


# 1. Знакомство со средой моделирования динамических систем SIMULINK. Создание простейших моделей в Simulink

## 1.1. Запуск Simulink

Запустите *MatLab*. Установите свой рабочий каталог в качестве текущего каталога *MatLab*.

Запустите Simulink одним из способов:

- В командном окне ввести команду **>> Simulink**
- На панели инструментов нажать кнопку  (*Simulink*)
- В глобальном меню **Start\Simulink** выбрать желаемую утилиту
- Из главного меню **File\Open...** открыть готовую модель **"\*.mdl"**.

Появится окно **"Simulink Library Browser"**.

## 1.2. Создание новой модели

Создайте новую Simulink-модель одним из способов:

- Нажмите в панели инструментов окна **"Simulink Library Browser"** кнопку **Create a new model**
- или выберите пункт меню **File\new ► Model**
- или комбинация клавиш **Ctrl+N**
- или из меню **File\Open...** откройте готовую модель **"\*.mdl"**.

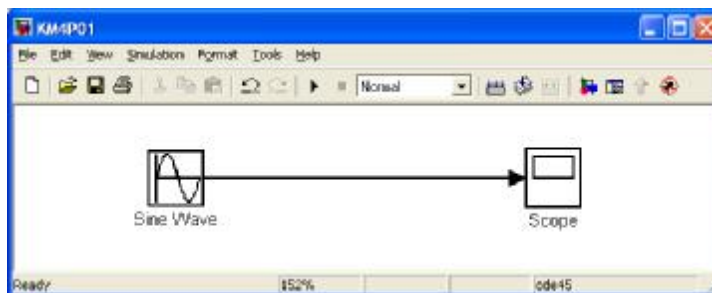
Появится окно модели с заголовком **untitled\*.mdl**. С помощью команды **Save as** модель можно сохранить в виде файла с расширением **mdl**.

## 1.3. Простейшие модели

**Каждую модель сохраняйте в новом файле!**

### 1.3.1. Модель №1

- 1) Создайте новую Simulink-модель.
- 2) С помощью мышки перетащите из окна **Simulink Library Browser**, ветвь дерева **Simulink\**, следующие блоки:
  - из папки **Sources** (источники сигналов) – блок **Sine Wave** (генератор синусоидальных колебаний),
  - из папки **Sinks** (средства регистрации) – блок **Scope** (осциллограф).
- 3) Удерживая левую клавишу мышки, соедините блоки **Sine Wave** и **Scope** последовательно:



- 4) Сохраните модель в файле **L0101.mdl**.
- 5) Нажмите кнопку **Start simulation** (черный треугольник). Дважды кликните по блоку **Scope**— появится график выходного сигнала.
- 6) Дважды кликните по блоку **Sine Wave** и изучите его настройки.

Параметры осциллографа регулируются кнопкой **Parameters**. С помощью параметра **Time range** можно регулировать время измерения. С помощью вкладки **Data history** можно выводить результаты по заданному числу последних точек. Нажав на выведенном графике выходного сигнала правую кнопку мыши, выберите из контекстного меню пункт **Axes properties** и настройте диапазон значений вдоль оси Y.

Время моделирования можно регулировать с помощью меню **Simulation/Configuration parameters/Simulation time**.

### 1.3.2. Модель №2

**Задание:** Смоделируйте уравнение преобразования температуры по Цельсию в температуру по Фаренгейту.

**Шаг 1. Математическая модель.** Уравнение преобразования температуры по Цельсию в температуру по Фаренгейту имеет вид

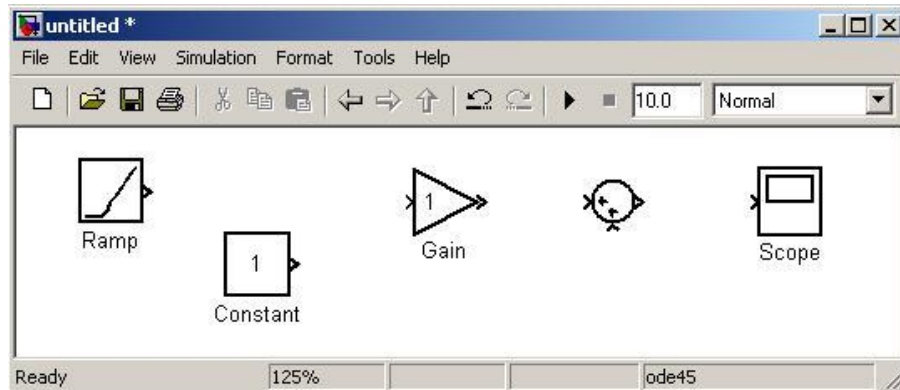
$$TF = 9/5(TC) + 32.$$

**Шаг 2.** Построим **Simulink-модель** данного уравнения.

Сначала рассмотрим блоки, необходимые для построения модели:

- блок **Ramp** (папка **Sources**) – для ввода температурного сигнала;
- блок **Constant** (папка **Sources**) – для определения константы 32;
- блок **Gain** (папка **Math Operations**) – для умножения температурного сигнала на 9/5;
- блок **Sum** (папка **Math Operations**) – для сложения двух величин;
- блок **Scope** (папка **Sinks**) – для отображения результата.

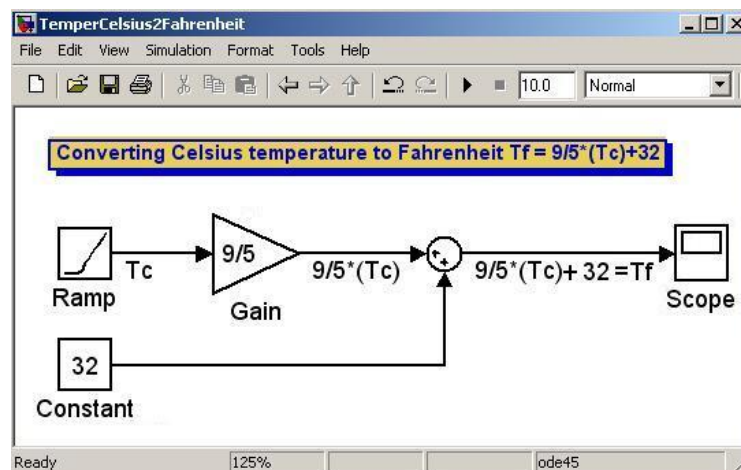
**Шаг 3.** Откройте новую Simulink-модель и перетащите эти блоки в модельное окно.



Сохраните модель в файл **TemperCelsius2Fahrenheit.mdl**.

**Шаг 4.** Установите значения параметров блоков **Gain** и **Constant**, открыв каждый блок (двойной щелчок левой кнопки мыши по блоку) и введя соответствующие значения. Затем нажмите кнопку ОК, чтобы применить новое значение и закрыть диалоговое окно соответствующего блока.

**Шаг 5.** Соедините блоки.



Блок **Ramp** генерирует сигнал – температуру по Цельсию. Откройте блок и установите параметр **Initial output** в 0.

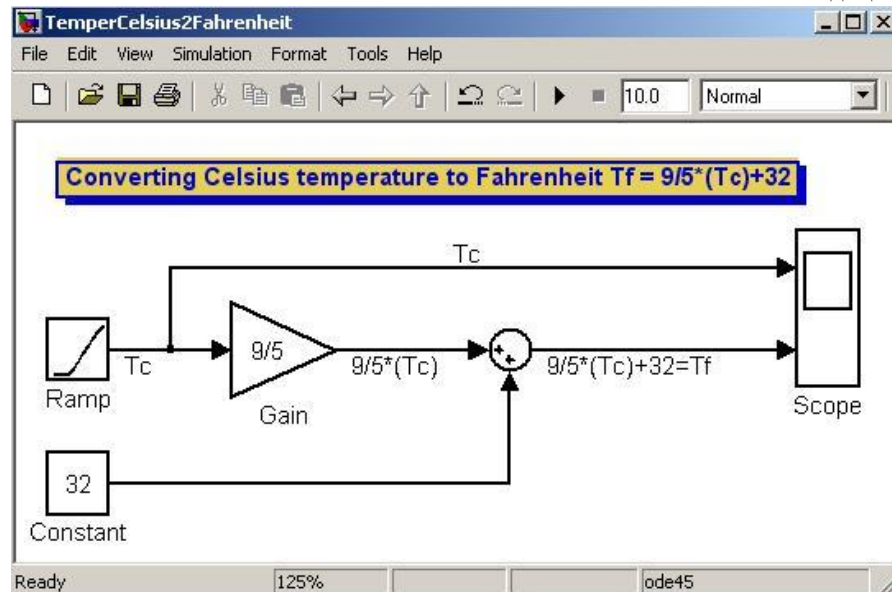
Блок **Gain** умножает эту температуру на константу 9/5.

Блок **Sum** прибавляет к результату число 32 и выдает температуру по Фаренгейту.

Откройте блок **Scope** (double-click), чтобы просматривать выходной сигнал.

**Шаг 6.** Выберите пункт меню **Simulation \ Start** или нажмите кнопку **Start simulation** (черный треугольник ►) или комбинацию клавиш **Ctrl+T** для запуска выполнения расчетов S-модели. Время выполнения расчетов (**Simulation stop time**) установите равным 10 сек.

**Шаг 7.** Измените S-модель так, чтобы просматривать графики входного (температуру по Цельсию) и выходного (температуру по Фаренгейту) сигналов. Для этого откройте блок **Scope**, нажмите на кнопку **Parameters** и в появившемся диалоговом окне '**Scope**' **parameters** установите параметр **Number of axes** равным 2. В блоке **Scope** появятся два входа. Перенастройте соединения блоков S-модели и запустите выполнение расчетов.



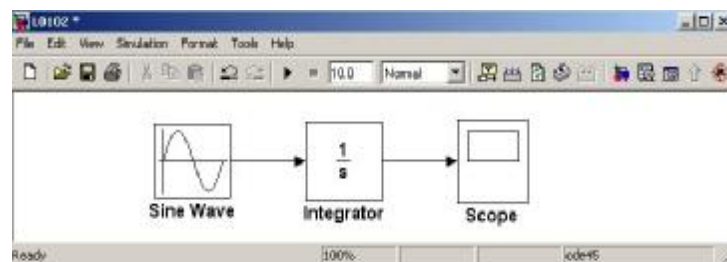
### 1.3.3. Модель №3

Смоделируйте уравнение

$$\dot{x} = \sin t.$$

Для этого:

- 1) Сохраните модель из примера №1 в файл **L0103.mdl**.
- 2) Удалите соединение между блоками **Sine Wave** и **Scope**, выделив его щелчком мыши и нажав кнопку **Delete** на клавиатуре.
- 3) Из папки **Continuous** (блоки непрерывных сигналов) перетащите блок **Integrator** (интегратор).
- 4) Соедините блоки **Sine Wave**, **Integrator** и **Scope** последовательно:



- 5) Нажмите кнопку **Start simulation** (черный треугольник). Дважды кликните по блоку **Scope**— появится график выходного сигнала.

Блок **Integrator** вычисляет величину

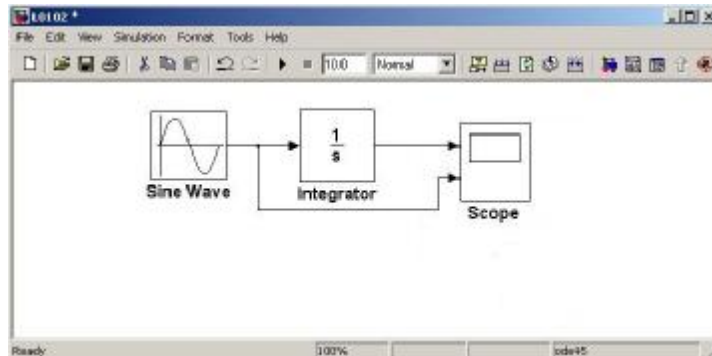
$$x(t) = \int_0^t u(s) ds + x(0),$$

по умолчанию  $x(0) = 0$ . Таким образом, с настройками по умолчанию на датчик поступает сигнал:

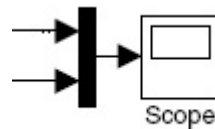
$$x(t) = \int_0^t \sin s ds = 1 - \cos t$$

Убедитесь, что это действительно так.

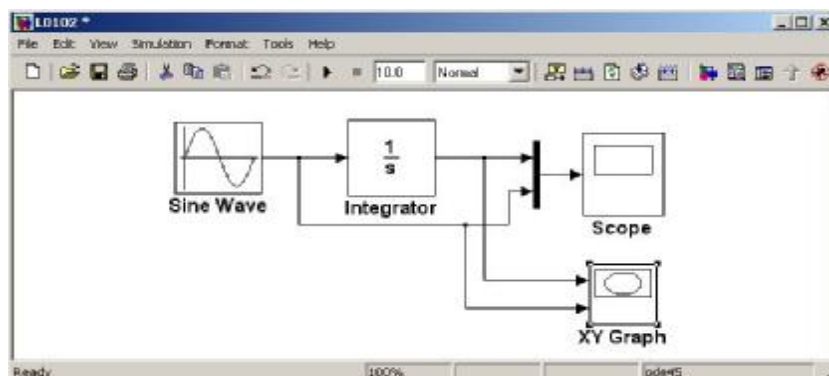
- 6) Выведите на осциллограф **Scope** одновременно графики функций  $x(t)$  и  $\dot{x}(t)$ . Для этого в окне осциллографа выберите инструмент **Parameters** и задайте параметр **Number of axes** (число входов – систем координат) равным 2. При изменении этого параметра на изображении блока **Scope** появляются дополнительные входы.



- 7) Нажмите кнопку **Start simulation** (черный треугольник). Дважды кликните по блоку **Scope** — появится графики выходных сигналов  $x(t)$  и  $\dot{x}(t)$ .
- 8) Для того чтобы вывести графики  $x(t)$  и  $\dot{x}(t)$  в одних осях, используйте мультиплексор (блок **Mux**, папка **Signal Routing**), объединяющий несколько сигналов в вектор, и схему



- 9) С помощью графопостроителя **XYGraph** (папка **Sinks**) постройте траекторию в фазовом пространстве ( $x, \dot{x}$ ).



### 1.3.4. Модель №4

Постройте модель и исследуйте свойства источника синусоидального сигнала. Для этого поместите два блока **Sine Wave**.

Блок **Sine Wave** может работать в двух режимах: генерации непрерывного сигнала (**time based**) и генерации кусочно-постоянного сигнала с фиксированным шагом дискретизации (**sample based**).

В непрерывном режиме **time based** блок генерирует колебание вида:

$$u(t) = a \sin(\omega t + \theta) + u_0.$$

По умолчанию  $a=1$ ,  $\omega=1$ ,  $\theta=0$ ,  $u_0=0$ , т.е. по умолчанию  $u(t) = \sin t$ .

Параметр **Sample time** должен быть равен нулю. Если положить параметр **Sample time** положительным, то получаем кусочно-постоянный сигнал, причем **Sample time** задает период дискретизации синусоиды.

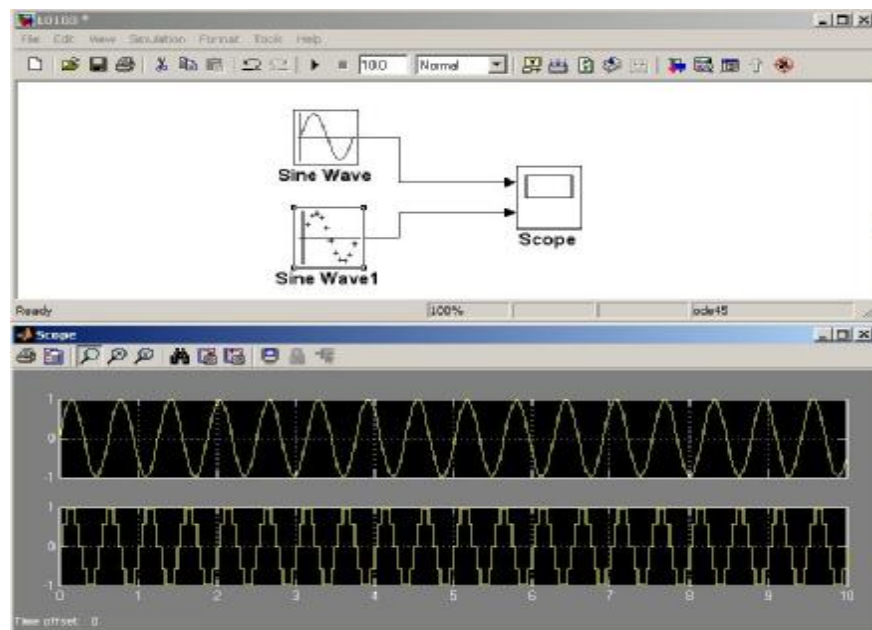
В режиме **sampled base** выходной сигнал также кусочно-постоянный (параметр **Sample time** должен быть положительным), но алгоритм дискретизации немного другой. Сигнал вычисляется по формуле

$$u_k = a \sin(2\pi(k+s)/n) + u_0, \quad k = 0, \dots, n.$$

Здесь  $n$  — значение параметра **Samples per period**,  $s$  — параметр **Number of offset samples**.

В блоке **Sine Wave** установите режим генерации непрерывного сигнала (**time based**), в блоке **Sine Wave 1** — режим генерации кусочно-постоянного сигнала с фиксированным шагом дискретизации (**sample based**) и параметр **Sample time** = 1. Исследуйте влияние параметров частоты, амплитуды, фазы и смещения на сигнал.

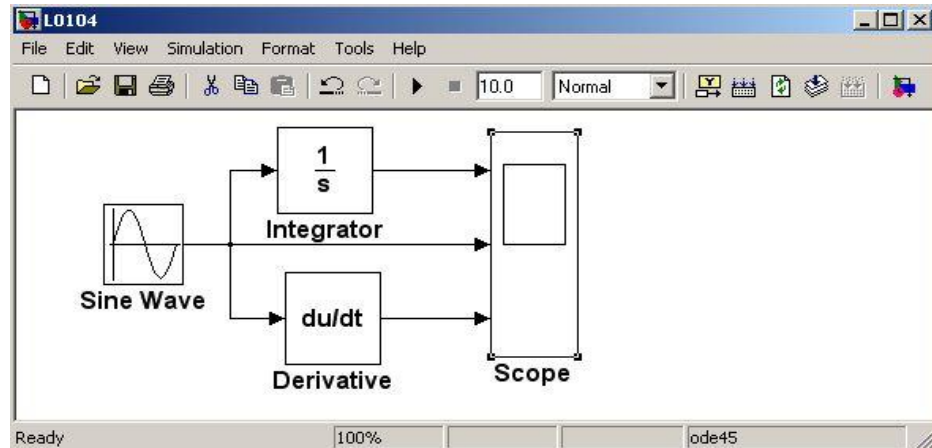
Сохраните модель в файле **L0104.mdl**.



### 1.3.5. Модель №5

Постройте модель. Блок **Derivative** (папка **Continuous**) используется для выполнения численного дифференцирования аналоговых сигналов.





Сохраните модель в файле **L0105.mdl**.

### 1.3.6. Модель №6

Постройте модель непрерывной системы (**Continuous System**), поведение которой описывается уравнением

$$x'(t) + 2x(t) = u(t),$$

где  $u(t)$  – управляющий сигнал в виде прямоугольной волны с амплитудой 1 и частотой (**frequency**) 1 rad/sec.

**Шаг 1. Математическая модель.** Для построения S-модели перепишем уравнение в виде

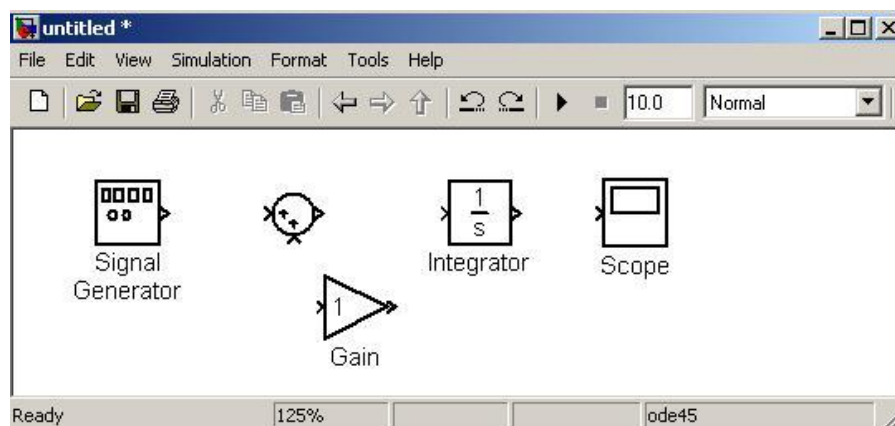
$$x'(t) = -2x(t) + u(t).$$

**Шаг 2.** Построим **Simulink-модель** данного уравнения.

Сначала рассмотрим блоки, необходимые для построения модели:

- блок **Signal Generator** (папка **Sources**) – для ввода сигнала  $u(t)$ ;
- блок **Integrator** (папка **Continuous**) – для интегрирования  $x'(t)$ ;
- блок **Gain** (папка **Math Operations**) – для умножения  $x(t)$  на  $-2$ ;
- блок **Sum** (папка **Math Operations**) – для сложения двух величин;
- блок **Scope** (папка **Sinks**) – для отображения результата.

**Шаг 3.** Откройте новую Simulink-модель и перетащите эти блоки в модельное окно.

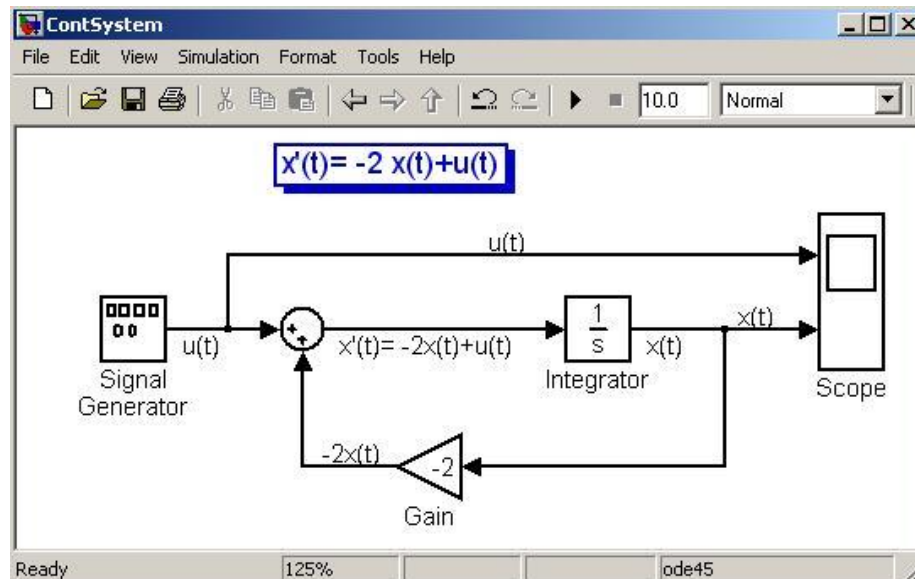


Сохраните модель в файл **L0106.mdl**.

**Шаг 4.** Установите значения параметров блока **Signal Generator**: параметр **Wave Form** = **square**, параметр **Amplitude** = **1**, параметр **Frequency** = **1**, параметр **Units** = **rad/sec**.

Установите значение параметра блока **Gain** равным **-2**. Измените направление блока **Gain**, выбрав в его контекстном меню (правая кнопка мыши на выделенном блоке) пункт меню **Format \ Flip Block** или комбинацию клавиш **Ctrl+I**.

**Шаг 5.** Соедините блоки.



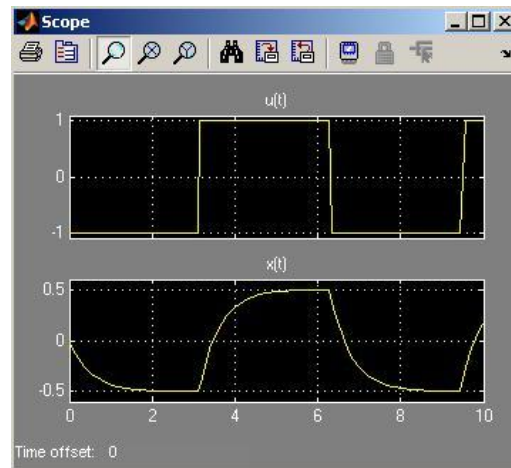
Блок **Integrator** интегрирует свой входной сигнал  $x'(t)$  и выдает выходной сигнал  $x(t)$ . Для того чтобы создать ответвление от выхода блока **Integrator** к блоку **Gain**, нажмите и удерживайте нажатой клавишу **Ctrl** пока рисуете линию (для более подробной информации смотрите пункт *Creating a Model \ Connecting Blocks \ Manually Connecting Blocks \ Drawing a Branch Line* в справочной системе *Simulink*).

Важной концепцией этой модели является понятие *петля (loop)*, которая в данной модели включает блоки **Sum**, **Integrator** и **Gain**. В моделируемом уравнении  $x(t)$  – выход блока **Integrator** – является также входом в блоки, которые вычисляют производную  $x'(t)$ . Такое соотношение использует встроенную петлю.

Откройте блок **Scope** (double-click), чтобы просматривать выходной сигнал.

**Шаг 6.** Выберите пункт меню **Simulation \ Start** или нажмите кнопку **Start simulation** (черный треугольник ►) или комбинацию клавиш **Ctrl+T** для запуска выполнения расчетов S-модели. Время выполнения расчетов (**Simulation stop time**) установите равным 10 сек. Для выполненного в течение 10 сек расчета управляющий  $u(t)$  и выходной  $x(t)$  сигналы имеют вид





## 1.4. Демонстрационные примеры

Откройте, внимательно изучите модель, запустите симуляцию (процесс выполнения модели), проанализируйте результат симуляции для следующих демонстрационных примеров из справочника *Simulink* (команда **Demos**, раздел справки **Help\Demos\Simulink**):

- **General Applications\Toilet bowl blushing animation** – модель сливного бачка.
- **Aerospace Applications\Quaternion rotation animation** – углы вращения в пространстве.

и из справочника *Stateflow* (команда **Demos**, раздел справки **Help\Demos\Stateflow**):

- **Stateflow \ Zero Crossings and Derivatives \ Netwon's cradle.**
- **Stateflow \General Applications \ Modeling an Elevator System** – система лифтов.