис. 23) необходимо нажать левую кнопку мыши и в раскрывшемся меню выбрать пункты **Motion_1 – (De)activate** (рис. 29).

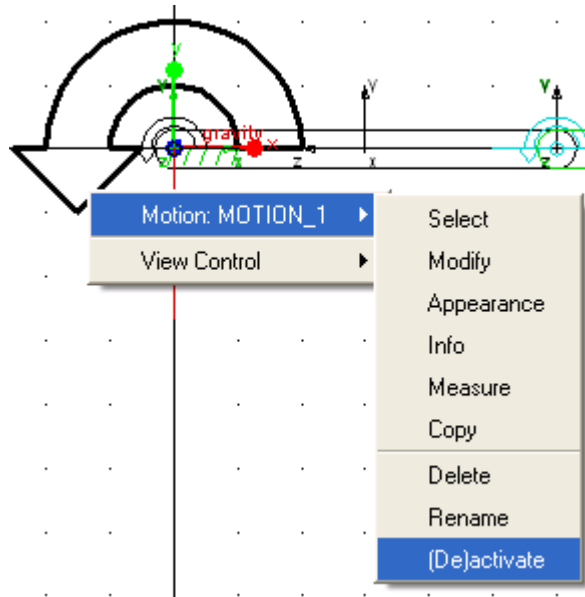


Рис. 29.

В раскрывшемся окне убедиться, что флажки **Object Active**, и **Object's Depends Active** сняты (рис. 30).

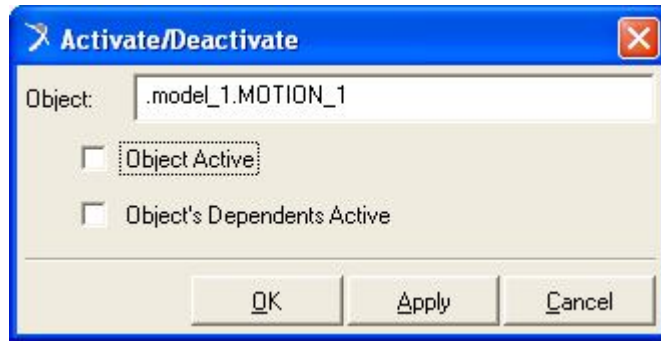


Рис. 30

Сила приложенная к ползуну является нелинейной и зависит от положения ползуна. В свою очередь положение ползуна зависит от угла поворота кривошипа. Каждому положению ползуна соответствует два значения силы, на прямом и обратном ходе. ADAMS не работает с многозначными функциями поэтому для задания силы необходимо использовать тот факт, что угол поворота кривошипа и величина силы связаны однозначно. Для отслеживания изменения угла кривошипа по времени необходимо создать специальный массив значений – метку (**Measure**).

Для создания метки необходимо включить пункты верхнего меню **Build/Measure/Orientation/New**. На экране раскроется окно, показанное на рис. 31, в котором будет указано название создаваемой метки (**Mea_Orient_1**).

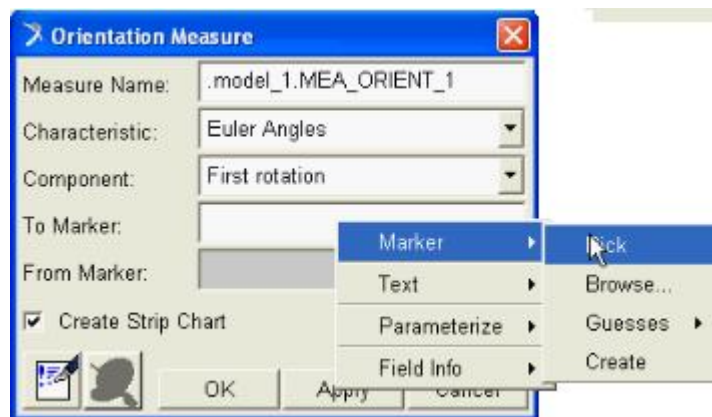


Рис. 31

Название (пункт **Name**) метки необходимо изменить на **.model_1.Krivoship_MEА_1**.

В строке **To Marker** необходимо нажать правую кнопку мыши и в развернувшемся меню выбрать пункты **Marker/Pick**. Затем на рабочей плоскости щелкнуть правой кнопкой мыши на кривошипе в точке соединения кривошипа с фундаментом и в раскрывшемся окне выбрать **Marker_1**. Это же название после щелчка появится в строке редактирования. В строке **Component** выбрать пункт **First rotation**. Необходимо убедиться, что установлен флажок **Create Strip Chart**. После этого необходимо нажать кнопку **Ok**. На экране появится окно с названием **Mea_Orient_1** и, возможно, с графиком угла поворота кривошипа по результатам последней симуляции модели.

3.2. Создание силы, действующей на ползун.

Для создания силы, для которой отсутствует аналитическая (в виде формулы) зависимость величины от времени, необходимо использовать элемент сплайн (**spline**). Сплайн представляет собой плоскую кривую, проходящую через заданные точки. В данном случае ось абсцисс будет обозначать угол поворота кривошипа ϕ , а ось ординат – значение силы F . Изначально задаются только ключевые точки на этой плоскости, которые определяют значения силы при последовательных значениях угла кривошипа с шагом в 15° . Промежуточные значения силы между этими углами ADAMS достраивает сам. Ключевые точки сплайна и соответствующие им значения силы можно представить в виде таблицы

φ_i	0	15	30	...	345	360
F_i	0	0	10	...	15	0

Для создания силы необходимо выполнить следующие действия:

1) Определить значения силы (F_i) для угла поворота кривошипа в 24 положениях (через каждые 15°) и записать их в таблицу на листе бумаги.

2) Создать элемент **spline**. Для этого необходимо в верхнем меню выбрать пункты **Build – Data_elements – spline–new**. После этого появиться окно ввода данных (рис. 32), в котором в строчку **Insert row after** необходимо ввести число 1 и щелкнуть по кнопке **Insert Row After** до тех пор пока не появится 25 строк. Затем в первую колонку (**X**) вводим значения угла поворота кривошипа в градусах, при этом они должны возрастать от -180 до 180 с шагом 15. В правую колонку вводим значения силы (F_i), соответствующие положению кривошипа в порядке, указанном на рис. 33:

X	Y
-180	F13
-165	F14
-150	F15
-135	F16
-120	F17
-105	F18
-90	F19
-75	F20
-60	F21
-45	F22
-30	F23
-15	F24
0	F1
15	F2
30	F3
45	F4
60	F5
75	F6
90	F7
105	F8
120	F9
135	F10
150	F11
165	F12
180	F13

Рис. 33

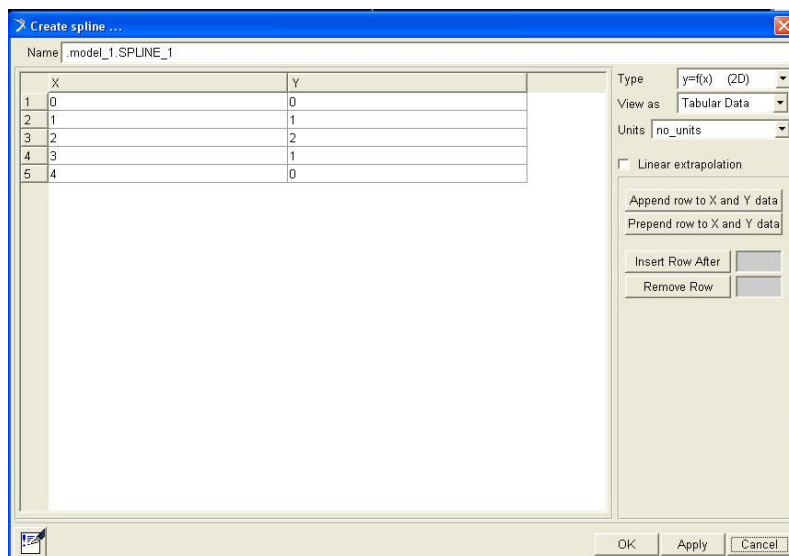




Рис. 32

Для контроля правильности ввода значений можно просмотреть график силы, выбрав в строчке **View as** значение **Plot**. Что бы вернуться в режим таблицы необходимо в этой же строке выбрать **Tabular Data**.

Убедиться что в строчке **Name** указано название **.model_1.SPLINE_1**. Затем нажимаем **ok**. Сплайн создан.

- 3) Создать силу и приложить ее к ползуну. Для этого на главной панели инструментов **main tool box** правой кнопкой мыши нажать на значке , который раскрывает панель сил, и в раскрывшемся меню выбрать значок силы . Затем нажать левой кнопкой мыши на ползуне, потом ещё раз в центре ползуна и указываем положительное направление действия силы (которое обозначается на экране белой стрелкой). Признаком того, что сила успешно создана является стрелка красного цвета (рис. 34), которую лучше видно в режиме изометрического просмотра (См. пункт «Средства создания модели»).

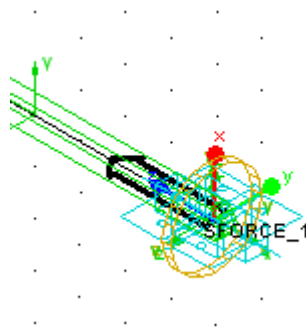


Рис. 34

4) Задать значение величины силы как функцию от сплайна. Для этого правой кнопкой мыши нажать на значке созданной силы и в контекстном меню выбрать следующие пункты **Force: SFORCE_1 – modify**. Раскроется окно изображенное на рис. 35.

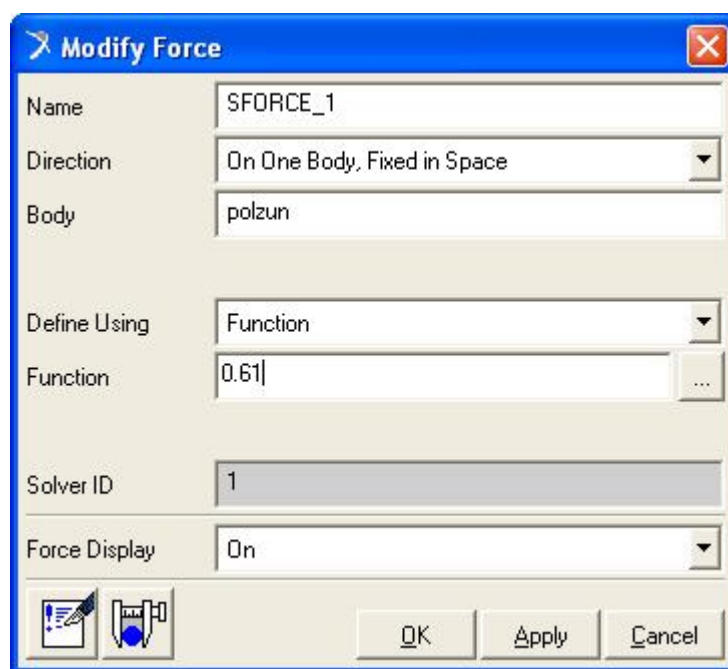




Рис. 35

В строке **Function** необходимо вписать следующую строчку:

AKISPL(.model_1.Krivoship_MEA_1, 0 , Spline_1, 0).

После этого нажать **ok**. Сила приложена.

3.3. Задание уравнивающего момента.

Для создания уравнивающего момента необходимо правой кнопкой мыши нажать на значок  в **main tool box** и в раскрывшемся меню выбрать значок . Затем на панели установок в строке **Torque** необходимо установить флажок и записать значение уравнивающего момента. После этого нажать левой кнопкой мыши сначала на кривошип, а затем в место закрепления кривошипа к земле. Признаком того, что момент успешно создан, является круговая стрелка такая же как на рис. 23. Обычно она красного цвета.

3.4. Задание инерционно массовых характеристик частей модели

К инерционно массовым характеристикам модели относятся массы и моменты инерции всех движущихся частей. Поскольку исследуемый механизм совершает плоское движение в плоскости XOY , то необходимо задать моменты инерции относительно оси Z для кривошипа и шатуна, положение центра масс кривошипа и шатуна, а также массы кривошипа, шатуна и ползуна. Для вычисления моментов инерции на каждой созданной части существует маркер центра масс, который обозначается **СМ**. Для кривошипа и шатуна этот маркер располагается в центре соответствующей части.

Согласно заданию, центра масс кривошипа находится в его точке крепления к фундаменту, а центр масс шатуна находится на расстоянии C от точки соединения кривошипа и шатуна.

Для того чтобы перенести центра масс кривошипа в точку крепления кривошипа к земле необходимо выполнить следующие действия:

- навести курсор мыши на маркер центра масс кривошипа, нажать правую кнопку мыши, в появившемся меню выбрать команду **Modify** для маркера **CM**;

- в раскрывшемся окне обнулить значения углов в строке **Orientation**. При этом появится сообщение о том, что координаты маркера центра масс больше не вычисляются автоматически (рис. 36);

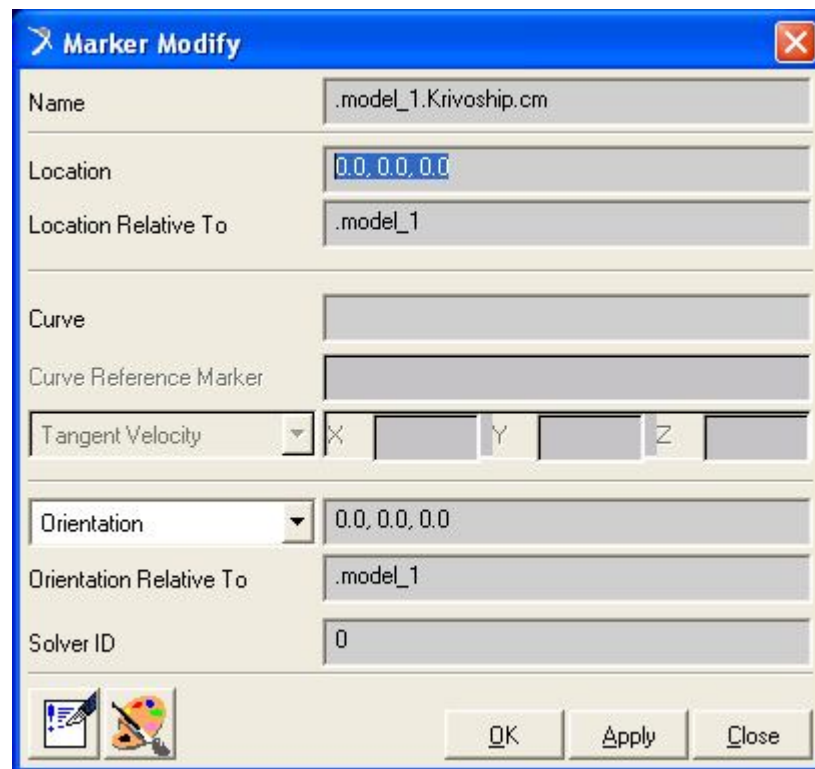


Рис. 36.

- в строке **Location** нажать правую кнопку мыши и контекстном меню выбрать пункт **Pick Location** после чего левой кнопкой мыши указать на точку крепления кривошипа к земле.

- нажать кнопку **Ok**.

Если все сделано правильно маркер центра масс переместится в точку крепления кривошипа к земле и ось **Z** маркера будет перпендикулярна рабочей плоскости.

Для того чтобы перенести центр масс шатуна в точку **C** необходимо

- навести курсор мыши на маркер центра масс шатуна, нажать правую кнопку мыши, и в появившемся меню выбрать команду **Modify** для маркера **CM**;

- в раскрывшемся окне обнулить значения углов в строке **Orientation**. При этом появится сообщение о том, что координаты маркера центра масс больше не вычисляются автоматически;

- строке **Location** необходимо набрать следующую строку
**LOC_ALONG_LINE(.model_1.Shatun.MARKER_3,.model_1.Shatun.MARKER_4 ,
S)**

Где **LOC_ALONG_LINE** – это функция которая располагает маркер **CM** на линии между маркерами шатуна на расстоянии **S** от левого маркера шатуна.

- нажать кнопку **Ok**.

Если все сделано правильно маркер центра масс переместится в точку **C** и ось **Z** маркера будет перпендикулярна рабочей плоскости.

Для задания момента инерции кривошипа необходимо выполнить следующие действия:

- навести курсор мыши на кривошип, нажать правую кнопку, в раскрывшемся меню выбрать команду **Part: Krivohip – Modify**.

- в раскрывшемся окне (рис. 37) указать значение масс кривошипа в строке **Mass**, момент инерции кривошипа в строке **I_{zz}**, значения остальных моментов инерции оставить без изменений.

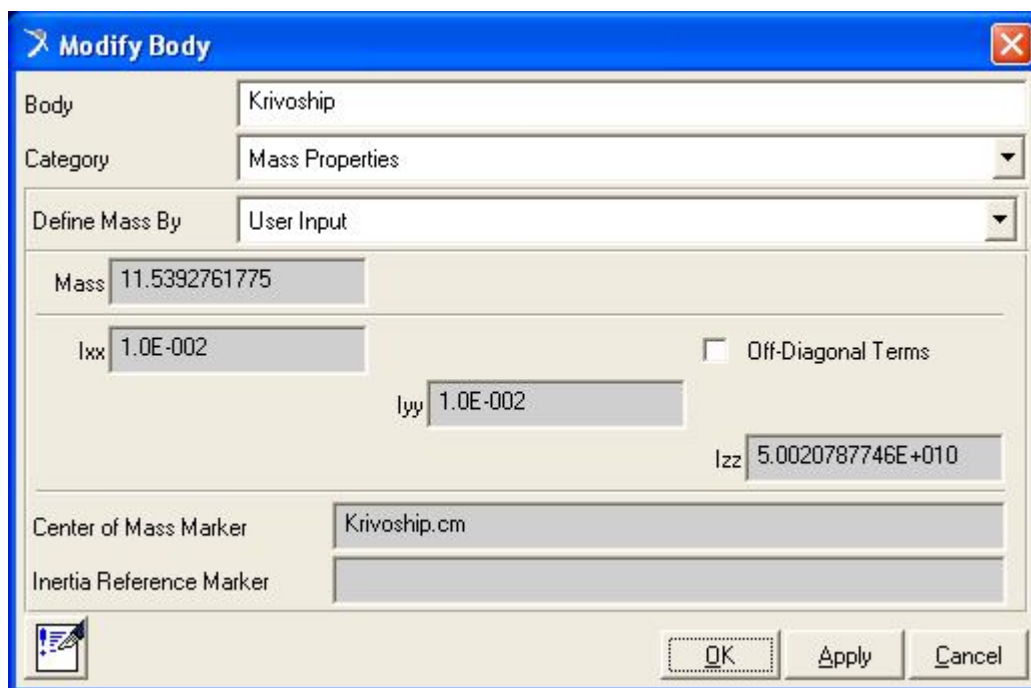


Рис. 37.

- нажать кнопку **Ok**.

Значения массы и момента инерции шатуна задаются аналогично.

3.5.Создания метки угловой скорости вращения кривошипа.

Основным выходным параметром для динамического анализа является зависимость угловой скорости кривошипа от времени. Для построения графика этого параметра необходимо использовать метку. Для ее создания необходимо навести курсор мыши на шарнир соединяющий кривошип с фундаментом, нажать правую кнопку мыши в раскрывшемся меню выбрать пункты **Joint_1 – Measure**. Раскроется окно, изображенное на рис. 38, в котором значения пунктов **Characteristic** и **Component** необходимо выбрать, как указано на рисунке. После этого необходимо проверить, что флажок **Create Strip Chart**

установлен и затем нажать кнопку **Ok**. При удачно создании метки на экране откроется окно ее графика.

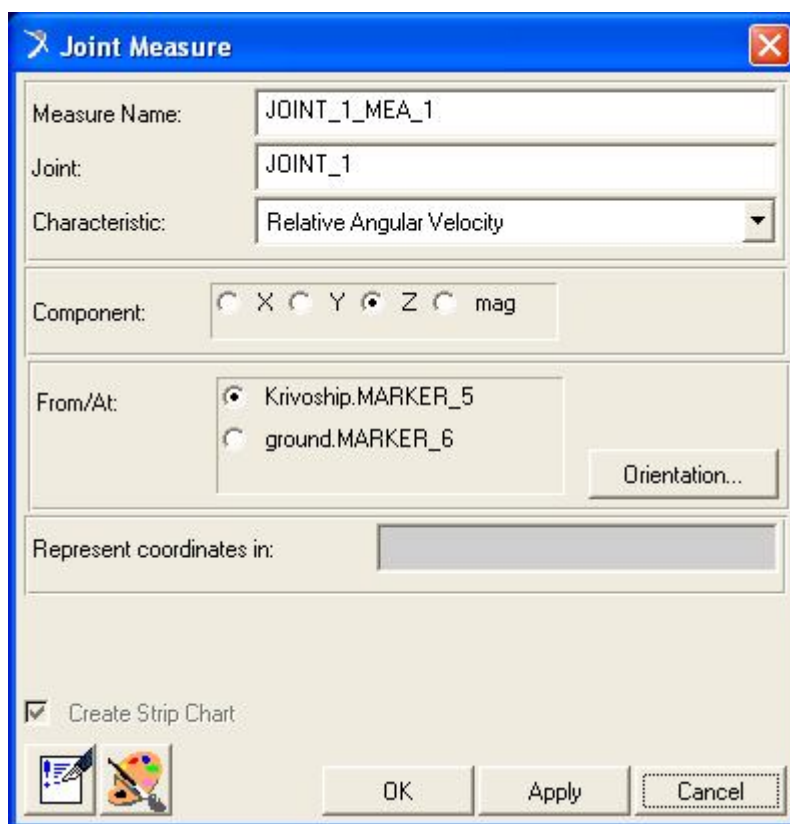


Рис. 38.

После задания всех параметров необходимо еще раз запустить модель на симуляцию, как указано в гл. II. При этом необходимо учитывать, что на каждую секунду расчетного времени должно приходиться не менее 500 шагов. Если все параметры модели заданы правильно, то угловая скорость вращения кривошипа сначала должна увеличиваться, а затем совершать колебания около некоторого среднего значения, определяемого моментом сопротивления.