



# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В СРЕДЕ **MATLAB**

Специальность: «Электрические машины и аппараты»

Семестр: 7

# Рейтингова система

## 1) Комп'ютерні практикуми

Ваговий бал – 6.

Максимальна кількість балів за всі комп'ютерні практикуми дорівнює  $12 \times 6 = 72$  бали.

За кожний практикум можна отримати бали згідно наступного рейтингу:

Повне виконання обчислень в системі MATLAB чи FEMM – 6 балів.

Виконання обчислень з незначними помилками – 4... 5 балів.

Суттєві помилки в обчисленні але повне розуміння теми і матеріалу комп'ютерного практикуму – 2 ... 3 балів.

Суттєві помилки в обчисленні та часткове розуміння теми і матеріалу комп'ютерного практикуму – 1 бал.

Комп'ютерний практикум у цілому невиконаний – 0 балів.

## 2) Модульний контроль

Ваговий бал – 28.

Максимальна кількість балів за модульні контрольні роботи дорівнює  $1 \times 28 = 28$  балів.

Модульний контроль оцінюється згідно наступного рейтингу:

- Повне і точне виконання – 28 балів.
- Відповіді неточні, є окремі несуттєві помилки – 15...27 балів.
- Відповіді неповні, є окремі суттєві помилки – 1...14 балів.
- Відповіді неправильні – 0 балів.

## 3) Штрафні та заохочувальні бали за:

- відсутність на комп'ютерному практикумі або лекції без поважної причини мінус 2 бали.
- розробка оригінального способу реалізації програмного завдання плюс 1...3 бали.
- відповіді на лекційних заняттях плюс 1...3 бали.

## Розрахунок шкали рейтингу:

Сума вагових балів протягом семестру складає:

$$R_c = 72 + 28 = 100 \text{ балів.}$$

# Рейтингова оцінка

Необхідною умовою допуску до заліку є зарахування усіх комп'ютерних практикумів та стартовий рейтинг  $r_c$  не менше 40% від  $R_c$ , тобто *40 балів*.

$R_D = r_c$	Оцінка ECTS	Традиційна оцінка
$\geq 95$	A	зараховано
85...94	B	
75...84	C	
65...74	D	
60...64	E	
40...59	F <sub>x</sub>	незараховано
$R_c < 40$ або не виконані інші умови допуску до заліку	F	не допущений



# *Тема 1.* Общие сведения о системе **MATLAB**

Система **MatLAB** (сокращение от MATrix LABoratory – матричная лаборатория) представляет собой интерактивную компьютерную систему для выполнения инженерных и научных расчетов, ориентированную на работу с массивами данных.

## 1.1. История развития

Система **MatLAB** создана *Молером* и впервые начала использоваться в конце 70-х годов.

Расцвет ее применения начался в конце 80-х, когда *Джон Литл* из фирмы MathWork Inc. (США, г.Нейтик, штат Массачусетс) разработал версии системы для компьютеров класса IBM PC, в особенности после появления версии 4.0.

Последние версии **MatLAB**, – это чрезвычайно развитые системы, содержащие огромную совокупность процедур и функций, необходимых инженеру и научному работнику для осуществления сложных численных расчетов, моделирования поведения технических и физических систем, оформления результатов этих расчетов в наглядном виде.

## 1.2. Основные возможности

Система MatLAB:

- содержит встроенную матричную и комплексную арифметику;
- поддерживает выполнение операций с векторами, матрицами и массивами данных;
- реализует спектральное разложение;
- поддерживает работу с алгебраическими полиномами, решение систем уравнений и задач оптимизации;
- реализует численное интегрирование и дифференцирование;
- имеет возможность построения разнообразных видов графиков, трехмерных поверхностей и линий уровня;
- выполняет операции с векторами и матрицами даже в режиме непосредственных вычислений без какого-либо программирования.
- Основная особенность системы – её "открытость", то есть легкость её модификации и адаптации к конкретным задачам пользователя (пользователь может ввести в систему любую новую команду, оператор или функцию и пользоваться ими так же, как и встроенными операторами и функциями).



## 1.3. Сферы применения

- Электротехника, радиотехника, гидродинамика, аэродинамика, акустика и т.д.
- Математическое моделирование динамических систем и устройств;
- Работа с сигналами, для расчета и проектирования аналоговых и цифровых фильтров, для построения их частотных, импульсных и переходных характеристик;
- Проектирование электронных устройств;
- Проектирование САУ, в том числе электромеханических;
- Моделирование динамических процессов в ЭМПЭ и т.д.

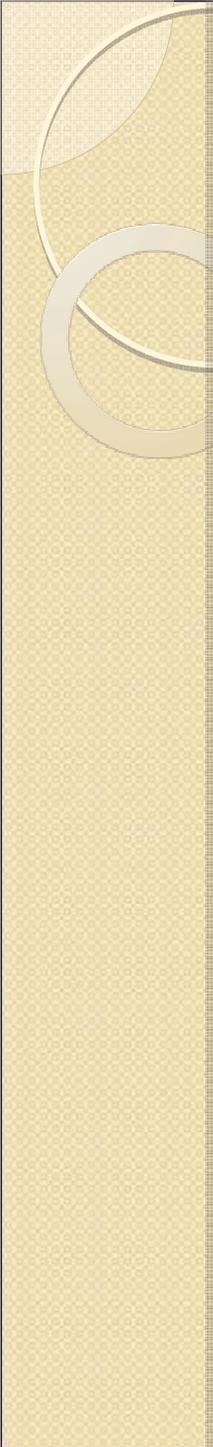
## 1.4. Режимы работы

Работа в среде **MatLab** может осуществляться в двух режимах:

- *в режиме прямых вычислений (калькулятора)*, когда вычисления осуществляются сразу после набора очередного оператора или команды MatLab; при этом значение результатов вычисления могут присваиваться некоторым переменным, или результаты получаются непосредственно, без присваивания (как в обычных калькуляторах);
- путем вызова имени программы, написанной на языке MatLAB, предварительно составленной и записанной на диске, которая содержит все необходимые команды, обеспечивающие ввод данных, организацию вычислений и вывод результатов на экран (*программный режим*).

В обоих режимах пользователю доступны практически все вычислительные возможности системы, в том числе по выводу информации в графической форме.

Программный режим позволяет сохранять разработанные вычислительные алгоритмы и, таким образом, повторять вычисления при других входных данных.



## 1.5. Интеграция с другими программными системами

С системой MatLAB могут интегрироваться такие системы как:

- MathCad;
- Maple V (система символьной математики Symbolic Math Toolbox);
- Mathematica;
- Word;
- Excel

## 1.6. Средства программирования

MatLab – это язык программирования высокого уровня ориентированный на математические расчеты.

MatLAB имеет черты таких языков программирования как: BASIC, Pascal, FORTRAN, СИ++.

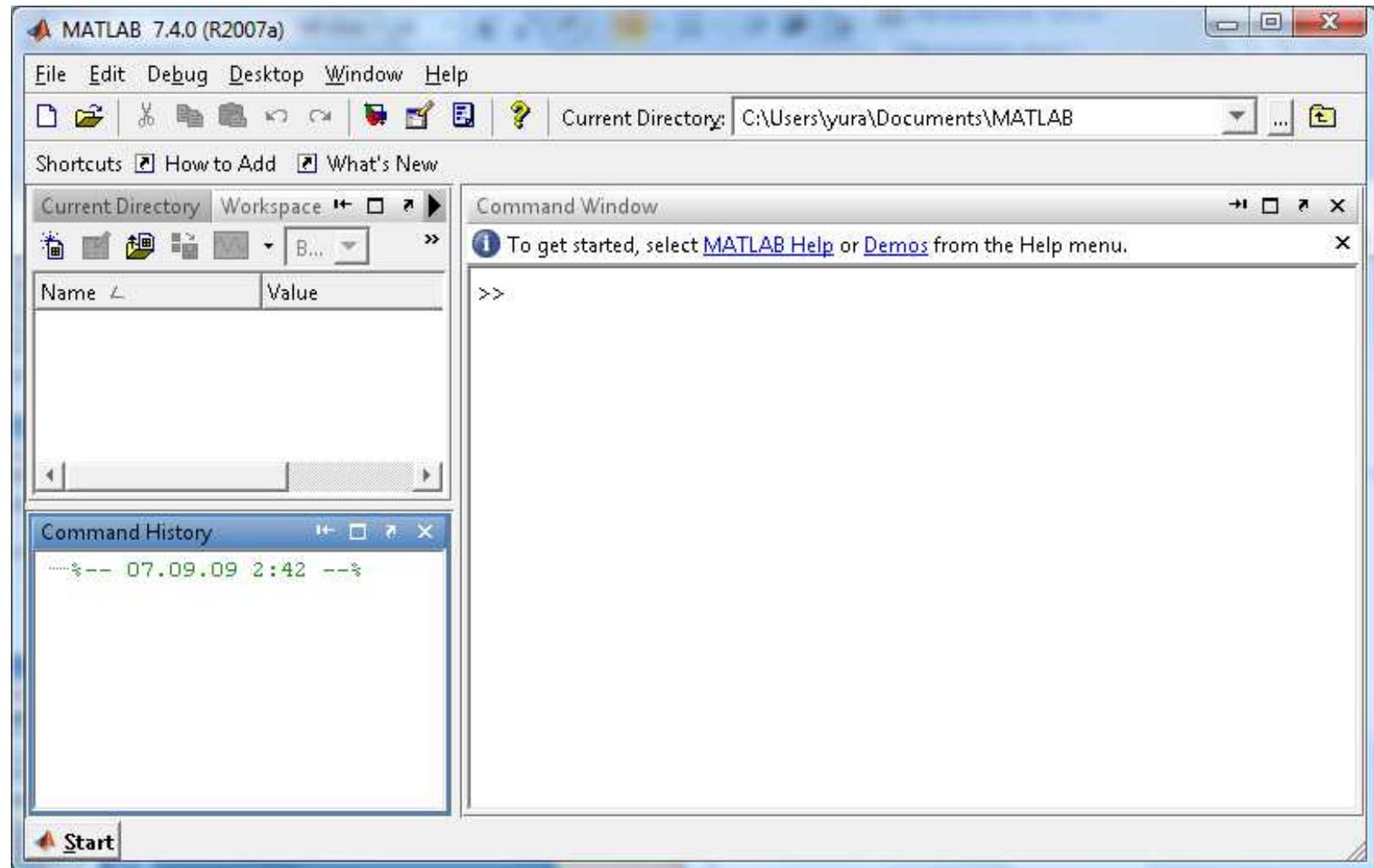
В системе MatLAB, как и в языке FORTRAN, все переменные являются *локальными*, то есть действуют лишь в границах той программной единицы (процедуры, функции или главной, управляющей программы), где им присвоены некоторые конкретные значения.

В отличие от языков BASIC и Pascal, в языке MatLAB нет *глобальных переменных*, действие которых распространялась бы на все программные единицы.

Особенностью системы MatLAB является то, что её интерпретатор позволяет в одном и том же сеансе работы выполнять несколько самостоятельных программ, причем все переменные, используемые в этих программах, являются общими для этих программ и образуют общее *рабочее пространство (WorkSpace)*. Это позволяет более рационально организовывать сложные (громоздкие) вычисления.

# Тема 2. **MatLab** в режиме прямых вычислений

## 2.1. Командное окно



## 2.2. Операции с числами

### 2.2.1. Ввод действительных чисел

#### Правила ввода чисел:

1. для отделения дробной части мантиссы числа используется десятичная точка (вместо запятой при обычной записи);
2. десятичный показатель числа записывается в виде целого числа после предшествующей записи символа "e";
3. между записью мантиссы числа и символом "e" (который отделяет мантиссу от показателя) не должно быть никаких символов, включая и символ пропуска.

Пример: Ведём число  $1.20357651e-17$ .

Результат:  $ans = 1.2036e-017$

При этом результат выводится в формате, который определяется предварительно установленным форматом представления чисел. Этот формат может быть установлен с помощью команды ***Preferences/Command Window*** меню ***File***

Один из участков окна имеет название *Numeric Format*.

Предусмотрены такие форматы:

*Short (default)* – краткая запись (применяется по умолчанию);

*Long* – длинная запись;

*Hex* – запись в виде шестнадцатиричного числа;

*Bank* – запись до сотых долей;

*Plus* – записывается только знак числа;

*Short E* – краткая запись в формате с плавающей запятой;

*Long E* – длинная запись в формате с плавающей запятой;

*Short G* – вторая форма краткой записи в формате с плавающей запятой;

*Long G* – вторая форма длинной записи в формате с плавающей запятой;

*Rational* – запись в виде рациональной дроби.

Замечания:

1. введенное число и результаты всех вычислений в системе MatLAB сохраняются в памяти ПК с относительной погрешностью около  $2 \cdot 10^{-16}$  (т. е. с точными значениями в 15 десятичных разрядах);
2. диапазон представления модуля действительных чисел лежит в диапазоне между  $10^{-308}$  и  $10^{+308}$

## 2.2.2. Простейшие арифметические действия

- + - сложение;
- - вычитание;
- \* - умножение;
- / - деление слева направо;
- \ - деление справа налево;
- ^ - возведение в степень.

Использование MatLAB в режиме калькулятора может происходить путем простой записи в командную строку последовательности арифметических действий с числами, то есть обычного арифметического выражения

Пример:

```
>> (4.5)/2*7.23 - 3.14*10.4
```

## Правила вывода промежуточной информации в командное окно

1. если запись оператора не заканчивается символом ';', результат действия этого оператора сразу же выводится в командное окно;
2. если оператор заканчивается символом ';', результат его действия не отображается в командном окне;
3. если оператор не содержит знака присваивания (=), т. е. является просто записью некоторой последовательности действий над числами и переменными, значение результата присваивается специальной системной переменной по имени **ans**;
4. полученное значение переменной **ans** можно использовать в следующих операторах вычислений, применяя это имя **ans**; при этом следует помнить, что значение системной переменной **ans** изменяется после действия очередного оператора без знака присваивания;
5. в общем случае форма представления результата в командном окне имеет вид:

*<Имя переменной> = <результат>*

*Замечание:* Имя переменной может содержать до **30** символов и должно не совпадать с именами функций, процедур системы и системных переменных. При этом система различает большие и маленькие буквы в переменных.



Если выражение справа от знака не число или арифметическое выражение, а строка символов, то эти символы нужно заключить апострофы.

Пример: `>>F='Символ'`.

### **Зарезервированные переменные:**

- *i, j* – мнимая единица (корень квадратный из -1);
- *pi* – число  $\pi$  (сохраняется в виде 3.141592653589793);
- *inf* – обозначение машинной бесконечности;
- *NaN* – обозначение неопределенного результата (например, типа 0/0 или inf/inf);
- *eps* – погрешность операций над числами с плавающей запятой;
- *ans* – результат последней операции без знака присваивания;

Эти переменные можно использовать в математических выражениях.

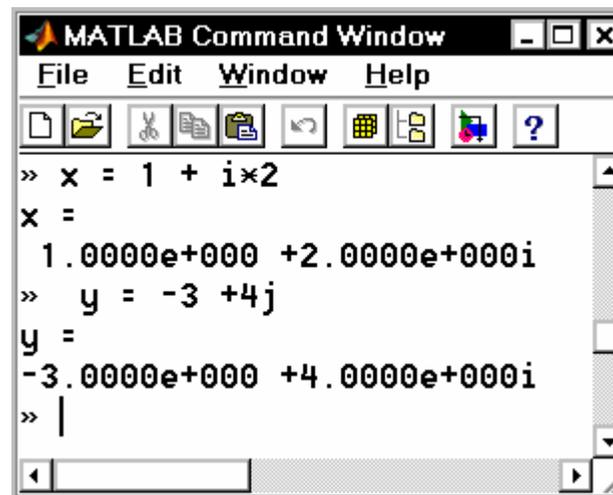
## 2.2.3. Ввод комплексных чисел

Ввод с клавиатуры значения комплексного числа осуществляется путем записи в командное окно строки вида:

*<имя комплексной переменной> = <значение ДЧ>  
+ i [j] \* <значение МЧ>*,

где ДЧ – действительная часть комплексного числа, МЧ – мнимая часть.

Например:



```
MATLAB Command Window
File Edit Window Help
[Icons]
>> x = 1 + i*2
x =
 1.0000e+000 +2.0000e+000i
>> y = -3 +4j
y =
-3.0000e+000 +4.0000e+000i
>> |
```

## 2.2.4. Элементарные математические функции

Общая форма использования функции в MatLAB:

*<имя результата> = <имя функции>(<перечень аргументов или их значений>)*

**Тригонометрические и гиперболические функции:**

$\sin(Z)$  – синус числа  $Z$ ;

$\sinh(Z)$  – гиперболический синус;

$\text{asin}(Z)$  – арксинус (в радианах, в диапазоне от  $-\pi/2$  к  $+\pi/2$ );

$\text{asinh}(Z)$  – обратный гиперболический синус;

$\cos(Z)$  – косинус;

$\cosh(Z)$  – гиперболический косинус;

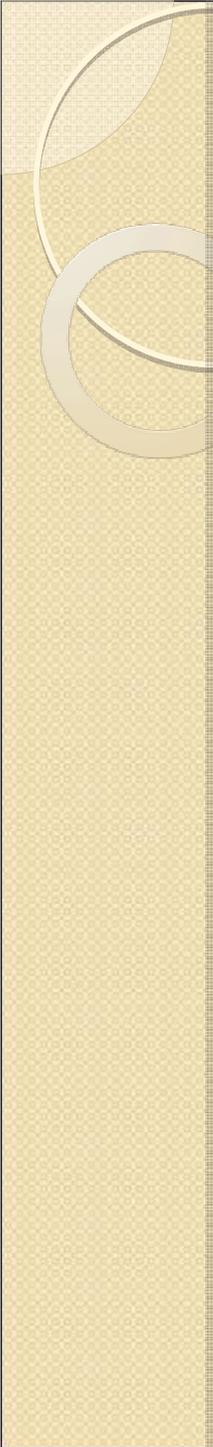
$\text{acos}(Z)$  – арккосинус (в диапазоне от 0 к  $\pi$ );

$\text{acosh}(Z)$  – обратный гиперболический косинус;

$\tan(Z)$  – тангенс;

$\tanh(Z)$  – гиперболический тангенс;

$\text{atan}(Z)$  – арктангенс (в диапазоне от  $-\pi/2$  к  $+\pi/2$ );



$atanh(Z)$  – обратный гиперболический тангенс;

$sec(Z)$  – секанс;

$csc(Z)$  – косеканс;

$sech(Z)$  – гиперболический секанс;

$asec(Z)$  – арксеканс;

$asech(Z)$  – обратный гиперболический секанс;

$csch(Z)$  – гиперболический косеканс;

$acsc(Z)$  – арккосеканс;

$acsch(Z)$  – обратный гиперболический косеканс;

$cot(Z)$  – котангенс;

$coth(Z)$  – гиперболический котангенс;

$acot(Z)$  – арккотангенс;

$acoth(Z)$  – обратный гиперболический

## Экспоненциальные функции

$\exp(Z)$  – экспонента числа  $Z$ ;

$\log(Z)$  – натуральный логарифм;

$\log_{10}(Z)$  – десятичный логарифм;

$\log_a(Z) = \log(Z) / \log(a)$  – логарифм по любому основанию;

$\text{sqrt}(Z)$  – квадратный корень из числа  $Z$ ;

$\text{abs}(Z)$  – модуль числа  $Z$ .

## Целочисленные функции

$\text{fix}(Z)$  – округление к ближайшему целому в сторону нуля;

$\text{floor}(Z)$  – округление к ближайшему целому в сторону отрицательной бесконечности;

$\text{ceil}(Z)$  – округление к ближайшему целому в сторону положительной бесконечности;

$\text{round}(Z)$  – обычное округление числа  $Z$  к ближайшему целому;

$\text{mod}(X, Y)$  – целочисленное деление  $X$  на  $Y$ ;

$\text{rem}(X, Y)$  – вычисление остатка от деления  $X$  на  $Y$ ;

$\text{sign}(Z)$  – вычисление сигнум-функции числа  $Z$  (0 при  $Z=0$ , -1 при  $Z<0$ , 1 при  $Z>0$ ).



## 2.2.5. Специальные математические функции

*gcd* – наибольший общий делитель;

*lcm* – наименьшее общее кратное;

*log2* – логарифм по основанию 2;

*pow2* – возведение 2 в указанную степень;

*rat* – представление числа в виде рациональной дроби;

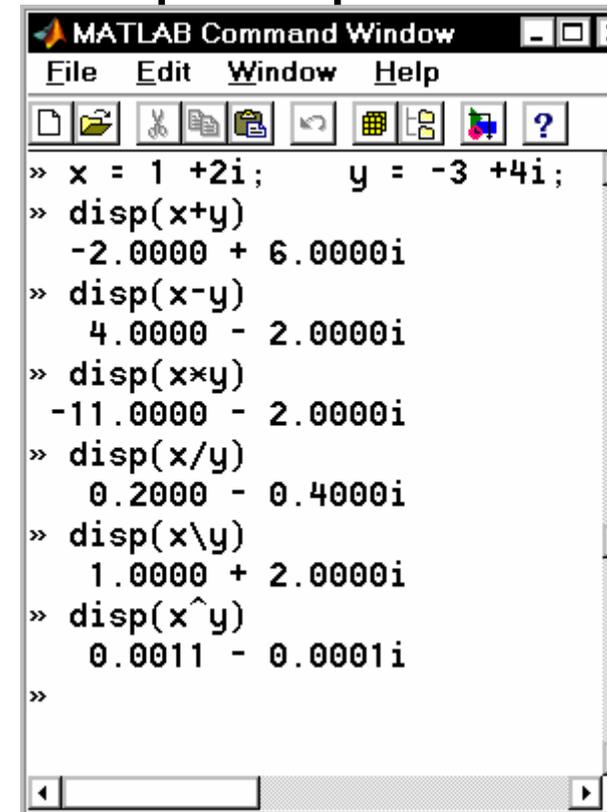
*rats* – представление чисел в виде рациональной дроби.

Со списком элементарных функций можно ознакомиться выполнив команду `help elfun`, а со списком специальных функций – `help specfun`.

## 2.2.6. Элементарные действия с комплексными числами

Простейшие действия с комплексными числами – сложение, вычитание, умножение, деление и возведение в степень – осуществляются при помощи обычных арифметических знаков  $+$ ,  $-$ ,  $*$ ,  $/$ ,  $\backslash$  и  $\wedge$  соответственно.

Пример.



```
MATLAB Command Window
File Edit Window Help
[Icons]
>> x = 1 +2i;    y = -3 +4i;
>> disp(x+y)
-2.0000 + 6.0000i
>> disp(x-y)
4.0000 - 2.0000i
>> disp(x*y)
-11.0000 - 2.0000i
>> disp(x/y)
0.2000 - 0.4000i
>> disp(x\y)
1.0000 + 2.0000i
>> disp(x^y)
0.0011 - 0.0001i
>>
```

Примечание. В примере использована функция **disp** (*om* слова 'дисплей'), которая тоже выводит в командное окно результаты вычислений. При этом численный результат выводится уже без указания имени переменной или *ar*

## 2.2.7. Функции комплексного аргумента

Помимо основных и MatLAB есть несколько дополнительных функций, рассчитанных только на комплексный аргумент:

*real*( $Z$ ) – выделяет действительную часть комплексного аргумента  $Z$ ;

*imag*( $Z$ ) – выделяет мнимую часть комплексного аргумента;

*angle*( $Z$ ) – вычисляет значение аргумента комплексного числа  $Z$  (в радианах в диапазоне от  $-\pi$  до  $+\pi$ );

*conj*( $Z$ ) – выдает число, комплексно сопряженное относительно  $Z$ .