

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

кафедра “Информатика, автоматизация и управления”

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

ПО КУРСУ

«МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»

Ташкент – 2012

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

кафедра “Информатика, автоматизация и управления”

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

ПО КУРСУ

«МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»

для магистрантов по специальности 5А521802
«Автоматизация технологических процессов и производств» (по
отраслям)

Ташкент – 2012

Методическое пособие по проведению практических занятий по курсу «Моделирования и оптимизация технологических процессов» является основным методическим указанием по выполнению практических занятий студентам по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» (по отраслям).

Составители:

проф. А.Артиков, ст. преп. Б.Хамидов

Рецензент: доц. Ю.Т. Акрамходжаев

Одобрено на заседании кафедры «Информатика, автоматизация и управления». Протокол от 16.05.2006, № __.

Заведующий кафедрой

проф. Исматуллаев П.Р.

Рекомендовано к печати научно-методическим советом факультета «Технология пищевых продуктов» ТКТИ. Протокол от «_____» _____ 2006, № ____.

Председатель научно-методического совета

доц. Турсунов Т.Т.

Введение

Данное методическое пособие по проведению практических занятий по курсу «Моделирование и оптимизация технологических процессов» предусматривает закрепление теоретических знаний студентов, изученных на лекционных занятиях и самостоятельно решать задачи моделирования и оптимизация определенных технологических процессов пищевой и химической технологии с применением современных методов решения задач и освоение программного обеспечения для исследования технологических процессов и систем.

Целью практических занятий по курсу «Моделирование и оптимизация технологических процессов» является Получения начальные сведения о системе *MATLAB* и ее пакетах *Simulink* и *Control System Toolbox* и навыки работы с ними.

Задача содержит описательную часть и несколько заданий для самостоятельного выполнения. Студенты в течении 15 часов осваивает, и самостоятельно выполняют задания непосредственно в ходе прочтения содержания, и составляет отчет по заданиям.

1. Работа с командным окном *MATLAB*.

Запуск системы *MATLAB*.

Запустите *MATLAB*. Значок *MATLAB* находится на рабочем столе *Windows*. После запуска на экране появляется командное окно *MATLAB*. Команды вводятся с клавиатуры в командной строке (после знака приглашения \gg). Нажатие клавиши *Enter* приводит к выполнению введенной команды.

Использование *MATLAB* как калькулятора.

Командное окно можно использовать как калькулятор. Для этого в командной строке вводится математическое выражение. После нажатия *Enter* будет выведен результат. В системе *MATLAB* используются традиционные арифметические операции $+$, $-$, $*$, $/$, а также операция возведения в степень $^$. Для определения приоритета выполнения операций в выражении можно использовать круглые скобки. При вводе дробных чисел используется десятичная точка (не запятая).

Таблица 1.

1.1. Встроенные функции системы *MATLAB*

Обозначение	Название функции	Обозначение	Название функции
<i>sin</i>	синус	<i>log</i>	натуральный логарифм
<i>cos</i>	косинус	<i>Log10</i>	десятичный логарифм
<i>tan</i>	тангенс	<i>exp</i>	натуральная экспонента (возведение $e=2,72$ в степень)
<i>asin</i>	арксинус		
<i>acos</i>	арккосинус	<i>sqrt</i>	квадратный корень
<i>atan</i>	арктангенс	<i>pi</i>	число $\pi=3,14$

Кроме того, в выражении можно использовать встроенные функции системы *MATLAB* (табл.1). Аргумент функции задается в круглых скобках после имени функции (кроме функции *pi*, которая не имеет аргументов). Если аргументов у функции несколько, они разделяются запятой. Аргументы тригонометрических функций *sin*, *cos*, *tan* следует задавать в радианах (не в градусах). Функции *asin*, *acos*, *atan* дают результат в радианах.

Использование *MATLAB* как калькулятора иллюстрирует пример 1.

1.2. Использование переменных.

Результат вычислений можно присвоить любой, переменной определенной пользователем. Имя переменной должно начинаться с буквы и может состоять из букв, цифр и символа подчеркивания. Система *MATLAB* различает строчные и прописные буквы в именах переменных (*A* и *a* – это разные переменные). Знак = соответствует операции присваивания. Значения переменных, вычисленные в течение текущего сеанса работы, сохраняются в специально зарезервированной области памяти компьютера, называемой рабочим пространством (*Workspace*). Использование переменных рассмотрено в примере 2.

Переменные в примере 2 имеют только одно числовое значение. В системе *MATLAB* также используются массивы. Использование массивов рассмотрено в примере 3.

1.3. Действия с рабочим пространством *MATLAB* (пример 4).

В результате сохранения рабочего пространства на диске создается файл с заданным именем (может быть произвольным) и расширением *mat*. Сохранение рабочего пространства можно выполнить через меню командного окна *File* пункт *Save workspace as ...*

В командном окне есть возможность вернуть в командную строку ранее введенные команды, они запоминаются в специальной области памяти, называемой стеком команд. Для этого используются клавиши «стрелка вверх» и «стрелка вниз». Клавиша «стрелка вверх» позволяет вывести предыдущие команды в порядке обратном их вводу. Клавиша «стрелка вниз» осуществляет прокрутку команд в противоположном направлении.

2. Работа с пакетом *Control System Toolbox*.

Пакет *Control System Toolbox* позволяет создавать линейные модели систем автоматического управления и решать задачи анализа и синтеза линейных систем. Основной программной единицей пакета *Control System Toolbox* является линейный стационарный объект (далее просто объект), который представляет собой линейное звено, описанное передаточной функцией с постоянными параметрами. Объект может являться моделью всей системы, ее части или отдельного элемента системы.

2.1.Создание объекта.

Пусть требуется создать объект с передаточной функцией вида

$$W(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n}.$$

р 1. Использование **MATLAB** как калькулятора.

The screenshot shows the MATLAB Command Window interface. The command window title bar reads "Command Window". The current directory is "E:\Matlab6.5\work". The text in the window includes:

Using Toolbox Path Cache. Type "help toolbox_path_cache" for more info.

Для запуска, выберите "Помощь по MATLAB" из меню Помощь.

>> (4.5+7i)^3-37/5*log10((2+9i)*sqrt(25/3-1i))

ans =

1.5031e+003

>>

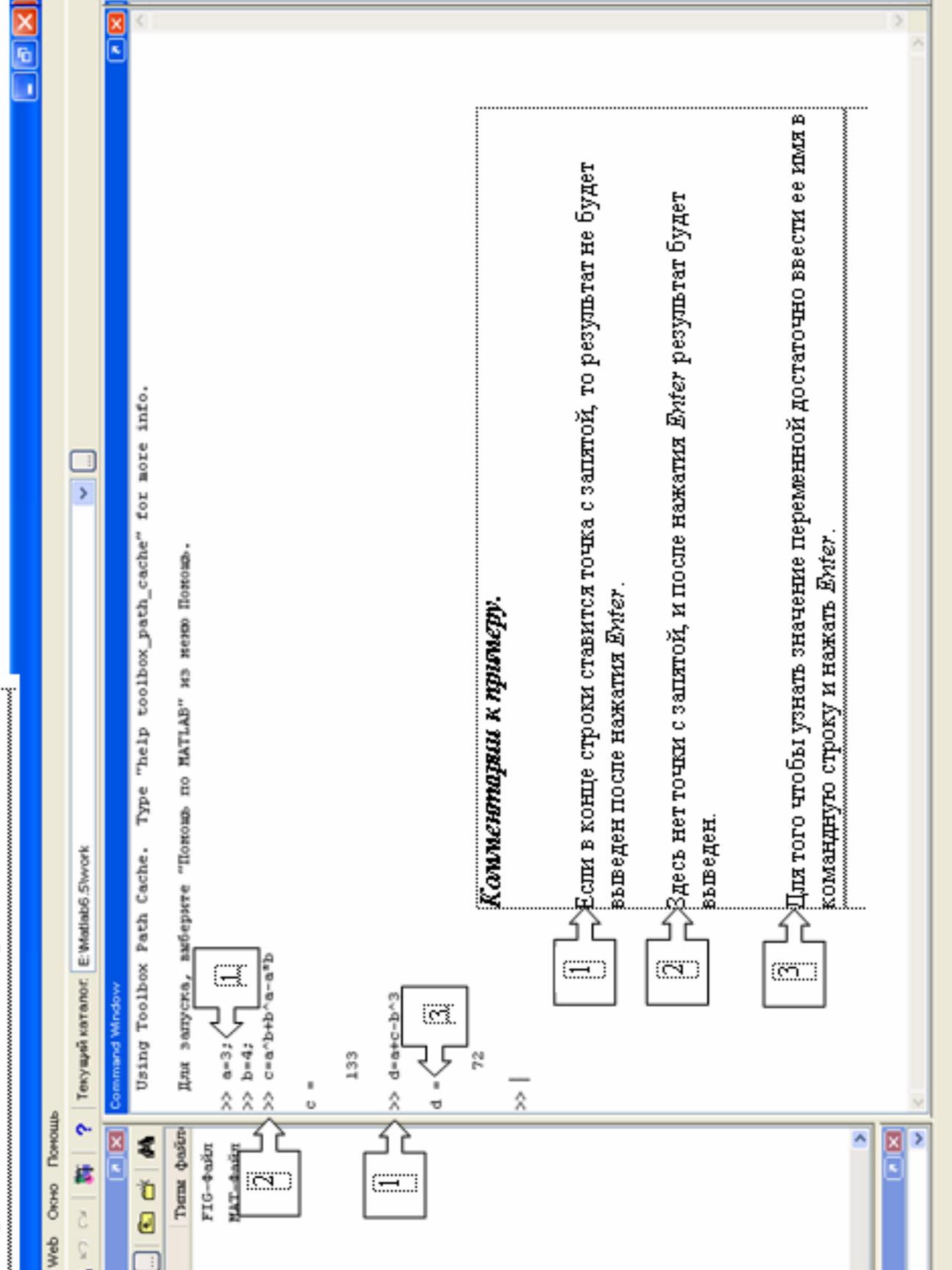
Below the command window, there are three callout boxes with arrows pointing to the MATLAB logo icon in the Command Window toolbar:

- Комментарий к примеру.
- Нажатие клавиши *Enter*.
- Результат присваивается переменной с именем *ans*.

Below the MATLAB logo icon in the Command Window toolbar, there are three callout boxes with arrows pointing to the MATLAB logo icon:

- Результат выводится в формате с плавающей запятой.
- Такая запись означает *1.5031·10³*.

Рис. 2. Использование переменных.



Пример 3. Использование массивов.

The image shows a MATLAB Command Window with the following code and annotations:

```
>> a1=[1 3 12 0.5 6]
a1 =
    1.0000    3.0000   12.0000    0.5000    6.0000

>> b=[3 2 0 0.2 3];
>> c2=2:0.5:4;
>> d=a1+c2;
>> e3=b-c2;
>> s=d.*e3;
>> w=sqrt(b);
>> t=s./e3;
>> u=2+s(1)-b(2)+c(3)*d(5);
>> t-b+1;
>> h=u*7;
```

Annotations 1-7 point to specific parts of the code:

- 1: `a1=[1 3 12 0.5 6]`
- 2: `1.0000 3.0000 12.0000 0.5000 6.0000`
- 3: `d=a1+c2;`
- 4: `w=sqrt(b);`
- 5: `u=2+s(1)-b(2)+c(3)*d(5);`
- 6: `t-b+1;`
- 7: `h=u*7;`

The help window is titled "Комментарии к примеру." and contains the following text:

Элементы массива задаются в квадратных скобках через пробел.

Другой способ задать массив в виде x, y, z , где x – первый элемент массива, y – последний элемент массива, z – приращение каждого следующего элемента над предыдущим. Здесь элементами массива будут $2, 2,5, 3, 3,5, 4$.

Сложение и вычитание массивов осуществляется поэлементно.

Операции поэлементного умножения и деления массивов

Взятие функции от каждого элемента массива. В результате получится массив той же размерности.

Использование отдельных элементов массива. Номер элемента указывается после имени переменной массива в круглых скобках. Нумерация элементов начинается с единицы.

Сложение и умножение всех элементов массива на число.

Пример 4. Использование рабочего пространства *MATLAB*.

Комментарии к примеру.

- 1 Команда вывода имен всех переменных рабочего пространства.
- 1 Команда удаления переменной из рабочего пространства.
- 1 Команда сохранения рабочего пространства в дисковом файле под заданным именем.
- 1 Команда очистки рабочего пространства.
- 1 Команда загрузки рабочего пространства из ранее сохраненного файла.
- 1 Команда очистки командного окна (рабочее пространство не изменяется).

Пример 5. Создание объектов с помощью функции f .

function:
2
s + 10

function:
3
sqrt([1 0 3])

function:
4
[1 1.5],[2 0])

1

2

3

4

Комментарии к примеру.

1 Если в конце строки не поставлена точка с запятой, то будет выведен результат – передаточная функция.

2 Здесь второй порядок знаменателя и равен нулю коэффициент a_1 .

3 Если порядок числителя или знаменателя нулевой, квадратные скобки можно опустить.

4 Здесь первый порядок знаменателя и равен нулю коэффициент a_1 .

Пример 6. Создание модели автоматической системы.

```
z = ([0.2 1], [0.1 0]);  
p = (1, [0.4 1]);  
k = (2, 1);  
feedback(w1*w2, w3)  
function:  
s + 1  
+ 0.5 s + 2
```

1

2

3

1

2

3

Комментарии к примеру.

Создаем объекты для каждого звена.

Если порядок числителя или знаменателя нулевой, квадратные скобки можно опустить.

Здесь первый порядок знаменателя и равен нулю коэффициент a_1 .

Примечание: переменная передаточной функции в *MATLAB* обозначается буквой *s*; в отечественной литературе по теории автоматического управления ее чаще обозначают буквой *p*.

Для создания объекта используется функция *tf* (*Transfer Function*). Командная строка, создающая объект с именем *name*, имеет следующий вид.

$$name=tf([b_0 \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_m],[a_0 \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n])$$

Имя объекта задается произвольно по тем же правилам, что имена обычных переменных. В качестве аргументов функции *tf* задаются массив коэффициентов числителя b_0, b_1, \dots, b_m и массив коэффициентов знаменателя передаточной функции a_0, a_1, \dots, a_n . Коэффициенты задаются в квадратных скобках через пробел или запятую. Массив коэффициентов числителя содержит $m+1$ коэффициент, а массив коэффициентов знаменателя $n+1$ коэффициент. На месте отсутствующих коэффициентов записывается 0.

Рассмотрим **пример 5** создания объектов.

2.2. Операции над объектами.

Данные операции представляют собой объединение нескольких объектов в один объект. Таким образом, можно получить передаточную функцию системы по известным передаточным функциям ее элементов.

Последовательное соединение объектов (рис.1) реализуется с помощью операции умножения.

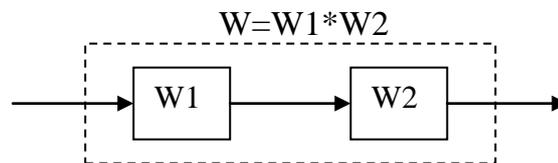


Рис.1. Последовательное соединение объектов.

Параллельное соединение объектов (рис.2) реализуется с помощью операции сложения.

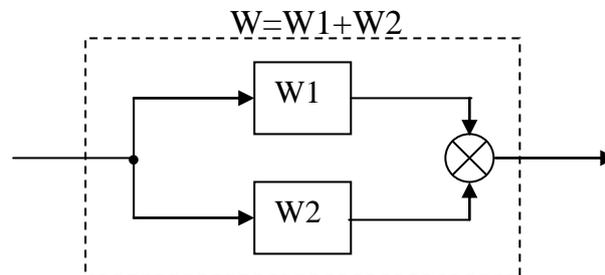


Рис.2. Параллельное соединение объектов.

Охват объекта отрицательной обратной связью (рис.3) выполняется с помощью функции *feedback*.

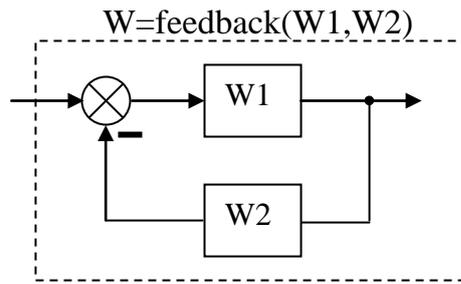


Рис.3. Охват объекта отрицательной обратной связью.

Рассмотрим пример. Дана структурная схема автоматической системы (рис.4). Необходимо создать ее модель в *Control System Toolbox*. Решение данной задачи показывает пример 6.

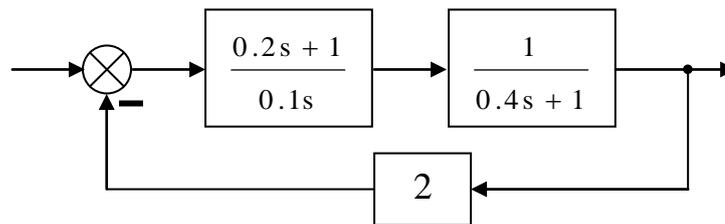


Рис.4. Структурная схема автоматической системы.

3. Построение основных характеристик объекта.

Создав объект с определенной структурой и параметрами, можно исследовать различные характеристики объекта. Графики характеристик строятся в специальных графических окнах. Рассмотрим способы получения основных временных и частотных характеристик (табл.2 – 5).

Таблица2

Исследование переходной функции и весовой функции

Команда	Комментарий
$step(w)$ $impulse(w)$	Построение переходной функции ($step$) и весовой функции ($impulse$) функции объекта w . Время моделирования определяется автоматически.
$step(w,t)$ $impulse(w,t)$	Построение переходной (весовой) функции объекта w на заданном отрезке времени от 0 до t (где t – это константа или переменная). t также можно задавать как массив вида $0:dt:tmax$, где $tmax$ – время окончания моделирования, dt – шаг расчета переходной функции (должен быть достаточно мал).
$step(w1,w2, \dots, wn)$ $impulse(w1,w2, \dots, wn)$	Построение переходной (весовой) функции нескольких объектов <u>на одной</u> координатной плоскости.
$step(w1,w2, \dots, wn,t)$ $impulse(w1,w2, \dots, wn,t)$	То же с заданием времени моделирования.

Исследование реакции на произвольно заданное воздействие

Команда	Комментарий
$lsim(w,u,t)$	Построение реакции объекта w на воздействие заданное двумя массивами. Массив t – это массив значений времени. Задается в виде $0:dt:tmax$, где $tmax$ – время окончания моделирования, dt – шаг расчета (должен быть достаточно мал). Массив u – это массив значений входного воздействия того же размера, что и массив t .
$lsim(w1,w2,\dots,wn,u,t)$	То же для нескольких объектов (графики выводятся на одну координатную плоскость).

Примечание. Обозначение координатных осей графического окна при выводе временных характеристик:

Amplitude – ось значений выходной величины объекта;

Time (sec) – ось времени (единицы – секунды).

Исследование АФЧХ – амплитудно-фазовой частотной характеристики (*Nyquist diagram*)

Команда	Комментарий
$nyquist(w)$	Построение АФЧХ объекта w .
$nyquist(w,\{omin,omax\})$	То же с заданием диапазона частот, для которого строится АФЧХ (в фигурных скобках). Частота $omin$ должна быть больше нуля.
$nyquist(w1,w2,\dots,wn)$	Построение АФЧХ нескольких объектов на одной комплексной плоскости.
$nyquist(w1,\dots,wn,\{omin,omax\})$	То же с заданием диапазона частот.

Примечание. АФЧХ строится в виде годографа на комплексной плоскости для диапазона частот $-\infty\dots\infty$ и представляет собой две симметричные относительно действительной оси кривые: одна для положительных частот, другая для отрицательных частот. В отечественной литературе принято строить АФЧХ только для положительных частот. Обозначение осей комплексной плоскости в графическом окне: *Real Axis* – действительная ось, *Imaginary Axis* – мнимая ось.

Исследование ЛЧХ – логарифмических частотных характеристик
(*Bode diagram*)

Команда	Комментарий
$bode(w)$	Построение ЛЧХ объекта w .
$bode(w, \{omin, omax\})$	То же с заданием диапазона частот. Частота $omin$ должна быть больше нуля.
$bode(w1, w2, \dots, wn)$	Построение ЛЧХ нескольких объектов в одном окне.
$bode(w1, w2, \dots, wn, \{omin, omax\})$	То же с заданием диапазона частот.
$margin(w)$	Построение ЛЧХ объекта w с выводом информации о запасах устойчивости автоматической системы по амплитуде и по фазе. Объект w должен описывать разомкнутую систему.

Примечание. Команды *bode* и *margin* всегда строят 2 логарифмические частотные характеристики в одном окне друг под другом в одном масштабе частоты: ЛАЧХ – логарифмическую амплитудную частотную характеристику и ЛФЧХ – логарифмическую фазовую частотную характеристику. Обозначение координатных осей: *Magnitude (dB)* – ось значений ЛАЧХ в децибелах, *Phase (deg)* – ось значений ЛФЧХ в градусах, *Frequency (rad/sec)* – ось частоты (в радианах в секунду).

Для того чтобы построить новую характеристику в другом графическом окне (при сохранении на экране уже имеющегося графического окна) необходимо ввести команду *figure* (создается новое пустое графическое окно); после запуска следующей команды вывода графиков они появятся в новом окне. При построении нескольких характеристик на одной координатной плоскости каждый график строится своим цветом в зависимости от порядка построения. Стандартным для *MATLAB* является следующий порядок цветов графиков: синий, зеленый, красный, голубой, фиолетовый.

4. Действия с графическими окнами.

Команды работы с графическим окном находятся в главном меню окна и во всплывающем меню (щелчок правой кнопкой мыши в координатной плоскости).

4.1. Нанесение координатной сетки.

Для нанесения (удаления) сетки используется пункт всплывающего меню *Grid* (рис.5,а).

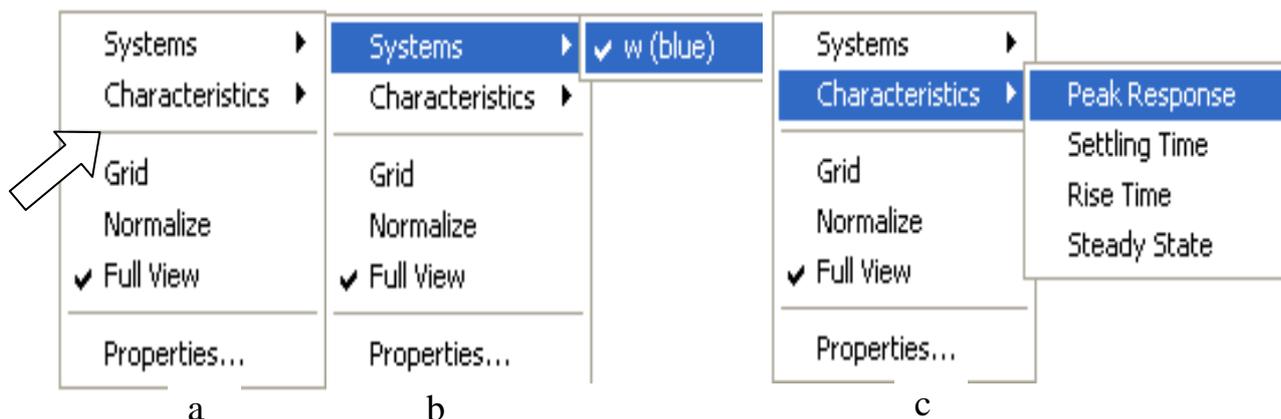


Рис.5. Всплывающее меню координатной плоскости.

4.2. Вывод информации об отдельных точках графика.

Для вывода координат некоторой точки графика выполняется наведение курсора мыши на данную точку и нажатие левой кнопки (не отпуская). Например, для временного графика будет выведена информация о текущем значении сигнала и о текущем времени (рис.6). Информационная надпись исчезает при отпускании кнопки мыши. Аналогично выводится информационная надпись о текущем значении и текущей частоте для частотных характеристик.

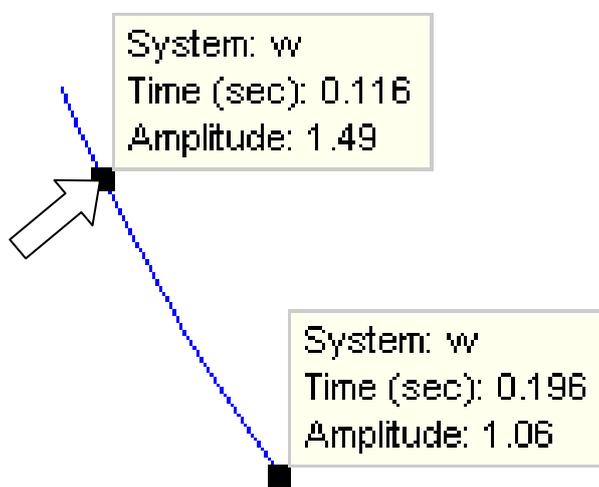


Рис.6. Информация о координатах точки графика.



Рис.7. Меню графического окна.

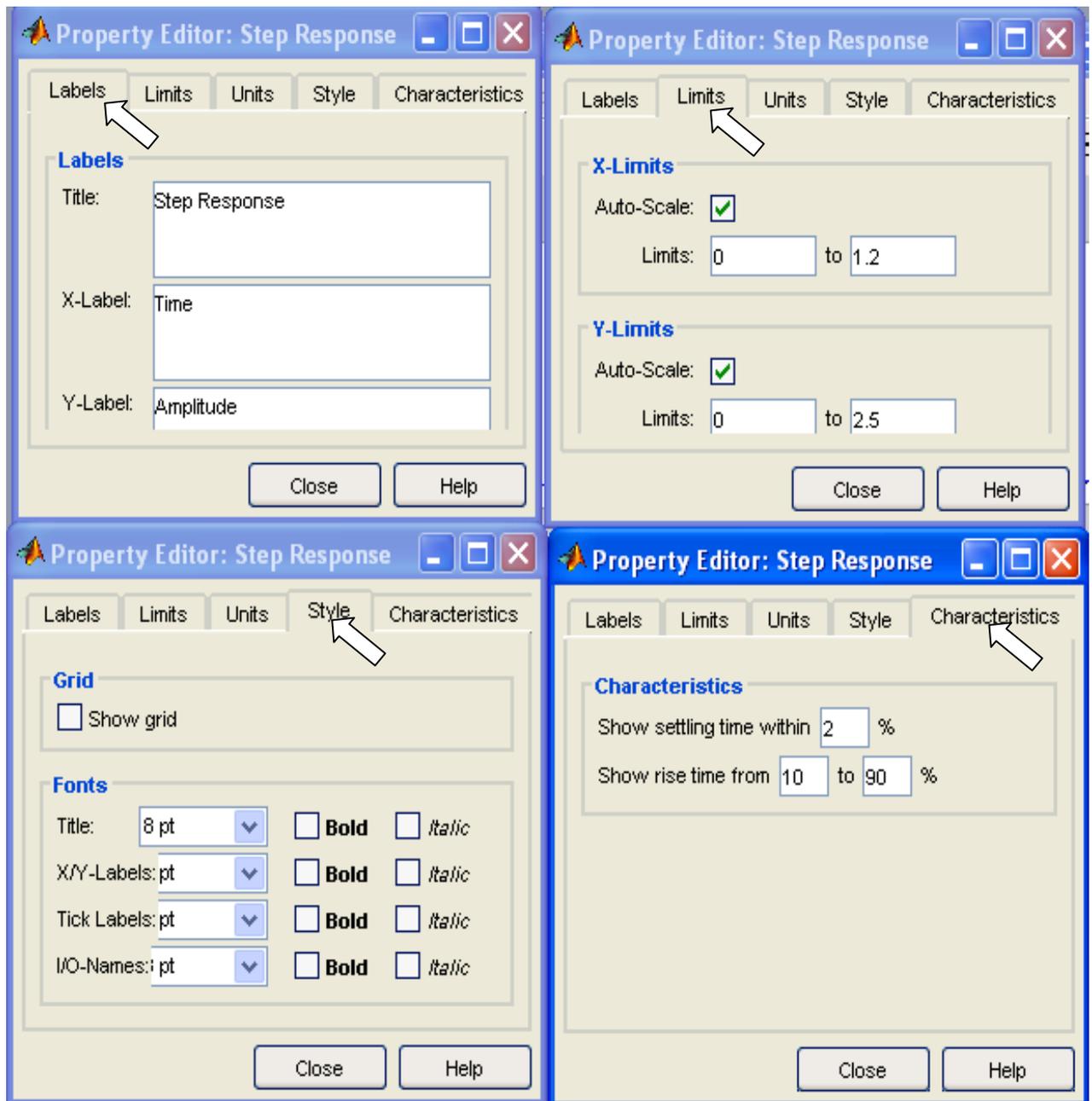


Рис.8. Окно параметров графического окна.

Второй способ изменения масштаба – использование окна параметров координатной плоскости. Для вывода окна параметров необходимо сначала войти в режим редактирования графического окна, нажав мышью кнопку с изображением стрелки в меню окна (рис.7), а затем выполнить двойной щелчок по координатной плоскости (но не по самому графику). В результате появится окно параметров (рис.8).

Максимальное и минимальное значения по оси X и оси Y (для разных характеристик эти оси имеют разный смысл) задаются в строках ввода напротив надписи *Limits*. При этом должен быть установлен флажок ручного ввода пределов *Manual*.

Иногда требуется скрыть некоторые графики (если на одной координатной плоскости их несколько). Для того чтобы скрыть графики (с возможностью последующего восстановления) используется всплывающее меню графического окна (режим редактирования выключен). В подменю *Systems* перечислены имена всех объектов, характеристики которых были выведены в окно. Для того чтобы скрыть график, необходимо снять флажок напротив имени объекта.

4.3. Изменение параметров графиков.

Для изменения параметров графика можно использовать всплывающее меню графика (рис.9). Для его вывода необходимо в режиме редактирования графического окна выполнить щелчок правой кнопкой мыши при наведении курсора на сам график.

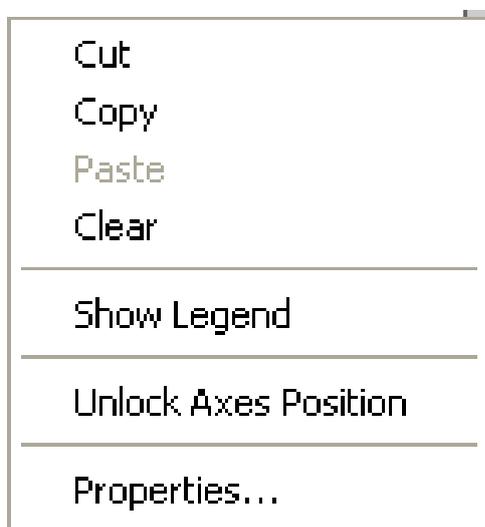


Рис.9. Всплывающее меню графика.

Для изменения толщины линии используется подменю *Line Width*, для изменения стиля линии (сплошная, пунктирная и т.д.) – подменю *Line Style*. При выборе пункта *Color...* появляется окно установки цвета линии. Те же действия можно выполнить, используя окно установки параметров графика (пункт *Properties...*).

4.4. Оформление графического окна.

Для добавления текстовых комментариев нажмите мышью кнопку меню графического окна с изображением буквы А. Затем выполните щелчок мыши в нужном месте координатной плоскости, введите текст и выполните щелчок мыши в любом другом месте координатной плоскости. В режиме редактирования графического окна можно перетаскивать текстовую надпись с помощью мыши на любое место координатной плоскости.

Для введения заголовка над координатной плоскостью заполните строку *Title* в окне параметров (см. рис.8). Для введения поясняющих надписей для осей – строки *Label* для оси *X* и для оси *Y*.

4.5. Сохранение графического окна.

Для сохранения координатной плоскости и ее содержимого в графическом файле используется пункт *Export...* в подменю *File...* главного меню графического окна. В окне сохранения файла задается тип файла (например, *Bitmap files *.bmp*) и имя файла. Файлы типа *Bitmap* могут быть открыты графическим редактором *Paint*.

5. Работа с пакетом *Simulink*.

Пакет *Simulink* позволяет моделировать процессы, как в линейных, так и в нелинейных системах. Для создания моделей используются специальные окна, в которых из блоков различного назначения собирается структурная схема системы. Пакет *Simulink* далее рассматривается в той части, которая необходима для выполнения лабораторных работ по курсу «Теория автоматического управления», относящихся к разделу линейных систем.

5.1. Подготовка к работе.

Запустите в командном окне *MATLAB* команду загрузки рабочего пространства: *load labspace*. Рабочее пространство в файле *labspace.mat* специально подготовлено для лабораторных работ. Его загрузку следует выполнять один раз за сеанс работы.

В подменю *File* главного меню запустите команду *Open...* и откройте файл *Lab1Libr*. На экране появляется окно библиотеки блоков, из которых собирается модель.

Таким же образом откройте файл *Lab1Window*. На экране появляется пустое окно. В этом окне будет собираться схема модели.

5.2. Библиотека блоков.

Рассмотрим блоки, входящие в состав библиотеки *Lab1Libr* (рис.10). Каждый блок имеет определенное число входов и выходов для связи с другими блоками модели. Некоторые блоки имеют только входы или только выходы. Свойства блоков определяются параметрами, задаваемыми пользователем. Эти параметры вводятся в окне параметров, для раскрытия которого выполняется двойной щелчок левой кнопкой мыши по изображению блока.

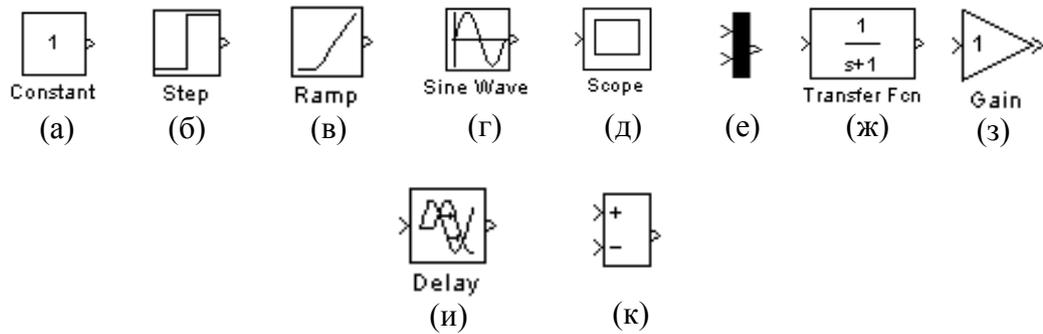


Рис.10. Основные блоки Simulink, используемые в лабораторных работах.

Первые четыре блока (рис.10,а–г) представляют собой настраиваемые источники сигнала. Они имеют один выход и не имеют входов.

5.2.1. Источник постоянного сигнала (константа), рис.10, а.

Блок формирует постоянный сигнал заданной величины.

Параметр блока: *Constant Value* – значение константы.

5.2.2. Источник ступенчатого сигнала (*Step*), рис.10, б.

Блок формирует ступенчатый сигнал (рис.11.).



Рис.11. Ступенчатый сигнал.

Параметры блока:

Step time – время скачка сигнала.

Initial value – начальное значение.

Final value – конечное значение.

5.2.3. Источник линейно изменяющегося сигнала (*Ramp*), рис.1.11, в.

Блок формирует сигнал, возрастающий или убывающий с постоянной скоростью (рис.12).

Параметры блока:

Slope – наклон (значение производной по времени).

Start time – время начала действия сигнала.

5.2.4. Источник синусоидального сигнала, рис.10, г.

Блок формирует синусоидальный сигнал с заданной частотой, амплитудой и начальной фазой.

Параметры блока:

Amplitude – амплитуда.

Frequency (rad/sec) – частота в рад/с.

Phase (rad) – начальная фаза в радианах.

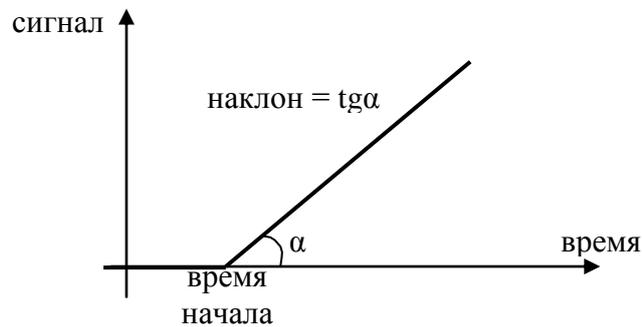


Рис.12. Линейно изменяющийся сигнал.

5.2.5. Графический индикатор сигналов, рис.10, д.

Индикатор предназначен для наблюдения результатов моделирования – временных графиков величин модели. Блок имеет один вход, куда подается исследуемый сигнал модели, и не имеет выходов. В модели можно использовать только один индикатор. Наблюдение нескольких графиков в одном окне осуществляется с помощью мультиплексора (см. пункт 5.6). После того как расчет модели произведен компьютером, можно посмотреть результат, для чего необходимо выполнить двойной щелчок по значку индикатора. В результате раскрывается графическое окно с графиком сигнала в функции времени.

5.2.6. Мультиплексор, рис.10,е.

Мультиплексор имеет несколько входов, число которых определяется пользователем, и один выход. Мультиплексор объединяет несколько сигналов в один векторный сигнал, который передается в модели по одной линии. Использование мультиплексора позволяет подать на индикатор несколько сигналов и наблюдать их графики на одной координатной плоскости.

Параметр блока: *Number of inputs* – число входов.

Остальные блоки (рис.10, ж–к) представляют собой преобразователи сигналов.

5.2.7. Линейное динамическое звено, рис.10, ж.

Параметры блока:

Numerator – массив коэффициентов числителя передаточной функции.

Denominator – массив коэффициентов знаменателя передаточной функции.

Коэффициенты числителя и знаменателя передаточной функции задаются по тем же правилам, как в *Control System Toolbox* (см. пункт 2.1). После ввода параметров передаточная функция показывается внутри значка блока.

5.2.8. Пропорциональное звено, рис.10, з.

Параметр блока: *Gain* – коэффициент передачи. Блок умножает сигнал на величину *Gain*.

5.2.9. Звено запаздывания, рис.10, и.

Параметр блока: *Time delay* – время задержки. Сигнал на выходе блока повторяет по форме сигнал на входе, но запаздывает во времени на величину *Time delay*.

5.2.10. Сумматор, рис.10, к.

Выполняет алгебраическое суммирование (сложение или вычитание) заданного числа входных сигналов. Параметр блока: *List of signs* – список знаков. В список знаков записываются плюсы и минусы без пробелов (например +-++). Тем самым определяется число входов сумматора, и знак каждого слагаемого.

5.3. Действия с блоками.

5.3.1. Перетаскивание блока из окна библиотеки в окно модели.

Перетаскивание блока выполняется с помощью мыши (удерживая левую кнопку).

5.3.2. Выделение блоков.

Блок может быть выделенным или невыделенным. Для выделения блока выполняется однократный щелчок левой кнопкой мыши по значку блока. Выделение показывается четырьмя квадратными метками по углам значка блока (рис.13,а). Для выделения нескольких блоков выполняется однократный щелчок мышью по значкам блоков с удержанием клавиши *Shift* или путем обведения прямоугольного участка окна рамкой.

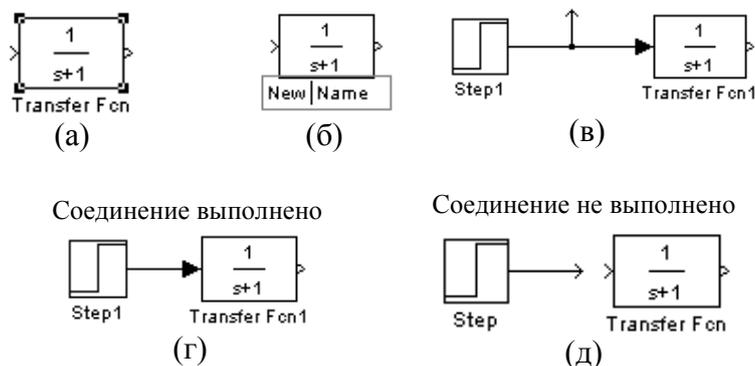


Рис.13. Основные действия с блоками Simulink.

5.3.3. Удаление блоков.

Нажатие клавиши *Delete* приводит к удалению всех выделенных блоков.

5.3.4. Изменение размеров блока.

Значок блока можно растягивать, захватив мышью за квадратные угловые метки.

5.3.5. Изменение имени блока.

Чтобы ввести новое имя блока выполняется однократный щелчок левой кнопкой мыши по старому имени. Имя блока обводится рамкой и появляется курсор (рис.13,б). После этого можно редактировать имя. Не допускается отсутствие имени блока (пустая строка) и наличие в одном окне блоков с одинаковыми именами.

5.3.6. Вращение блока.

При выполнении щелчка правой кнопкой мыши по значку блока появляется всплывающее меню блока, где находится подменю *Format*. В подменю *Format* содержатся команды: *Rotate block* – вращение блока на 90° по часовой стрелке, *Flip block* – разворот блока на 180°, *Flip name* – переборка имени на другую сторону блока.

5.3.7. Создание копии блока.

Для создания копии необходимо захватить блок, удерживая правую кнопку мыши и перетащить на свободное место окна.

5.4. Сборка схемы модели.

5.4.1. Проведение соединительных линий.

Для соединения выхода одного блока с входом другого указатель мыши наводится на исходную точку и затем проводится линия (удерживая левую кнопку мыши). Когда линия доведена до конечной точки, кнопка мыши отпускается. Жирный конец стрелки означает, что соединение выполнено (рис.13,г). Если линия осталась не подключенной, конец стрелки будет тонким (рис.13,д). Неподключенную стрелку затем можно продолжить. Линии можно захватывать мышью и изменять их конфигурацию.

5.4.2. Отделение блока от линии.

Для отделения блока он захватывается мышью с удержанием клавиши *Shift* и перетаскивается на другое место.

5.4.3. Удаление линий.

Линии, как и сами блоки, можно выделять. После нажатия клавиши *Delete* выделенные линии удаляются.

5.4.4. Создание узлов.

Для создания узла на линии новая линия тянется от выбранной точки с удержанием правой кнопки мыши (рис.13,в).

5.5. Управление моделированием.

5.5.1. Установка параметров моделирования.

В главном меню окна модели в подменю *Simulation* (рис.15, указатель 3) находится пункт *Simulation parameters....* Его запуск приводит к появлению окна параметров моделирования. Основные параметры находятся на вкладке *Solver* (рис.14).

В области *Simulation time* (время моделирования) задаются параметры *Start time* – время начала моделирования и *Stop time* – время окончания

моделирования. Параметр *Start time* обычно всегда задается равным нулю, а параметр *Stop time* выбирается исходя из предположительного времени исследуемого процесса в системе. В области *Solver options* задается способ моделирования (переключатель *Type*) и метод расчета (второй переключатель). Во всех лабораторных работах состояние этих переключателей остается неизменным: *Fixed Step* (постоянный шаг) и *ode5*; изменять эти режимы не следует. Параметр *Fixed step size* – это величина шага расчета (по времени). Шаг должен задаваться достаточно малым, для того чтобы модель могла рассчитывать быстрые изменения величин в переходных процессах. Величина шага расчета для каждой работы будет задана преподавателем. Из всех параметров студент будет изменять по собственному усмотрению только параметр *Stop time*.

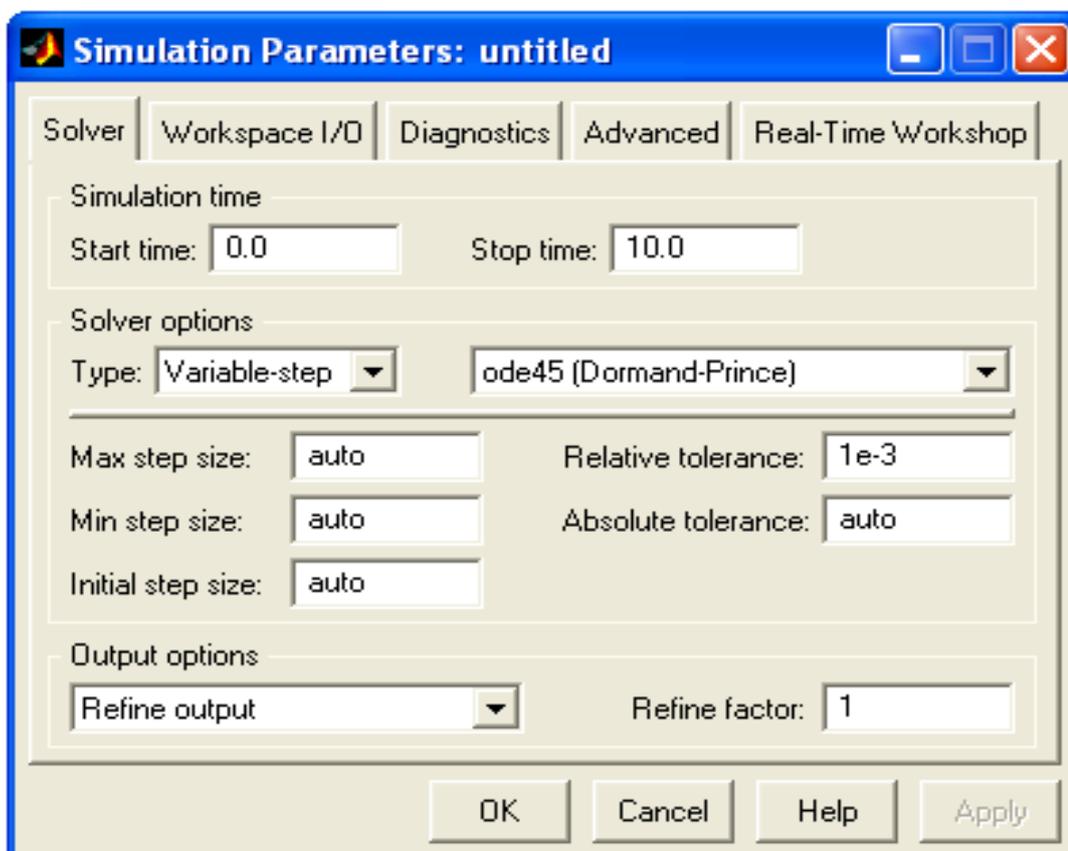


Рис.1.14. Окно параметров моделирования.

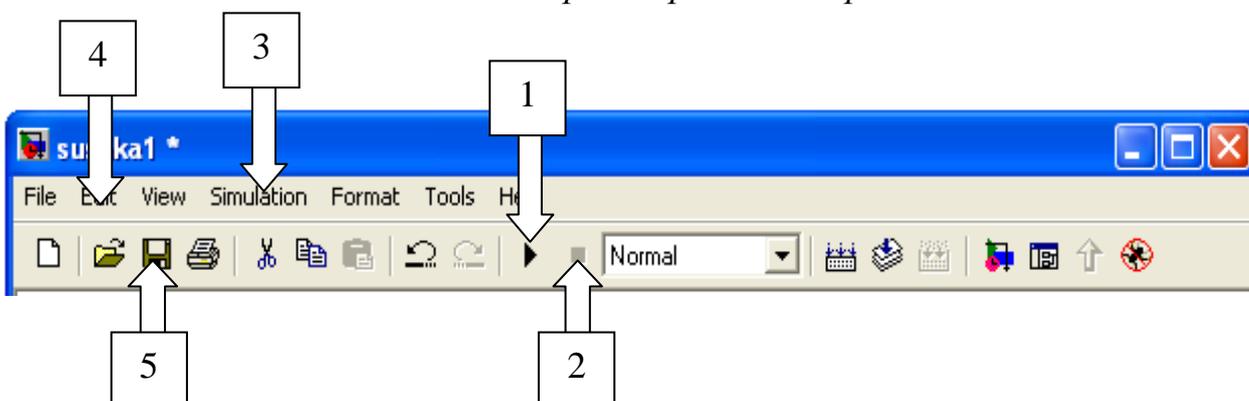


Рис.15. Меню окна модели.

5.5.2. Запуск и остановка моделирования.

После того, как схема модели собрана, заданы все параметры блоков и параметры моделирования, можно запустить компьютерный расчет модели. Для запуска удобно использовать кнопку *Start* (рис.1.16, указатель 1) на панели кнопок окна модели. Ход процесса моделирования показывает индикатор в строке состояния окна модели. Расчет останавливается, когда время моделирования достигнет заданного параметра *Stop Time*. Если необходимо досрочно прекратить расчет, то используется кнопка *Stop* (рис.1.16, указатель 2). Когда расчет уже идет, кнопка *Start* превращается в кнопку *Pause* (пауза). Режим паузы позволяет возобновить расчет с того места, где он был остановлен. Когда расчет окончен, можно открыть индикатор и работать с графиками процессов.

5.6. Сохранение модели.

Модель сохраняется на диске в файле с расширением *mdl*. Для сохранения модели используйте кнопку *Save* (рис.15, указатель 5). Для сохранения графического изображения схемы модели используйте команду *Copy model* из подменю *Edit* главного меню (рис.15, указатель 4). Данная команда копирует изображение модели в буфер обмена. Затем изображение можно вставить, например, в редактор *Paint*.

ЗАДАНИЯ

Задание 1. Вычислите несколько произвольно заданных числовых выражений, используя *MATLAB*.

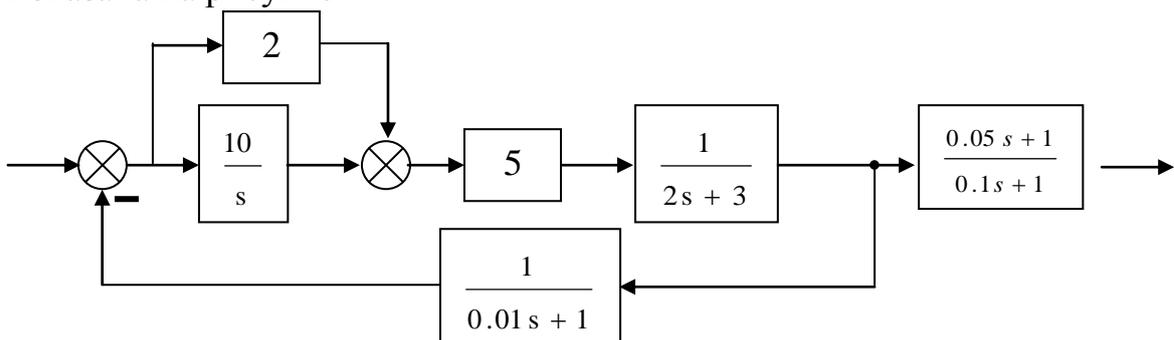
Задание 2. Создайте несколько массивов различными способами (см. комментарии к примеру 3) и выполните с ними произвольные действия.

Задание 3. Выведите на экран список переменных рабочего пространства и сохраните рабочее пространство в файле с произвольным именем; затем удалите все переменные из рабочего пространства и убедитесь, что оно очищено; снова загрузите сохраненное рабочее пространство.

Задание 4. Создайте объекты с передаточными функциями:

$$\frac{0.8s + 5}{s^3 + s^2 + 6s + 4}, \frac{2s}{3s + 5}, \frac{10}{s^2}.$$

Задание 5. Создайте модель системы, структурная схема которой показана на рисунке.



РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимей И.В. Визуальное моделирование в среде МАТЛАБ. Учеб.курс.-С-Петербург, М., Харьков, Минск: 1988. -232с.
2. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. –М.: Химия. 1982. -288с.
3. Луговской И.И., Синявский К.С.. Дубс Р.В. Конспект лекций по курсу “Математическое описание химико-технологических процессов”.
www.xtf.opu.odessa.ua/
4. Ресурс InterNet: <http://www.bmik.ru/vm/inform.htm>. Кафедра вычислительных методов, 119899, М.: Воробьевы горы, МГУ, факультет ВмиК.
5. Ресурс InterNet: <http://www.bmik.ru/vm/inform.htm>. Математическое моделирование в век компьютеров. Новосельцев В.Н. Институт проблем управления РАН, М. 117342 Профсоюзная 65.
6. Ресурс InterNet: <http://vissim.nm.ru/help/vissim.htm>. Комплексный обзор ресурса.

