

Пакет расширений SymMechanics

Основным инструментом, которым пользуется разработчик, использующий пакет SimMechanics, является библиотека типовых блоков.

Модель в SimMechanics состоит из набора связанных между собой компонент (блоков).

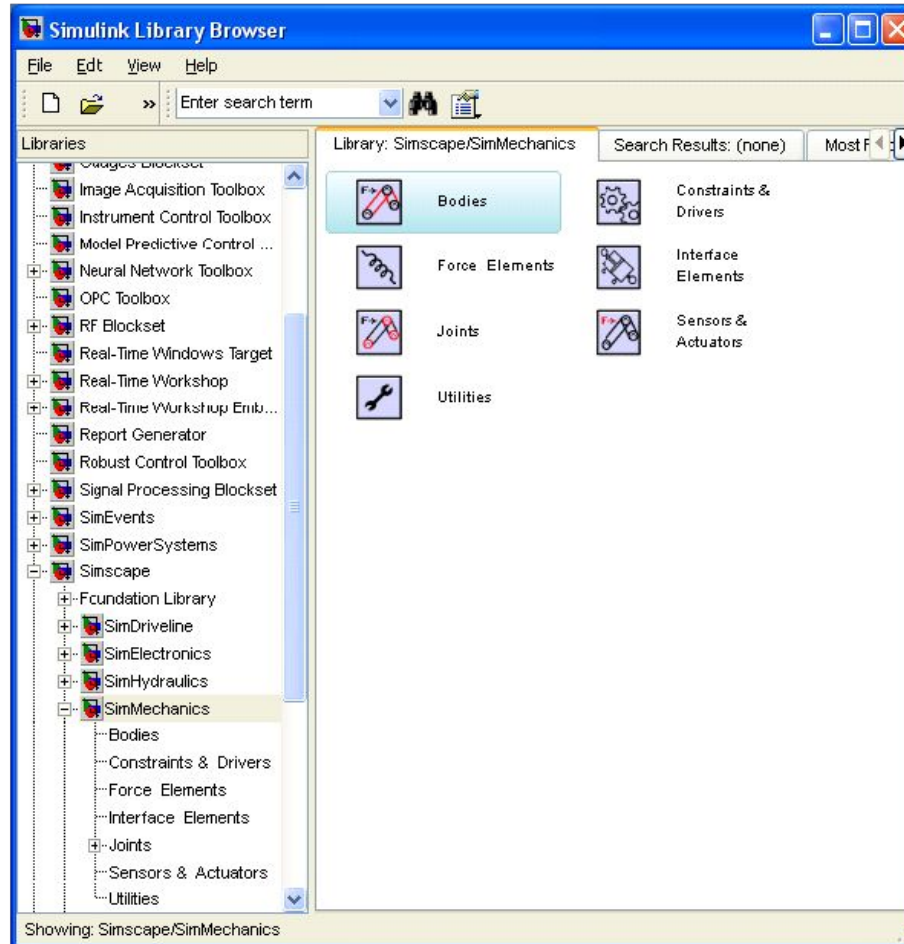
Каждый блок относится к одной из шести возможных групп:

- **Bodies (тела)**, здесь находятся твердые тела, неподвижные точки опоры, а также внешнее окружение;
- **Constraints & Drivers (ограничители и двигатели)**, элементы с помощью которых достигается необходимое взаимное движение тел
- **Force Elements (Силовые элементы)**, моделирование силовых воздействий и крутящих моментов;
- **Joints (соединения)**, с их помощью моделируются связи между телами.
- **Sensors & Actuators(сенсоры и силовые приводы)**, блоки для инициирования движения, а также для снятия его характеристик; осуществляют взаимодействие SimMechanics и Simulink
- **Utilities (утилиты)**, дополнительные блоки.

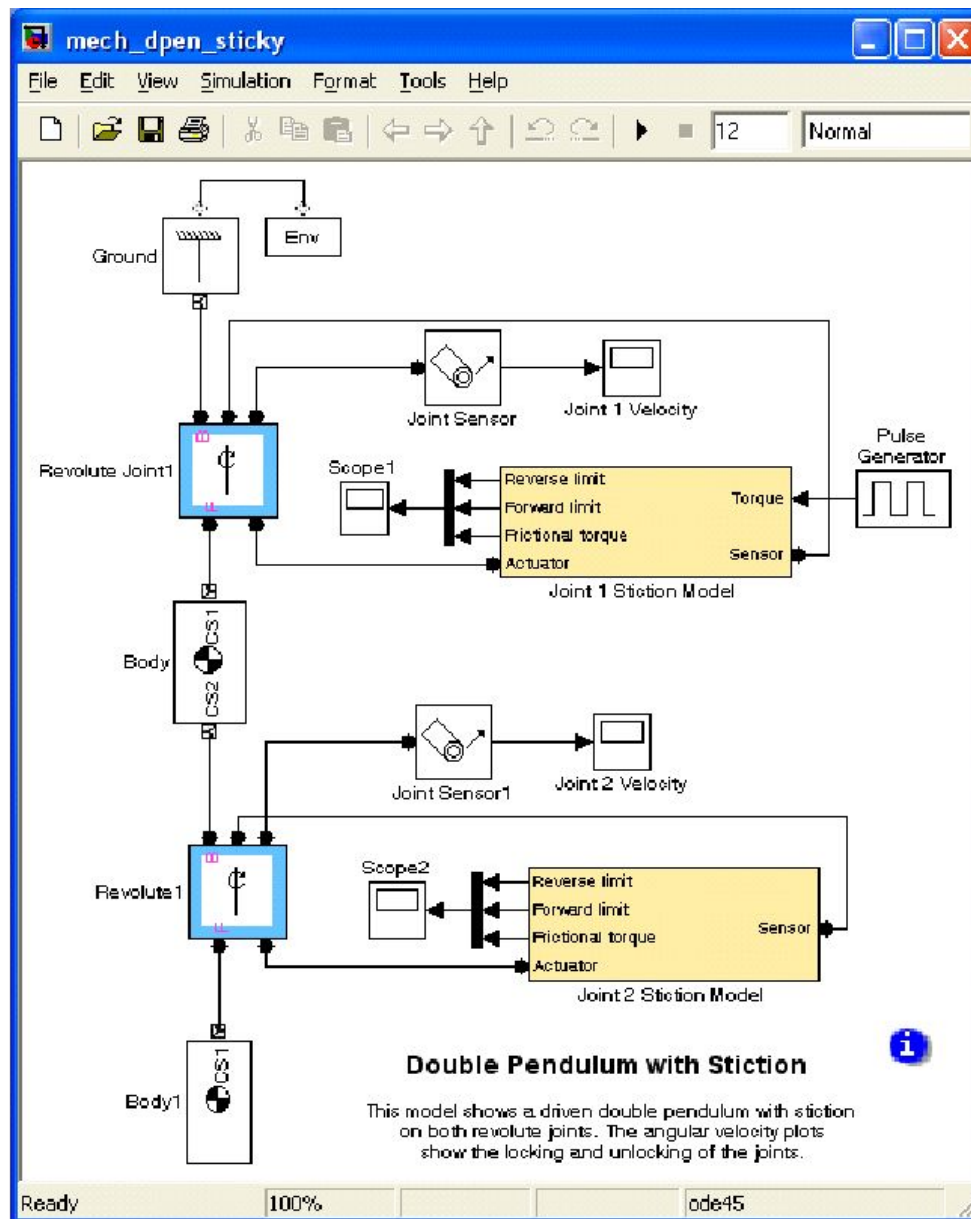
Основные пользовательские интерфейсы пакета

Работа строится на использовании двух основных интерфейсов системы:

1. окна библиотеки типовых компонентов
2. окна визуального редактирования структурной диаграммы модели



Библиотека типовых блоков SimMechanics



Окно модели

Взаимодействие пакета

В окне библиотеки типовых компонентов в древовидном списке представлены основные типы блоков, которые пользователь может использовать при построении модели.

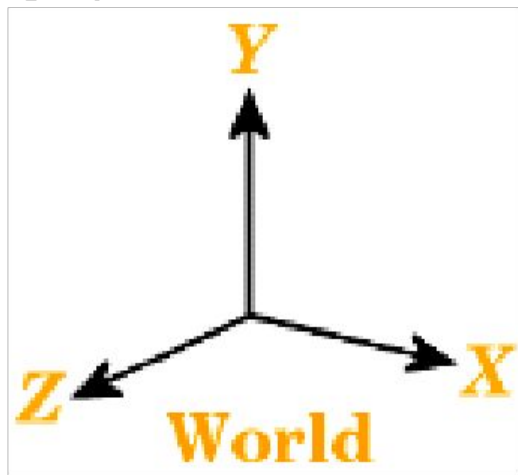
В этом окне представлены также компоненты других расширений пакета Matlab. Т.е. SimMechanics позволяет использовать в диаграммах физических моделей помимо оригинальных компонент, также компоненты Simulink (например, все блоки-анализаторы являются блоками пакета Simulink, SimMechanics полностью использует его ядро для анализа и проведения расчетов).

В интерфейсе редактирования модели пользователь может изменять характеристики любого блока, используемого в структурной диаграмме модели. Для отображения блоков и связей между ними используются графические примитивы, составляющие основу входного языка системы.

Общие сведения

Основные понятия, которыми оперирует пакет SimMechanics сводятся к описания пространственного положения объектов и связывающих их компонентов действий. Каждое действие может быть приложено к определенной точке тела, которая может быть задана в локальной или глобальной системе координат.

Глобальная система координат всегда является правосторонней трехмерной ортогональной системой координат с центром в точке $(0, 0, 0)$. Эта система координат в пакете идентифицируется ключевым словом **WORLD**. Ось абсцисс в глобальной системе координат направлена вправо, ось ординат – вверх (таким образом, что вектор гравитационного ускорения направлен вниз), ось z направлена «из экрана», т.е. в сторону пользователя



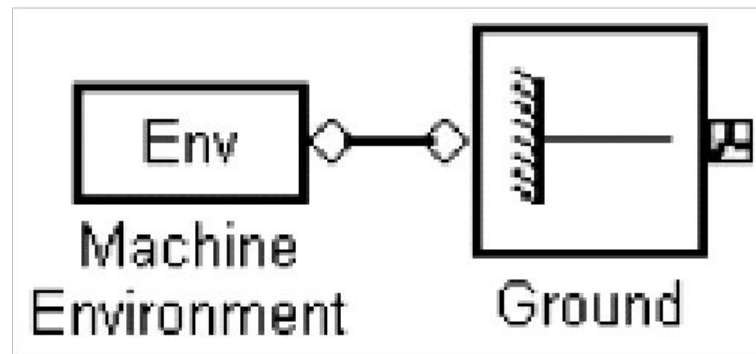
Глобальная система координат
в пакете SimMechanics

Минимальная модель

Каждая модель, реализуемая в пакете должна иметь по меньшей мере один блок, определяющий положение **«заземленного элемента»** модели.

Глобальная система координат служит опорной точкой в описании прочих систем координат, используемых в модели. Для правильного функционирования любого механизма необходимо помимо этого определить положение неподвижного статического объекта (Земля), который также позволяет задать окружение системы. Положение неподвижного блока обязательно **задается в глобальных координатах**.

Модели, разрабатываемые в пакете, могут состоять из одного или нескольких механизмов (каждый механизм представляется как связанная диаграмма). Каждый механизм может иметь только один блок окружения.



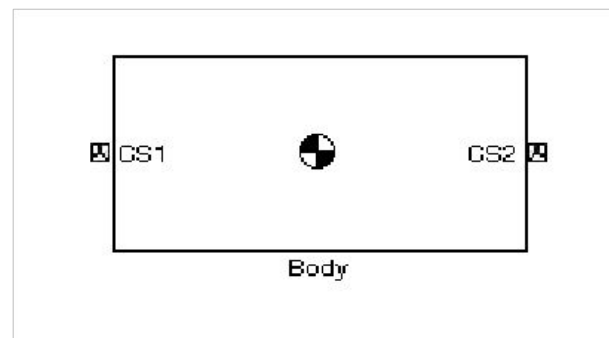
Минимальная модель состоит из двух компонентов – блока, задающего положение Земли и окружения.

Начальные параметры блоков

Любая механическая система имеет хотя бы одно тело, т.е. объект, с которым совершаются определенные действия.


Тело в пакете SimMechanics характеризуется тремя наборами параметров, отражающими пространственные и инерционные свойства тела:

1. Для каждого тела необходимо задать его массу и тензор инерции (инерционные свойства тела, этот параметр показывает каким образом масса тела распределена в пространстве вокруг центра масс **CG(Center of Gravity)**).
2. Положение тела в пространстве определяется положение центра масс тела(**CG**).
3. Также определяется ориентация тела в пространстве относительно одной из присутствующих в модели системы координат посредством анализа тензора инерции.



Взаимодействие блоков

Эти параметры задают начальное состояние объекта модели и идентифицируют экземпляр класса «Body».

Помимо этих основных характеристик с каждым телом может быть связано несколько систем координат (CS, coordinate system, отображаются значками  на границе блока тела), которые выступают как точки взаимодействия тел в модели. Т.е. для того, чтобы отслеживать положения интересующих нас точек тела, мы прикрепляем к каждой из них по системе координат. Каждая система координат для тела может быть задана координатами своего центра относительно любой другой системы координат, присутствующей в модели.

Каждый экземпляр класса «Тело» хранит в себе информацию об инерционных и пространственных характеристиках тела, на никак не отражает динамику объекта. Возможные типы и направления движения тел называются их степенями свободы. Для внесения динамики в систему существует отдельный тип блоков, называемых сочленениями (**joint**, «сустав, сочленение») которые представляют собой эти степени свободы.

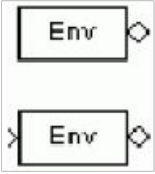
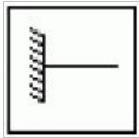
Степени свободы

В SimMechanics степени свободы являются относительными величинами, вследствие чего блоки, их реализующие являются также относительными, иными словами блоки сочленения задают направления и типы возможного движения одного тела относительно другого, что в свою очередь означает, что каждый блок сочленения может быть соединен с двумя и только двумя телами.

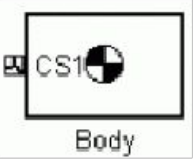

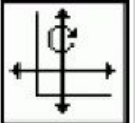
Одним из тел всегда может выступать земля.

Соединение тел в механизмы всегда происходит в определенной точке пространства, соответственно, блок сочленения так же должен быть связан с определенной точкой тела, которая задается введением дополнительных локальных систем координат тела (Body CS).





Основные разделы библиотеки типовых блоков

Графическое изображение	Название	Назначение
	<p>Окружение (Environment)</p>	<p>Блок окружения предназначен для задания следующих параметров механизма (которых может быть несколько в рамках одной модели):</p> <ul style="list-style-type: none"> • общие параметры поведения модели, в числе которых вектор гравитационного ускорения, погрешность поступательного и вращательного движений, размерность модели (размерность пространства) и пр. • параметры, влияющие на вычисления, связанные с введением блоков из библиотеки двигателей (Constraints & Drivers Library); • параметры линеаризации модели; • параметры визуализации модели. <p>Блок окружения может быть связан только с блоком, задающим положение неподвижной системы координат модели (Земли). Вектор гравитационного ускорения может быть подан на блок окружения в виде сигнала SImulink.</p>
	<p>Неподвижная система координат (Ground, Земля)</p>	<p>Блок определяет положение неподвижной системы координат модели относительно глобальной системы координат WORLD. Каждая модель должна иметь хотя бы один неподвижный блок Ground.</p> <p>Посредством введения этого блока можно задавать параметры модели (блок окружения). Земля может выступать в качестве тела при добавлении блоков действий на диаграмму модели.</p>

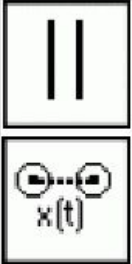

Основные разделы библиотеки типовых блоков

	<p>Тело (Body)</p>	<p>Посредством добавления блоков данного типа на структурную диаграмму модели пользователь определяет взаимодействующие твердые тела модели.</p> <p>Каждый отдельный экземпляр класса характеризуется набором параметров:</p> <ul style="list-style-type: none">• масса тела;• тензор инерции тела, определяющий его ориентацию в пространстве;• координаты центра масс тела, задающие положение тела в пространстве;• набор систем координат, связанных с данным телом, характеризующий точки воздействия на это тело внешних сил или точки сочленения тел в механизме. <p>Значения, которые пользователь назначает этим параметрам каждого объекта, являются его начальными значениями в модели и используются в каждой симуляции.</p>
  И т.д.	<p>Блоки сочленения (Joints, «суставы» или «сочленения»)</p>	<p>Блоки определяют динамику модели, определяют возможные степени свободы тел.</p> <p>Каждый блок сочленения должен быть обязательно связан с двумя телами с обоих концов (что собственно и представляет собой сочленение). Таким образом, блок определяет некоторый тип движения (зависит от конкретного блока) одного тела относительно другого.</p> <p>Блоки могут подключаться только к определенным точкам тела, представленным локальными системами координат каждого тела.</p>

Основные разделы библиотеки типовых блоков

  И т.д.	Силовые приводы (Actuators)	<p>Силовые приводы могут применяться в следующих случаях:</p> <ul style="list-style-type: none">• применение переменной (со временем) силы или момента (вращательного) к телу или «суставу» (body actuators);• назначение положения, скорости или ускорения для блока двигателя в виде функции от времени (driver actuators);• определение начального положение или скорости блока действия (joint actuators);• определение положения в пространстве, массы, тензора инерции тела в виде функции от времени. <p>Все входные параметры приводов задаются в виде сигналов Simulink.</p>
  И т.д.	Сенсоры (Sensors)	<p>SimMechanics позволяет добавлять на структурную диаграмму модели определенный тип блоков, который позволяет измерять:</p> <ul style="list-style-type: none">• характеристики движения тела;• характеристики движения, силы и вращательные моменты, приложенные к сочленениям тел;• силы и вращательные моменты, приложенные к ограничителям и двигателям. <p>На выходе любого сенсора появляются сигналы Simulink, которые в последствии можно подключить к осциллографу или построителю многомерных графиков для наглядного отображения.</p>

Основные разделы библиотеки типовых блоков

	<p>Ограничители и двигатели (Constraints and Drivers)</p>	<p>Блоки-двигатели и блоки-ограничители позволяют внести дополнительные ограничения на движение тел в модели. Принцип действия этих блоков предельно прост: включение ограничителя между двумя телами убирает несколько степеней свободы у каждого тела (в отличие от блока-сочленения, который их добавляет).</p> <p>Ограничения могут применяться, например, для того, чтобы «заставить» два тела двигаться параллельно (верхний блок, изображенный на рисунке слева).</p> <p>Как и сочленения, ограничения требуют наличия двух тел, подключенных с обоих концов, т.к. работают с относительными системами координат тел.</p> <p>Если к блоку-ограничителю не подключен силовой привод, то он работает в независимом от времени режиме. При подключении привода, можно внести дополнительную динамику в действия ограничителя.</p>
	<p>Внешние силы (force elements)</p>	<p>Элементы этого раздела библиотеки типовых блоков позволяют моделировать внутренние силы, возникающие в системе. Блоки силовых приводов позволяют определять внешние воздействия на систему, в то время как блоки данного типа позволяют моделировать силы, возникающие при движении тел в моделируемой системе.</p>

Создание неподвижной системы координат

Для создания неподвижной системы координат (Земли) используется пиктограмма класса Ground. Для задания параметров экземпляра класса необходимо использовать диалоговое окно.

В этом окне можно задать единственный параметр экземпляра класса – координаты центра системы координат, связанной с неподвижным объектом моделируемой системы и указать единицы измерения. Система координат, относительно которой считается положение центра, всегда является глобальной (WORLD).

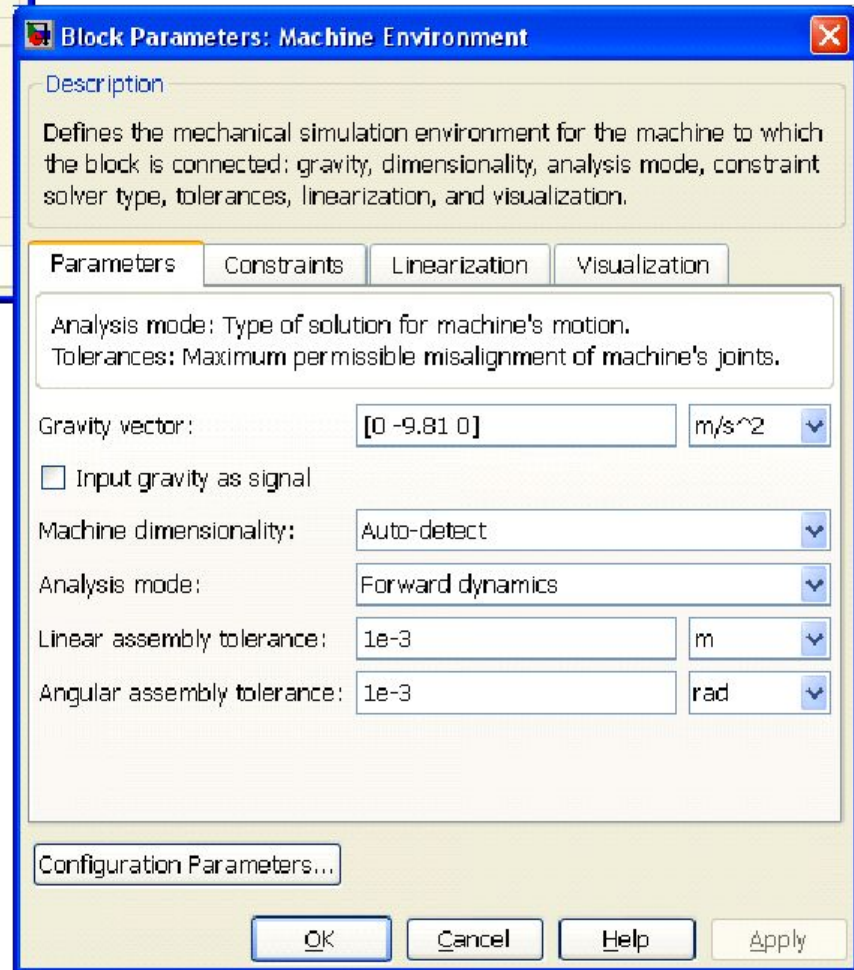
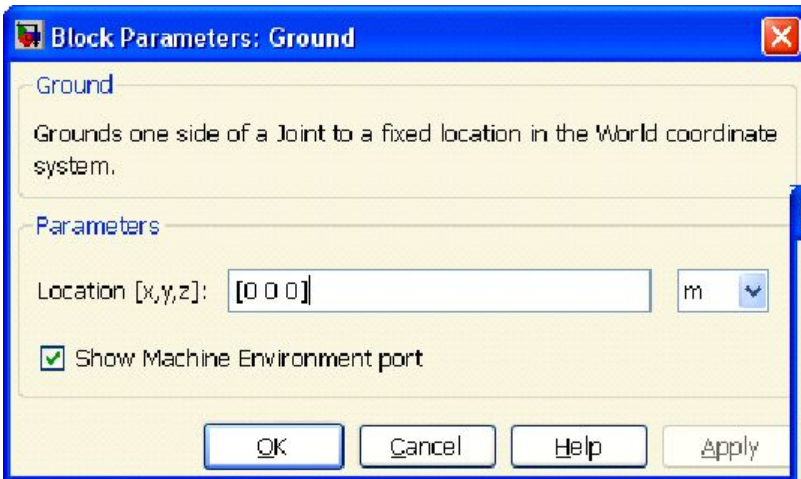
Также для задания дополнительных характеристик модели (окружения) может потребоваться внесение в модель блока окружения. Чтобы разрешить возможность связывания данной неподвижной системы координат с блоком окружения, необходимо отметить галочкой «Show Machine Environment Port», открывающий на границе блока дополнительный порт для подключения к нему блока окружения

Настройка окружения

Чтобы добавить новое окружение на диаграмму модели необходимо из того же раздела Bodies перенести блок Machine Environment на диаграмму модели. И провести настройку его параметров.

На вкладках диалогового окна можно настроить:

- **Parameters**, общие параметры модели (например, значение вектора гравитационного ускорения, **gravity vector**, или погрешности линейного и вращательного движения – **linear assembly tolerance** и **angular assembly tolerance**);
- **Constraints**, параметры, определяющие принципы вычислений, связанных с внесением блоков из библиотеки ограничителей и двигателей;
- **Linearization**, параметры линеаризации системы;
- **Visualization**, последняя вкладка позволяет включить / отключить визуализацию модели.



Добавление блоков твердого тела

Для добавления нового тела на диаграмму модели необходимо перетащить соответствующую пиктограмму класса **Body** на диаграмму. При двойном щелчке на необходимом элементе откроется диалоговое окно редактирования параметров.

В котором необходимо заполнить начальные значения основных характеристик объекта:

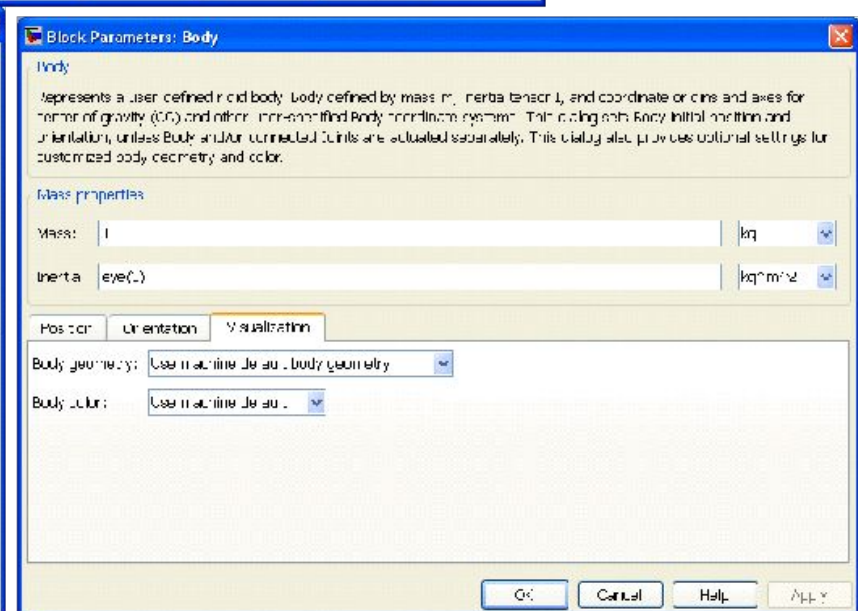
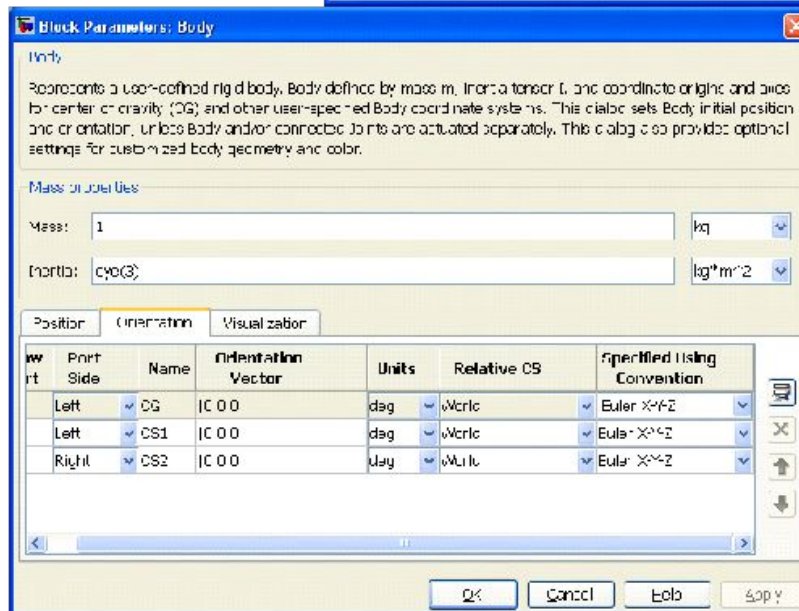
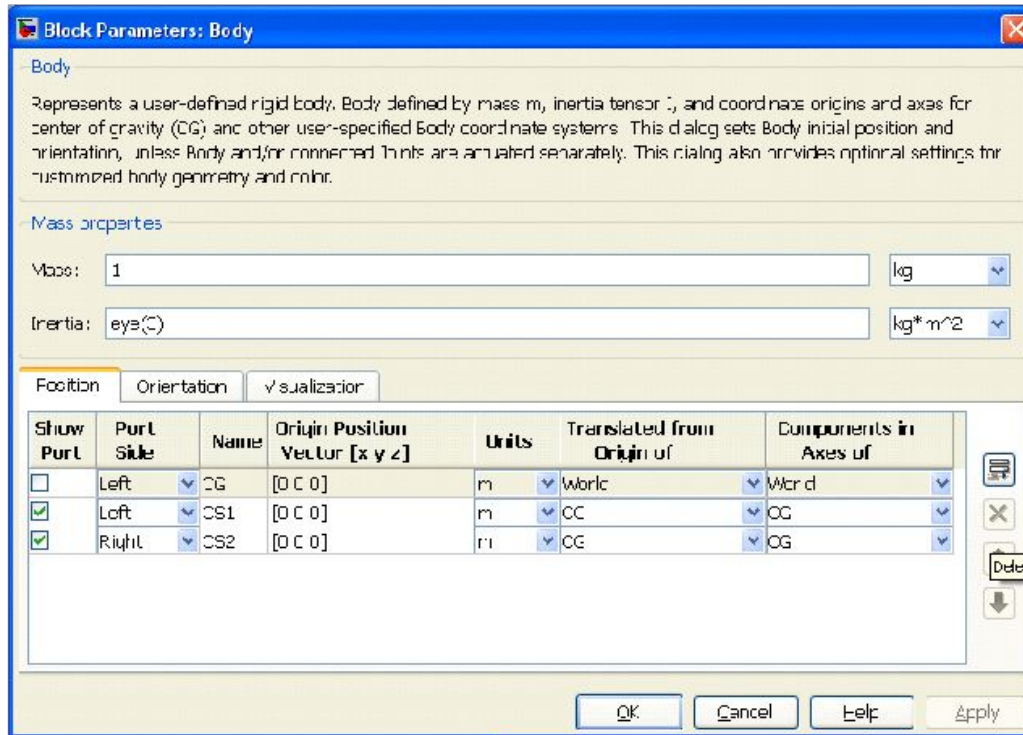
1. массу,

2. тензор инерции,

3. связанные с телом локальные системы координат.

По умолчанию для каждого тела создается две локальные системы координат (не считая той, что задает центр масс тела). Это связано с тем, что обычно структура модели имеет вид цепочки **Тело-Сочленение-Тело-...-Сочленение-Тело**, в которой для всех тел, кроме конечных выполняется правило – оно связано с другими телами через определенные сочленения.

Блок настройки параметров Body



Добавление сочленений

Каждый класс сочленения имеет собственные настройки, часто сводящиеся к указанию дополнительных степеней свободы, которые вносит в систему конкретное сочленение. Тем не менее, существует как минимум один общий параметр для всех блоков такого типа – количество портов для подсоединения силовых приводов, изменяющих поведение сочленения.

Типовой диалог настройки параметров экземпляра класса вращательного сочленения **Revolute** (дополнительная вращательная степень свободы, вращение вдоль одной оси).

Секция **Connection Parameters** предоставляет пользователю информацию о том, что за тела и какие их локальные системы координат соединены данным сочленением.

Base обозначает базу сочленения, **follower** – направление сочленения (в данном случае, блок является симметричным относительно приемника и источника действия, поэтому эти понятия равнозначны).

В секции **Parameters** указываются специфические параметры каждого класса. Для класса **Revolute** – это указание оси вращения в виде орты.

Настройка параметров блока REVOLUTE

Block Parameters: Revolute

Revolute

Represents one rotational degree of freedom. The follower (F) Body rotates relative to the base (B) Body about a single rotational axis going through collocated Body coordinate system origins. Sensor and actuator ports can be added. Base-follower sequence and axis direction determine sign of forward motion by the right-hand rule.

Connection parameters

Current base: <not connected>

Current follower: <not connected>

Number of sensor / actuator ports:

Parameters

Axes Advanced

Name	Primitive	Axis of Action [x y z]	Reference CS
R1	revolute	[0 0 1]	World

OK Cancel Help Apply

Построение непрерывной системы

В качестве простейшей непрерывной модели рассмотрим вращающийся под действием силы тяжести груз (материальная точка) на невесомом стержне.

Выделим основные объекты моделируемой системы.

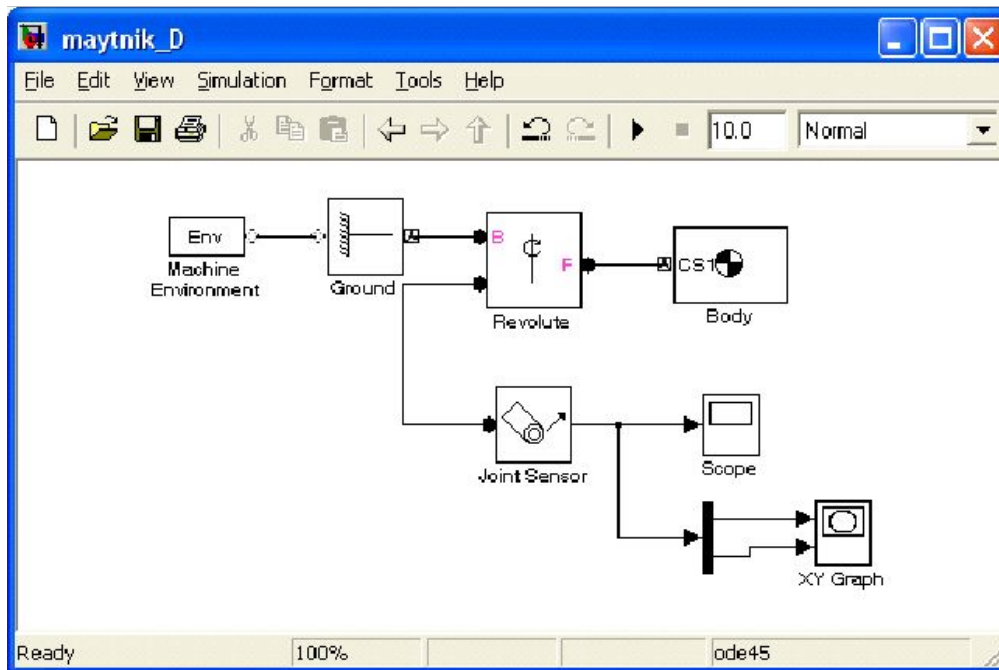
В системе присутствует два взаимодействующих объекта:

1. неподвижный подвес, на котором закреплен стержень
2. собственно сам стержень с грузом, который можно реализовать использованием одного блока **Body**.

Груз на невесомом стержне можно реализовать с помощью одного блока **Body** указав координаты центра масс (CG) на свободном конце стержня.

Параметр **tensor inertia** тогда необходимо задать равным **Zeros(3)** (что соответствует случаю, когда масса сосредоточена в одной точке пространства)

Модель маятника



Block Parameters: Machine Environment

Description
Defines the mechanical simulation environment for the machine to which the block is connected: gravity, dimensionality, analysis mode, constraint solver type, tolerances, linearization, and visualization.

Parameters Constraints Linearization Visualization

Analysis mode: Type of solution for machine's motion.
Tolerances: Maximum permissible misalignment of machine's joints.

Gravity vector: m/s² ▾

Input gravity as signal

Machine dimensionality: 3D Only ▾

Analysis mode: Forward dynamics ▾

Linear assembly tolerance: 1e-3 m ▾

Angular assembly tolerance: 1e-3 rad ▾

Configuration Parameters...

OK Cancel Help Apply

Block Parameters: Ground

Ground

Grounds one side of a Joint to a fixed location in the World coordinate system.

Parameters

Location [x,y,z]: m ▾

Show Machine Environment port

OK Cancel Help Apply

Block Parameters: Revolute

Revolute

Represents one rotational degree of freedom. The follower (F) Body rotates relative to the base (B) Body about a single rotational axis going through the world Body origin (origin of the B reference frame). Joint limits (angle, speed, acceleration) are specified in the sequence and axis direction determine sign of forward motion by the right hand rule.

Connection parameters

Current base: T002:Ground

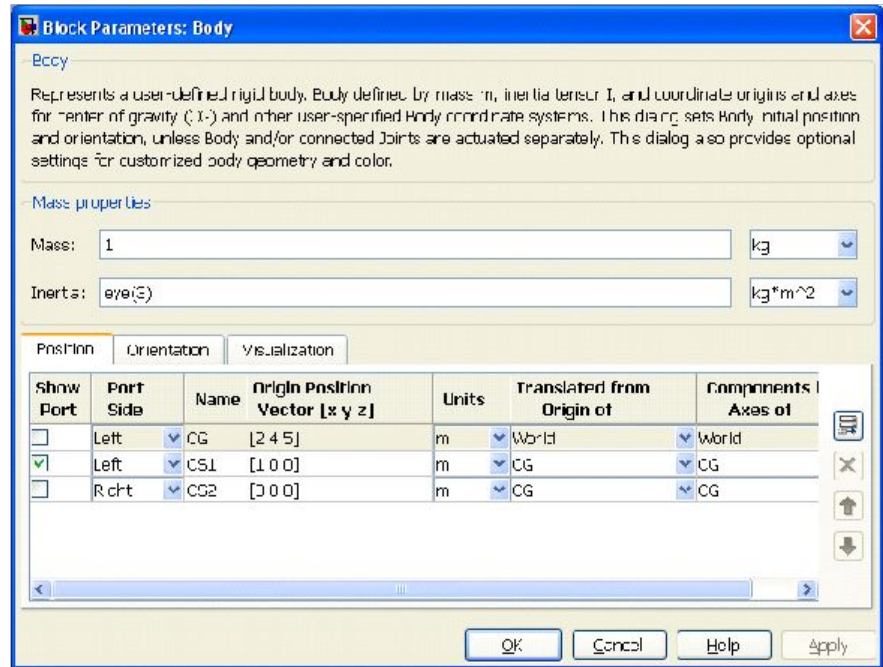
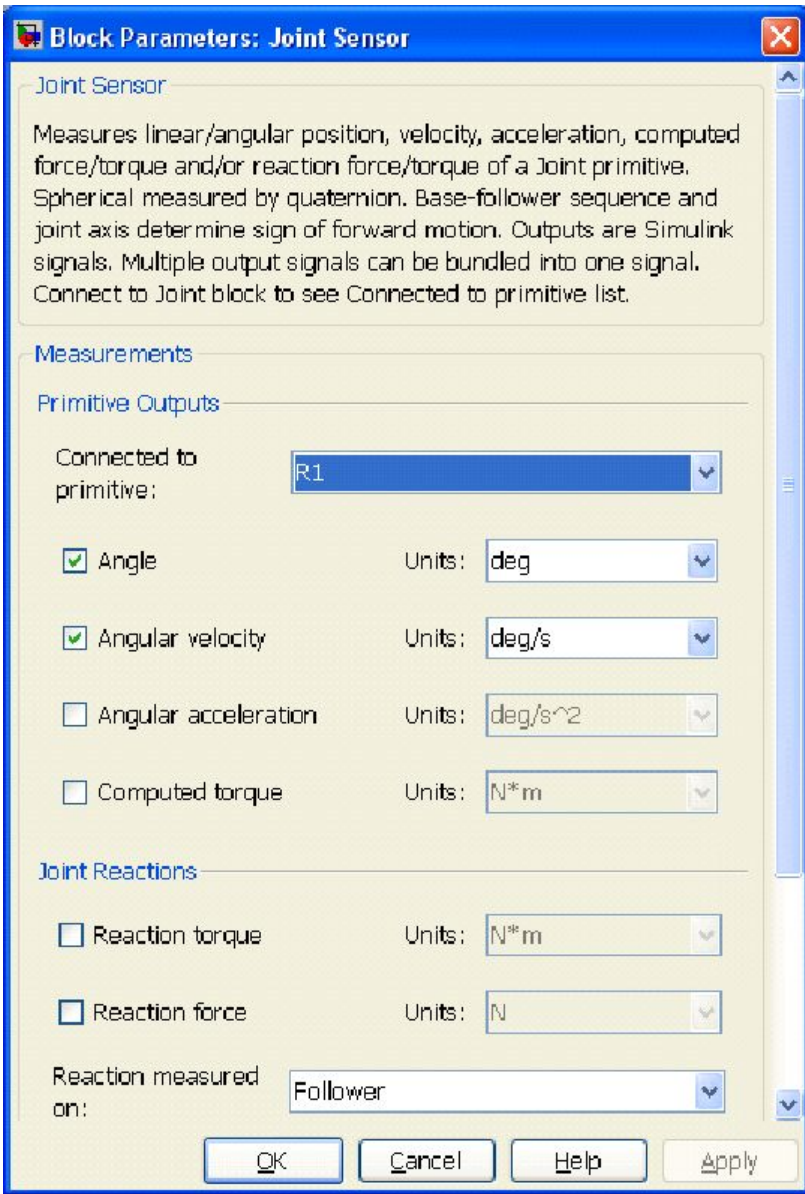
Current follower: C012:Body

Number of joints (value in range): ▾

Parameters

Axis	Axis		
Name	Primitive	Axis of Action [x y z]	Reference Us
k1	revolute	[0 0 1]	World ▾

OK Cancel Help Apply



Результаты моделирования

