

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет  
Кафедра конструирования и технологии  
радиоэлектронных средств

# Основы применения пакета MathCAD при проектировании ЭС

*Методические указания к лабораторной работе  
по курсу «Практикум по САПР»*

Составитель  
Г.Д. ДАВЫДОВ



Владимир  
2007

УДК 681.51/.54

ББК 32.988.-5

О72

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент

Владимирского государственного университета

*В. Р. Асланяни*

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Владимирского государственного университета

О72

**Основы** применения пакета MathCAD при проектировании ЭС : метод. указания к лабораторной работе по курсу «Практикум по САПР» / Владим. гос. ун-т ; сост. Г. Д. Давыдов. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 44 с.

Содержат требования по подготовке студентов к выполнению лабораторной работы, вариантное лабораторное задание, контрольные вопросы, список литературы и краткое описание пакета MathCAD. В описании пакета представлена структура, интерфейс, операторы и методы их применения, наиболее часто используемые при разработке электронных средств.

Предназначены для подготовки бакалавров направления 210200 – проектирование и технология электронных средств, а также для студентов специальностей 210201 – проектирование и технология радиоэлектронных средств и 210202 – проектирование и технология электронно-вычислительных средств всех форм обучения. Могут быть полезны студентам других специальностей, студентам колледжей и инженерно-техническим работникам.

Табл. 7. Ил. 7. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.51/.54

ББК 32.988.-5

Цель лабораторной работы «Основы применения пакета *MathCAD* при проектировании ЭС» – изучение назначения пакета и интерфейса пользователя; освоение приемов работы с математическим, текстовым и графическим процессорами; приобретение навыков ввода формул, текста, расчетов и вывода результатов в среде *MathCAD* применительно к проектированию электронных средств (ЭС).

В процессе подготовки и выполнения работы необходимо:

- изучить пользовательский интерфейс пакета, основные переменные и операторы;
- освоить структуру и порядок ввода формул в среде *MathCAD*, включая особенности работы с формульным маркером.

## 1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Прежде чем приступить к лабораторной работе, следует предварительно проработать по данным методическим указаниям с привлечением рекомендованной литературы следующие вопросы:

- назначение и основные возможности математического пакета *MathCAD* и его интерфейс;
- способы ввода текста;
- общий вид формул в *MathCAD*, назначение формульного маркера и работа с ним, последовательность ввода формул;
- виды переменных и их особенности, основные операторы;
- встроенные функции и создание функций, определяемых пользователем.

1.1. Чтобы ускорить выполнение работы в лаборатории и уложиться в аудиторное время, необходимо в процессе работы выполнять ввод в основном с клавиатуры, а не с помощью инструментальных панелей. Панелями следует пользоваться только

при необходимости. Для этого требуется **выучить наизусть** комбинации клавиш для ввода следующих операторов:

- возведение в степень        (^);
- нижний индекс                (⏟);
- локальное присвоение        (:);
- горизонтальное двоеточие    (;).

При необходимости повторить по лекциям или учебникам разделы математики, относящиеся к теории комплексных чисел.

1.2. По результатам подготовки требуется составить заготовку отчета в электронной форме. Она должна содержать титульный лист, цель работы, теоретическую часть и лабораторное задание. Теоретическая часть готовится каждым студентом самостоятельно и может содержать краткое описание основных приемов работы с пакетом и его свойств, которые студенту представляются наиболее важными и могут помочь при защите лабораторной работы. Текст теоретической части пишется студентом на основании его знаний, приобретенных в процессе подготовки к лабораторной работе. Копирование материалов других авторов не допускается.

1.3. Лабораторное задание предполагает выполнение каждым студентом собственного варианта. Исходные данные по вариантам приведены в таблице. Номер варианта соответствует номеру фамилии студента в учебном журнале академической группы. Данные варианта – часть лабораторного задания, поэтому они обязательно приводятся в этом разделе отчета.

## Варианты задания

Но- мер вари- анта	Константы	Но- мер фор- мулы	Формула
1	$G = 5$ $\alpha = 30^\circ \quad t = 0$ $b = 2 \quad C = 3$ $a = 0,5$ $\omega = 2\pi \cdot 10^6$ (рад/с)	1	$X = \frac{\cos \omega t}{C - a} + \frac{1 - \sin \alpha}{a + b}$
		2	$Y = \frac{\sqrt[3]{G + C}}{4a} + \frac{\sin(\omega t - \alpha)^2}{b}$
		3	$Z = \frac{G + jC}{a + jb}$
2	$\psi = 45^\circ$ $b = 4 \quad C = 1,5$ $a = 2 \quad t = 0$ $\omega = 2\pi \cdot 200 \cdot 10^3$ (рад/с)	1	$X = \frac{1 - b \cos(\omega t - \psi) + 2^{-C}}{2C} +$ $+ \frac{\cos^2 \omega t - 1}{a}$
		2	$Y = \frac{\sin(\omega t - 2\psi)}{15a} - \frac{0,07C}{0,5b}$
		3	$Z = (G - iC)(a + ib)$
3	$C = 0,15$ $\omega = 2\pi \cdot 10^6$ (рад/с) $a = 6 \quad b = 4$ $t = 0$ $Z1 = 3 - j4$	1	$X = \frac{2 \sin \omega t - 1}{0,5 \cdot \sqrt{\frac{1}{5}}} - \frac{\cos(2\omega t - 15^\circ) - 0,5}{3C}$
		2	$Y = \frac{30C - \operatorname{tg} 15^\circ}{a + b} - \frac{(1 + \cos \omega t)^2}{a - b}$
		3	$Z = Z1(a + jb)$

Варианты задания (продолжение)

Но- мер ва- ри- анта	Константы	Но- мер фор- му- лы	Формула
4	$E = 3$ $L = 10$ мГн $C = 5000$ пФ $R = 7$ $\omega = 2\pi \cdot 10^5$ $\psi = \pi/4$ $a = 5$ $b = 4$ $t = 0$	1	$u = \frac{E}{\sqrt{(\omega L - 1/\omega C)^2 + R^2}} \cos(\omega t - \psi) + \frac{E + 2}{a - \sqrt{3}}$
		2	$i = \frac{1 + 2 \cos \omega t}{1 + \cos 20^\circ} + \frac{\sin \omega t - 1}{2 - \sqrt{3}}$
		3	$Z = (a + jb)^2$
5	$C = 5$ $a = 3$ $b = 2$ $G = 4$ $t = 0$ $\omega = 2\pi \cdot 10^4$ (рад/с)	1	$X = \frac{\cos \omega t}{C - a} + \frac{\sin \omega t - 1}{a}$
		2	$Y = \frac{\sqrt[3]{G + C}}{4a} + \frac{(1 + \cos \omega t)^2}{a - b}$
		3	$Z = 1/(a + jb)^2$
6	$G = 5$ $\alpha = 60^\circ$ $t = 0$ $b = 0,5$ $C = 3$ $a = 0,5$ $\omega = 2\pi \cdot 10^6$ (рад/с)	1	$X = \frac{1 - b \cos(\omega t - \alpha) + 2^{-C}}{2C} + \frac{1 - \sin \alpha}{a + b}$
		2	$Y = \frac{(1 + \cos \omega t)^2}{a - b} - \frac{0,07C}{0,5b}$
		3	$Z = \frac{G - jb}{a + jC}$
7	$\psi = 45^\circ$ $b = 4$ $C = 1,5$ $a = 2$ $t = 0$ $\omega = 2\pi \cdot 200 \cdot 10^3$ (рад/с) $G = 6$	1	$X = \frac{\cos \omega t}{C - a} + \frac{\cos(2\omega t - 15^\circ) - 0,5}{3C}$
		2	$Y = \frac{\sin(\omega t - 2\psi)}{15a} - \frac{(1 + \cos \omega t)^2}{a - b}$
		3	$Z = (C - jG)^2$

Варианты задания (продолжение)

Но- мер ва- ри- анта	Константы	Но- мер фор- му- лы	Формула
8	$\alpha = 30^\circ$ $t = 0$ $b = 2,5$ $C = 3$ $a = 0,5$ $\omega = 2\pi \cdot 10^8$ (рад/с)	1	$X = \frac{2 \sin \omega t - 1}{0,5 \cdot \sqrt{\frac{1}{5}}} + \frac{1 - \sin \alpha}{a + b}$
		2	$Y = \frac{(1 + \cos \omega t)^2}{a - b} - \frac{0,07C}{0,5b}$
		3	$Z = (a - i\sqrt{2} \cdot b)(a + ib)$
9	$C = 5$ $a = 2$ $b = 2$ $G = 4$ $t = 0$ $\omega = 2\pi \cdot 10^4$ (рад/с) $\alpha = \pi/2$	1	$X = \frac{\cos(\omega t - \alpha)}{C - a} + \frac{2 \sin \omega t - 1}{1 + 0,5 \cdot \sqrt{\frac{1}{5}}}$
		2	$Y = \frac{30C - \operatorname{tg} 15^\circ}{a + b} - \frac{\sin^2 \omega t}{b}$
		3	$Z = (a - ib)(a + i3b)$
10	$C = 0,15$ $\omega = 2\pi \cdot 10^6$ (рад/с) $a = 6$ $b = 4$ $t = 0$ $\alpha = \pi/2$	1	$X = \frac{30C - \operatorname{tg} 15^\circ}{a + b} + \frac{1 - \sin \alpha}{a - b}$
		2	$Y = \frac{\sin^2(\omega t - \alpha)}{b} - \frac{(1 + \cos \omega t)^2}{a - b}$
		3	$Z = \frac{(4 - j3)^2}{5 - j4}$
11	$G = 5$ $\alpha = 30^\circ$ $t = 0$ $b = 2$ $C = 3$ $a = 0,5$ $f = 10$ МГц $E = 30$ $U = 10$ $R1 = 2$ $R2 = 3$	1	$X = \frac{E}{R1 + R2} + \frac{U \sin(2\pi f t + 30^\circ) + 1}{2 + R1}$
		2	$Y = \frac{\sqrt[3]{3G + 4C}}{4a} + \frac{\sin^2(2\pi f t - \alpha)}{b}$
		3	$Z = \frac{R1 - jC}{R2 + jb}$

Варианты задания (продолжение)

Но- мер ва- ри- анта	Константы	Но- мер фор- му- лы	Формула
12	$b = 4 \quad B = 1,5$ $\psi = 45^\circ \quad a = 2 \quad t = 0$ $\omega = 2\pi f$ $f = 2 \text{ МГц}$ $R1 = 5 \quad R2 = 3$ $U_m = 10$ $L = 3 \text{ мкГн}$ $C = 1000 \text{ пФ}$	1	$X = \frac{1 - b \cos(\omega t - \psi) + 2^{-C}}{2B} +$ $+ \frac{\cos^2 \omega t - 1}{a}$
		2	$Y = \frac{U_m \sin(\omega t - 2\psi)}{2R1} - \frac{U_m}{R1 - R2}$
		3	$Z = (R1 - \frac{1}{j2\pi\omega C})(R2 + i2\pi fL)$
13	$U1 = 4 \quad U2 = 3$ $\psi = 45^\circ \quad a = 2$ $t = 0 \quad f = 2 \text{ МГц}$ $R1 = 7 \quad R2 = 6$ $U_m = 10$ $\tau = 5 \text{ мкс}$ $t = 0$	1	$X = \frac{U1 \sin 2\pi f t - U2 \cos(2\pi f t - \psi)}{2R1 + R2} +$ $+ \frac{U1 \cos 2\pi f t - U2}{R2}$
		2	$Y = \frac{U_m \sin(2\pi f t - 2\psi) + U_m}{2R1 + R2} -$ $- \frac{U_m (\sin^2(2\pi \frac{f}{2} t) - 1)}{R1 - R2}$
		3	$Z = \frac{R1}{1 + j2\pi f \tau}$
14	$t = 0$ $f = 2 \text{ МГц}$ $\tau = 15 \text{ мс}$	1	$X = \frac{1,5^2 + \sin(2\pi f t + 20^\circ)}{4 + \sqrt{3}} - \frac{\sqrt{3} + 1}{e^2 - 3}$
		2	$Y = \frac{2^{1,5} + 3 \sin(2\pi f t - 30^\circ)}{0,5e + 1} +$ $+ 5^{\frac{5}{3}} \sin(2\pi f t - \frac{\pi}{2})$
		3	$Z = 8 \cdot \frac{1}{1 - j2\pi f \tau}$

Варианты задания (продолжение)

Но- мер ва- ри- анта	Константы	Но- мер фор- му- лы	Формула
15	$E = 4,5$ $U_m = 3$ $\psi = 45^\circ$ $a = 2$ $t = 0$ $f = 200$ кГц $R_1 = 3$ $R_2 = 7$ $U_m = 10$ $\tau = 2$ мс	1	$X = \frac{E^2 - 1}{R_1 + R_2} +$ $+ \frac{U_m (\sin^2(2\pi \frac{f}{2} t + \psi) - 1)}{R_1 - R_2}$
		2	$Y = 5^{\frac{5}{3}} \sin(2\pi f t - \frac{\pi}{2}) -$ $- \frac{U_m (\sin^2(2\pi \frac{f}{2} t) - 1)}{R_1 - R_2}$
		3	$K = \frac{1 + j2\pi f \tau}{1 - j2\pi f \tau}$
16	$\psi = 60^\circ$ $b = 3$ $t = 0$ $f = 3$ МГц $R_1 = 15$ $R_2 = 7$ $U_m = 9$	1	$X = \frac{b \cos(\omega t - \psi) + 2^{-C}}{2C} +$ $+ \frac{\sin(2\pi f t - \alpha)^2}{b}$
		2	$Y = \frac{U_m (\sin^2(2\pi \frac{f}{2} t) - 1)}{R_1 - R_2} -$ $- \frac{U_m (\sin^2(2\pi \frac{f}{2} t) - 1)}{R_1 + R_2}$
		3	$Z = R_1 (1 - \frac{j}{2\pi f R_1 C})$

Варианты задания (продолжение)

Но- мер ва- ри- анта	Константы	Но- мер фор- му- лы	Формула
17	$E = 3$ $U1=3 U2=6 a = 9$ $t=0 f=20 \text{ кГц}$ $\omega=2\pi f$ $R1=3 R2=7$ $U_m=10 L=4 \text{ мГн}$ $C=0,1 \text{ мкФ}$	1	$X = \frac{E^2 \sin(2\pi ft - 60^\circ)}{R1 + R2} +$ $+ \frac{\cos^2 \omega t - 1}{a}$
		2	$Y = \frac{\sqrt[3]{3G + 4C} - 1}{4a} + \frac{U1 \cos 2\pi ft - U2}{R2}$
		3	$Z = R1 + j(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})$
18	$U1=2 U2=1$ $\psi = 35^\circ t=0$ $a = 5 b=0,5$ $f=500 \text{ кГц } \omega=2\pi f$ $R1=5 R2=3$ $L = 3 \text{ мкГн}$ $C = 1000 \text{ пФ}$	1	$X = \frac{U1 \sin 2\pi ft - U2 \cos(2\pi ft - \psi)}{2R1 + R2} +$ $+ \frac{\cos^2 \omega t - 1}{a}$
		2	$Y = \frac{U1 \cos 2\pi ft - U2}{R2} + \frac{\sin(2\pi ft - \alpha)^2}{b}$
		3	$Z = \frac{(R1 + j\omega L)(j\omega C)}{R1 + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$
19	$U1=5 U2=2 a = 3$ $\psi = 60^\circ t=0$ $f=700 \text{ кГц } \omega=2\pi f$ $R1=1 \text{ кОм}$ $R2 = 3 \text{ кОм } \xi=0,5$	1	$Y = \frac{2^{1,5} + 3 \sin(2\pi ft - 30^\circ)}{0,5e + 1} +$ $+ \frac{\cos^2 \omega t - 1}{a}$
		2	$Y = \frac{U1 \sin(2\pi ft + 30^\circ) + 1}{2 + R1} +$ $+ \frac{U1 \sin 2\pi ft - U2 \cos(2\pi ft - \psi)}{2R1 + R2}$
		3	$Z = R1/(1 + j\xi)$

Варианты задания (продолжение)

Но- мер ва- ри- анта	Константы	Но- мер фор- му- лы	Формула
20	$\psi = 30^\circ \quad t = 0$ $U_m = 4 \quad b = 2 \quad C = 3$ $a = 20$ $f = 1 \text{ МГц} \quad \omega = 2\pi f$ $R_1 = 12 \quad R_2 = 15$ $L = 1 \text{ мкГн}$	1	$X = \frac{1 - b \cos(\omega t - \psi) + 2^{-C}}{2C} +$ $+ \frac{\sqrt{3} + 1}{e^2 - 3}$
		2	$Y = \frac{U_m \sin(2\pi f t - 2\psi) + U_m}{2R_1 + R_2} -$ $- \frac{\cos^2 \omega t - 1}{a}$
		3	$I = \frac{U_m}{R_1 + j\omega L}$
21	$E = 2$ $R_1 = 1 \text{ кОм}$ $R_2 = 3 \text{ кОм}$ $f = 20 \text{ кГц} \quad \omega = 2\pi f$ $G = 4 \quad C = 5$ $a = 1700 \quad U_m = 3$ $C = 2 \text{ мкФ}$	1	$X = \frac{E^{2,5} - 1}{R_1 + R_2} + \frac{(\sqrt{3} + 1)^2 \sin(2\pi f t + 10^\circ)}{e^2 - 3}$
		2	$Y = \frac{\sqrt[3]{3G + 4C}}{4a} + \frac{U_m (\sin^2(2\pi \frac{f}{2} t) - 1)}{R_1 - R_2}$
		3	$I = \frac{U_m}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}}$
22	$\psi = 60^\circ \quad t = 0$ $U_m = 14 \quad a = 2,5$ $f = 7 \text{ МГц} \quad \omega = 2\pi f$ $R_1 = 5 \quad R_2 = 2$ $L = 1 \text{ мкГн}$	1	$X = \frac{2^{1,5} + 3 \sin(2\pi f t - 30^\circ)}{0,5e + 1} +$ $+ \frac{\cos^2 \omega t - 1}{a}$
		2	$Y = \frac{U_m \sin(2\pi f t - 2\psi) + U_m}{2R_1 + R_2} -$ $- \frac{U_m (\sin^2(2\pi \frac{f}{2} t) - 1)}{R_1 - R_2}$
		3	$U_m = 5 \cdot 10^{-3} (R_1 - j\omega L)$

Варианты задания (продолжение)

Но- мер ва- ри- анта	Константы	Но- мер фор- му- лы	Формула
23	$U1=2 U_m=2 C=10$ $a=4 \cdot 10^3 b=10^{-3}$ $\psi=15^\circ t=0$ $f=700 \text{ кГц}$ $\omega=2\pi f$ $R2=20 \text{ Ом}$ $R1=1 \text{ кОм}$	1	$X = \frac{1 - b \cos(2\pi ft - \psi) + 2^{-C}}{2C} +$ $+ \frac{U1 \cos 2\pi ft - U2}{R2}$
		2	$Y = \frac{U_m \sin(2\pi ft - 2\psi) + U_m}{2R1 + R2} -$ $- \frac{\cos^2 \omega t - 1}{a}$
		3	$Z = (a + 1/jb)^2$
24	$U1=5 U2=2$ $\psi=15^\circ$ $a=7 t=0$ $f=7 \text{ МГц}$ $\omega=2\pi f$ $R1=50 R2=30$ $L=3 \text{ мкГн}$	1	$X = \frac{U1 \sin 2\pi ft - U2 \cos(2\pi ft - \psi)}{2R1 + R2} -$ $- \frac{\sqrt{3} + 1}{e^2 - 3}$
		2	$Y = \frac{\sqrt[3]{3G + 4C}}{4a} + 5^{\frac{5}{3}} \sin(2\pi ft - \frac{\pi}{2})$
		3	$U_m = (7 - j4)(R2 + j\omega L)$
25	$\psi=45^\circ$ $b=4 C=1,5$ $a=2 t=0$ $\omega=2\pi \cdot 200 \cdot 10^3$ (рад/с)	1	$X = \frac{1 - b \cos(\omega t - \psi) + 2^{-C}}{2C} + \frac{\cos^2 \omega t - 1}{a}$
		2	$Y = \frac{\sin(\omega t - 2\psi)}{15a} - \frac{0,07C}{0,5b}$
		3	$Z = (G + iC)(a - ib)$

### Варианты задания (окончание)

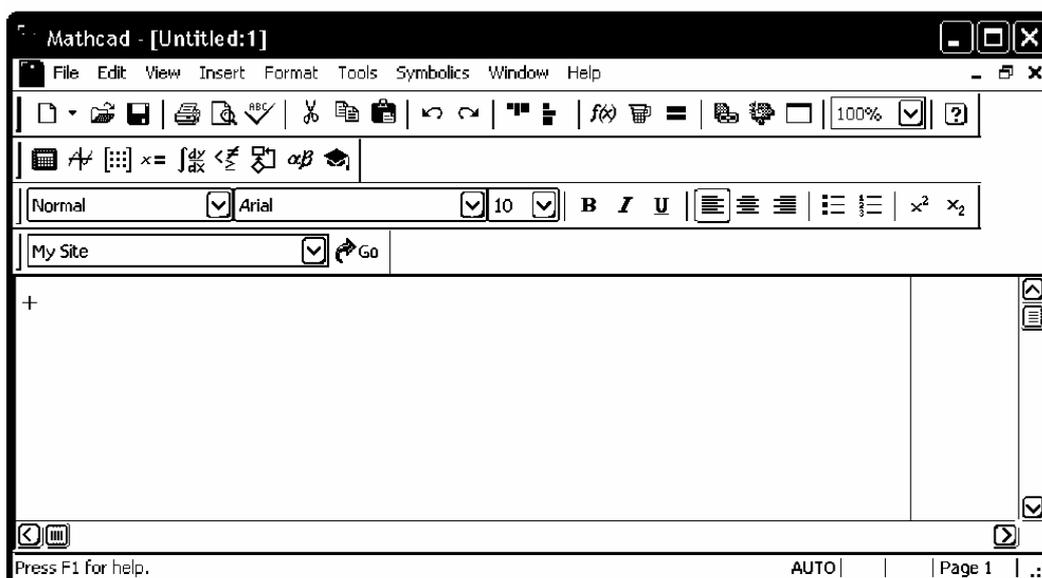
Но- мер ва- ри- анта	Константы	Но- мер фор- му- лы	Формула
26	$E=3 L=10 \text{ мГн}$ $C=5000 \text{ пФ } R=7$ $\omega = 2\pi \cdot 10^5$ $\psi = \pi/4$ $a=3 b=4 t=0$	1	$u = \frac{E}{\sqrt{(\omega L - 1/\omega C)^2 + R^2}} \cos(\omega t - \psi) + \frac{E+2}{a-\sqrt{3}}$
		2	$i = \frac{1+2\cos\omega t}{1+\cos 20^\circ} + \frac{\sin\omega t - 1}{2-\sqrt{3}}$
		3	$Z = (a + 1/jb)^2$
27	$\psi = 45^\circ$ $b = 4 C=1,5$ $a = 2 t=0$ $\omega = 2\pi f f=5 \text{ МГц}$ $R1=5 R2=3$ $U_m=10$	1	$X = \frac{1 - b\cos(\omega t - \psi) + 2^{-C}}{2C} + \frac{\cos^2 \omega t - 1}{a}$
		2	$Y = \frac{U_m \sin(\omega t - 2\psi)}{2R1} - \frac{U_m}{R1 - R2}$
		3	$Z = (R2 - \frac{1}{j2\pi\omega C})(R1 + i2\pi fL)$
28	$G=5 \alpha = 30^\circ t = 0$ $b = 2 C=3 a = 0,5$ $f = 10 \text{ МГц}$ $E=30 U=10$ $R1=2 R2=3$	1	$X = \frac{E}{R1 + R2} + \frac{U \cdot \sin(2\pi f t + 30^\circ) + 1}{2 + R1}$
		2	$Y = \frac{\sqrt[3]{3G + 4C}}{4a} + \frac{\sin(2\pi f t - \alpha)^2}{b}$
		3	$Z = \frac{R2 - jC}{R2 + jb}$
29	$C=5 a=3 b=2$ $G=4$ $t=0$ $\omega=2\pi \cdot 10^4 \text{ (рад/с)}$	1	$X = \frac{\cos\omega t}{C-a} + \frac{2\sin\omega t - 1}{1 + 0,5\sqrt{\frac{1}{5}}}$
		2	$Y = \frac{30C - \text{tg}15^\circ}{a+b} - \frac{\sin(\omega t - \alpha)^2}{b}$
		3	$Z = (a - ib)(2a + ib)$

## 2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА И ОСНОВ РАБОТЫ С НИМ

*MathCAD* – это универсальная интегрированная среда для численного решения самых разнообразных математических задач и выполнения расчетов. В инженерной практике значительным достоинством его является форма записи вычислительных операторов, максимально приближенная к записи математических выражений в технической литературе. Благодаря наличию в среде *MathCAD* возможности ввода текста, свободно компоновемого с математическими формулами, рабочий лист может быть понятен человеку, не знакомому с пакетом. Это позволяет помещать рабочие листы в инженерную документацию без дополнительных пояснений или выделения.

### 2.1. Интерфейс *MathCAD*

Интерфейс *MathCAD* соответствует стандартному оконному интерфейсу операционной системы Windows. Аналогично Windows здесь можно открывать несколько рабочих окон. Ниже приведено основное окно с одним открытым рабочим окном, в котором можно вводить текст, рисунки, размещать расчетные формулы, выводить результаты в числовом виде или в виде графиков и диаграмм.



Главное меню и инструментальная панель похожи на соответствующие элементы основного окна пакета Word.

2.1.1. Первые три пункта главного меню *MathCAD*, включая символ *MathCAD*, **File** и **Edit**, а также пункты **Window** и **Help**, имеют назначение, аналогичное соответствующим пунктам большинства популярных пакетов и в дополнительном описании не нуждаются.

2.1.2. Падающее меню пункта **View** (Вид) содержит следующие основные пункты:

- **Toolbars** (Панели инструментов) – вызывает панели инструментов, которые служат для управления вводом или для ввода операторов вычислений и команд построения графиков. Значки на панелях инструментов дублируют соответствующие подпункты главного меню или ввод операторов с клавиатуры;
- **Status Bar** (Строка состояний) – вызывает появление внизу основного окна строки, содержащей информацию об основных параметрах текущего режима работы пакета;
- **Regions** (Области) – выделяет математические и текстовые области с помощью разного фона;
- **Zoom...** (Масштаб...) – меняет размеры рабочего поля;
- **Refresh** (Обновить) – обновление рабочего окна;
- **Animate...** (Анимация...) – создание изменяющихся во времени графиков;
- **Playback...** (Воспроизведение...) – воспроизведение анимационных графиков;
- **Preferences...**(Настройки...) – установка некоторых общих параметров пакета и удаленной связи.

2.1.3. Падающее меню пункта **Insert** (Вставка) содержит следующие основные пункты:

- **Graf** (График) – построение двумерных и трехмерных графиков, гистограмм и векторных полей;
- **Matrix...** (Матрица...) – ввод переменной типа двумерной матрицы;
- **Function...** (Функция...) – вызов диалогового окна с перечнем встроенных математических функций (более

250) для вставки их в место, в котором находится курсор ввода;

- **Unit...** (Единица измерения...) – выбор и задание физических единиц измерения;
- **Picture** (Рисунок) – вставка рисунка из файла или системного буфера;
- **Math Region** (Математическая область) – явное задание начала математической области;
- **Text Region** (Текстовая область) – вставка текстовой области;
- **Page Break** (Разрыв страницы);
- **Hyperlink...** (Гиперссылка...);
- **Reference...** (Ссылка...);
- **Component...** (Компонент...) – создание на листе *MathCAD* рабочего поля другого пакета, установленного в системе или в сети, и работа с ним, не выходя из *MathCAD*;
- **Object...** (Объект...) – организация динамического обмена данными с приложениями (пакетами), работающими на других рабочих местах сети, в формате этих приложений.

2.1.4. Падающее меню **Format** (Формат) содержит следующие пункты:

- **Equation...**(Уравнение...) – форматирование шрифтов элементов математических выражений;
- **Result...**(Результат) – форматирование вида и числа знаков при выводе результатов вычислений;
- **Text...**(Текст...) – управление шрифтом, цветом и видом букв в текстовых областях;
- **Paragraph...** (Абзац...) – форматирование абзаца;
- **Style...**(Стиль...) – создание и управление стилями;
- **Properties...**(Свойства...) – позволяет менять вид, расположение, цвет и подсветку текстовых областей и изображений, а также запрещение/разрешение расчета по

выделенной формуле и оптимизации формул перед расчетом;

- **Graph** (График) – форматирование графиков;
- **Color** (Цвет) – управление цветом и подсветкой рабочего листа и областей;
- **Separate Regions** (Разделить области) – разделение перекрывающихся областей;
- **Align Regions...** (Выровнять области...) – выравнивание положения областей;
- **Headers/Footers** (Заголовки/Колонтитулы) – управление расстановкой заголовков и колонтитулов;
- **Repaginate Now** (Перенумерация страниц) .

2.1.5. Меню математических средств **Math** (Математика) состоит:

- из **Calculate** (Вычислить) – вычисление выделенного выражения с ручным запуском;
- **Calculate** (Вычислить рабочий лист) – вычисление всего документа с ручным запуском;
- **Automatic Calculation** (Автоматическое вычисление) – установка режима автоматического запуска пересчета всего документа после ввода каждого законченного расчетного выражения;
- **Optimization** (Оптимизация) – попытка автоматизированного преобразования сложного расчетного выражения в более простое и с меньшим временем вычислений;
- **Options...** (Параметры...) – установка точности и режимов вычислений и печати, задание значений встроенных переменных, системы и названий единиц измерений.

2.1.6. Меню символьных преобразований **Symbolics** (Символьные вычисления) состоит из следующих пунктов:

- **Evaluate** (Вычислить) – задает форму представления результата вычисления выделенного выражения. Возможен вывод в символьной форме (аналитическое преобразование выделенного выражения) в виде числа с

плавающей точкой или комплексного числа в алгебраической форме;

- **Simplify** (Упростить) – упростить выделенное выражение;
- **Expand** (Разложить) – представить сложное выражение в виде комбинации простых;
- **Factor** (Множитель) – разложить выражение на простые множители;
- **Collect** (Собрать) – собрать подобные члены выражения;
- **Polynomial Coefficients** (Коэффициенты полинома) – определение вектора коэффициентов, получающихся при представлении введенного выражения по переменной, указанной маркером ввода;
- **Variable** (Переменная) – группа математических операций, выполняемых над введенным выражением по заданной переменной в символьной форме;
- **Matrix** (Матрица) – основные операции с матрицами;
- **Transform** (Преобразование) – выполнение прямых и обратных преобразований Фурье, Лапласа и Z-преобразований;
- **Evaluation Style...** (Стиль вычислений...) – задание стиля вывода результатов.

## 2.2. Начало работы в *MathCAD*

Запуск *MathCAD* можно выполнить любым из стандартных способов запуска программ в среде Windows. Дополнительных параметров не требуется. Обычно исполняемый модуль *Mathcad.exe* расположен в каталоге ...\*MathSoft Apps* или в одном из его подкаталогов.

Для запуска с помощью главного меню Windows надо:

- щелкнуть левой кнопкой мыши по кнопке **Пуск** (Start);
- выбрать во всплывшем меню пункт **Программы** (Programs, All Programs);
- в новом меню отметить пункт **MathSoft Apps**;
- далее щелкните по имени исполняемого модуля *MathCAD*.

После появления на экране основного окна необходимо открыть ранее созданную рабочую тетрадь *MathCAD* или ввести расчетные формулы, данные и текст на рабочем поле. Запуск вычислений можно произвести вручную или в автоматическом режиме. Для ручного запуска расчета видимых на рабочем поле выражений можно воспользоваться пунктом **Calculate** меню **Math**, функциональной клавишей F9 или жирным знаком равенства на инструментальной панели. При необходимости пересчитать все выражения рабочей тетради, состоящей из нескольких листов, следует использовать пункт **Calculate Worksheet**. Очень удобно работать в автоматическом режиме, включаемым путем установки галочки перед пунктом **Automatic Calculation**. Пересчет запускается автоматически сразу после завершения ввода каждой новой расчетной формулы. Это сокращает время диагностики ошибок и значительно сокращает время отладки программы. Автоматический режим установлен по умолчанию и включается сразу после загрузки пакета, но в ряде случаев он может оказаться неудобным. Отключить его можно, убрав галочку перед пунктом **Automatic Calculation** щелчком левой кнопки мыши по изображению галочки.

### 2.3. Ввод рабочей тетради

Рабочая программа *MathCAD* носит название Worksheet (рабочая тетрадь, документ) и состоит из листов. Печать документа производится по листам, поэтому документ *MathCAD* после распечатки может быть сразу помещен в технический проект без доработки, если формулы вводятся совместно с необходимым текстом. Для ввода документов с такой сложной структурой пакет содержит три специализированных процессора: текстовый, математический и графический. Дополнительно весь документ разбивается на области двух видов: текстовые и математические. Число областей может быть произвольным. По умолчанию место на листе, не занятое текстовой областью, считается математической областью. В версиях *MathCAD* 2000 и 2001 расчетные формулы можно вводить непосредственно в текстовой области. Если формула в текстовой области не должна участвовать в вычислениях,

необходимо выделить ее и запретить расчет с помощью пункта **Format/Properties....** Это нововведение делает наличие математических областей необязательным, а само разделение на две области может стать ненужным в близком будущем.

### 2.3.1. Ввод формул

Производится под управлением математического процессора. Признаком работы математического процессора – формульный маркер, с помощью которого пользователь информируется о трактовке вводимого выражения процессором.

Формульный маркер, находящийся в свободном пространстве математической области, имеет форму креста красного цвета. Центр его указывает на начало позиции ввода первого символа математического выражения. С целью задания желаемого расположения формул и других частей программы маркер можно перемещать по листам с помощью клавиш  $\leftarrow, \uparrow, \rightarrow$  и  $\downarrow$  основной клавиатуры компьютера. После начала ввода маркер превращается в уголок, вертикальная часть которого указывает начало следующей позиции ввода. Горизонтальная часть указывает на фрагмент математического выражения, которое трактуется процессором как единая переменная, над которой совершается последующая математическая операция. Горизонтальная часть маркера имеет длину, равную сумме длин всех позиций элементов, образующих выделенный фрагмент. Выделенный фрагмент оказывается подчеркнутым маркером. По мере ввода маркер перемещается.

Ниже приведено два примера записи в *MathCAD* формул для вычисления значений вещественной переменной.

Пример 1. 
$$Y := \frac{1 + \cos(15 \cdot \text{deg})^2}{2 \cdot \pi} \quad Y = 0.308$$

Пример 2. 
$$Az_1 := 3 + \sqrt[4]{\sin(0.55^2) + \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 0.3\right)} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3}$$

При вводе сложных формул приходится менять длину горизонтальной части маркера и его положение, если требуется переводить маркер в позицию надстрочного индекса (например, при

возведении в степень) или подстрочного (например, при определении индексной переменной), или продолжать ввод за пределами подкоренного выражения (пример 2) и т.п. Длину горизонтальной части маркера можно менять с помощью клавиши пробела основной клавиатуры компьютера. С каждым нажатием клавиши пробела длина маркера меняется. Это действие надо повторять до выделения нужного фрагмента вводимого выражения. Перевод маркера в позицию надстрочного индекса производится с помощью клавиши  $\wedge$ . Перевод маркера в позицию подстрочного индекса производится с помощью клавиши  $[_]$ . Не допускается выполнять эти операции клавишами  $\uparrow$  и  $\downarrow$ . Перемещение в горизонтальном направлении при редактировании формул реализуется клавишами  $\leftarrow$  и  $\rightarrow$ .

Из примеров 1 и 2 видно отличие записи формул в *MathCAD* от общепринятой формы. Эти отличия обусловлены необходимостью однозначного определения выполняемого действия. В общепринятой математической записи знак равенства выполняет несколько различных функций, легко различаемых человеком. Для автоматизированной системы такой подход привел бы к дополнительным ошибкам. Поэтому в качестве знака равенства в разных ситуациях *MathCAD* использует четыре разных оператора:

- локальное присвоение значения переменной ( $:=$ );
- вывод на экран значения выражения ( $=$ );
- глобальное присвоение значения переменной ( $\equiv$ );
- символ эквивалентности в уравнениях и логических выражениях ( $\equiv$ ).

Другая особенность ввода формул в *MathCAD* – возможная неоднозначность их чтения. В записи *MathCAD*

$$\cos(15 \text{ deg})^2$$

возведение во вторую степень может быть ошибочно отнесено к аргументу. В действительности, по правилам пакета, оно относится ко всему выражению. Чтобы избежать ошибок в подобных случаях, можно использовать дополнительные скобки, устраняющие возможность неоднозначного толкования. Лучший способ – использование свойства формульного маркера, состоящего в том, что любой вновь вводимый оператор действует на все эле-

менты формулы, подчеркнутые горизонтальной частью маркера, как на один элемент.

### ***2.3.2. Исправление неверно введенной формулы***

Производится в режиме редактирования. Для редактирования надо переместить маркер ввода в редактируемую позицию с помощью клавиш стрелок или с использованием левой кнопки мыши, удалить неверные символы и ввести правильные. Если требуется внести исправления в сложное выражение или итоги ввода вызывают сомнение, целесообразно удалить все выражение целиком. Надежное удаление достигается с помощью переноса в системный буфер (инструмент в виде ножниц на инструментальной панели).

Небрежный ввод формул в пакете *MathCAD* часто приводит к ошибкам, которые не поддаются диагностике. Наиболее частая причина – ошибочное представление пользователей, что столь совершенный интерпретатор должен работать правильно, если формула на экране выглядит правильно, независимо от порядка ввода и исправлений. Это представление не соответствует действительности. При высоком уровне автоматизации ввода математический процессор очень чувствителен к последовательности ввода элементов формул. Можно предположить, что разработчиком произведена тщательная отладка пакета для общепринятого порядка ввода (слева направо и без ошибок), а все варианты, которые могут возникнуть при нарушении порядка ввода и многочисленных повторных исправлениях, отладить просто невозможно. По этой причине при вводе не допускается торопливость. Надо стремиться вводить формулы без ошибок, не надеясь на возможность исправления повторным вводом. При исправлениях возможны ситуации, когда введенная формула выглядит на экране верной, а *MathCAD* обозначает ее красным цветом, символизирующим ошибку, и не выполняет вычислений. В худшем случае расчеты могут выполняться неверно без диагностических сообщений со стороны системы. Иногда в этой ситуации можно сохранить тетрадь в файл и открыть снова. Процессор получает возможность заново интерпретировать программу в более легких условиях.

Чтобы уменьшить количество ошибок ввода, следует учитывать, что маркер ввода своей формой индицирует режим ввода, и необходимо внимательно следить за его формой, реагировать на ее изменения и правильно управлять маркером, не допуская действий, не предусмотренных текущим режимом ввода. По указанной в предыдущем абзаце причине следует применять только достоверно известные способы построения программы и ввода. Нельзя вводить программу наугад с перебором разных случайных вариантов по принципу «что примет».

После выполнения расчетов обязательно надо контролировать правильность результатов, используя проверку. При проверке следует составлять специальные контрольные выражения и просчитывать их с помощью пакета. Эти выражения должны основываться на физическом смысле вычислений и не быть простым повторением расчетных выражений.

### ***2.3.3. Ввод вычислительных операторов***

Может выполняться с помощью соответствующих инструментальных панелей, вызываемых через пункт меню **View**. Этот способ ввода достаточно медленный и его можно считать рациональным только на первых порах изучения пакета или для редко применяемых операторов, комбинации клавиш для которых быстро забываются. Все легко запоминающиеся операторы должны вводиться с основного поля клавиатуры компьютера. К ним относятся такие операторы, как сложение ( + ), вычитание ( - ), умножение ( \* ), деление ( / ) и т.п. Эта группа операторов в процессе выполнения лабораторных работ запомнится непроизвольно и специальных усилий не потребует. Хуже запоминающиеся, но часто применяемые операторы также должны вводиться с клавиатуры. К этой группе относятся следующие операторы:

- локальное присвоение ( : );
- диапазон изменения ранжированной переменной ( ; );
- возведение в степень ( ^ );
- индекс подстрочный ( [ ).

Эти четыре оператора должны быть выучены наизусть в процессе подготовки к лабораторной работе и при выполнении обязательно должны вводиться с клавиатуры.

### 2.3.4. Ввод текста

Производится под управлением текстового процессора и начинается с явного открытия новой текстовой области. Открыть новую текстовую область можно с помощью пункта **Insert/ Text Region** или вводом символа двойной кавычки (“), который выделен для этой цели и в математической области не используется. На экране появляется рамка, обозначающая границы текстовой области. При вводе на русском языке желательно сразу установить шрифт, содержащий символы кириллицы, а также желаемый размер шрифта. По мере ввода текста границы области расширяются. Чтобы закончить ввод строки и перейти к новой строке, надо нажать клавишу **Enter**. Вставка новой строки в существующем тексте производится с помощью комбинации **Shift+Enter**.

В текстовой области *MathCAD* можно вставлять расчетные выражения. Ниже приведен пример такой вставки формулы.

<p>Расчетное выражение можно вставить в текстовой области с помощью <b>Insert/Math Region</b>.</p> <p>Например: <math>X := (3 \cdot \cos(\pi))^2</math></p> <p>После окончания ввода выражения происходит автоматический возврат к вводу текста. В <i>MathCAD 2000</i> математические выражения в текстовой области участвуют в расчетах и результат сохраняется за пределами текстовой области.</p>
--

$$X = 9$$

Формулы в текстовой области иногда записываются только для улучшения читаемости текста проекта и не должны участвовать в расчетах. В этом случае их необходимо отключить. Отключение производится в режиме редактирования формулы с помощью флажка **Format/Properties/Calculations/Disable Evaluations**.

## 2.4. Основные типы данных и переменных

### 2.4.1. Вещественные и комплексные константы

Вещественные и комплексные константы в *MathCAD* имеют общепринятую в математике форму. Числовые константы зада-

ются с помощью арабских цифр и знака – (минус). Дробная часть в *MathCAD* отделяется с помощью десятичной точки, а не запятой как это принято в русском языке. Запятая используется в качестве разделителя между переменными или операндами одинакового назначения при описании функций, графиков и т.п. Диапазон возможных значений числовых констант лежит в пределах от  $10^{307}$  (машинная бесконечность) до  $10^{-307}$  (машинный ноль).

Кроме операций с десятичными числами возможны операции с восьмеричными и шестнадцатеричными числами. Для задания восьмеричного числа после цифр записывается без пробела строчная или прописная латинская буква **o** (octal – восьмеричное). Для задания шестнадцатеричного числа после цифр записывается без пробела строчная или прописная латинская буква **h** (hexagonal – шестнадцатеричное).

Комплексные константы, как и вещественные, могут записываться в обычной алгебраической или в экспоненциальной форме. В качестве символа мнимой единицы используются латинские символы *i* или *j*, которые записываются сразу после цифр мнимой части числа без знака умножения. Это обозначение не допускается, если мнимая часть является не константой, а переменной. В этом случае мнимую часть надо искусственно умножить на единицу, после которой можно будет дописать символ мнимой единицы. Можно так же перед началом комплексных вычислений определить переменную *i* или *j* как мнимую единицу и записывать ее перед мнимой частью через оператор умножения. Определить переменную как мнимую единицу можно, если присвоить ей значение корня квадратного из минус единицы. При таком определении мнимой единицы соответствующую переменную нельзя будет использовать в вычислениях для других целей. Это будет существенным недостатком, так как переменные *i* и *j* часто используются для перечисления в индексных или ранжированных переменных.

Наиболее употребляемые математические константы предопределены в системе (см. таблицу).

Имя	Клавиши	Назначение
$\infty$	Ctrl+Shift+z	Системная бесконечность ( $10^{307}$ )
$\pi$	Ctrl+Shift+ $\pi$	Число $\pi$ (3.14...)
E	E	Основание натурального логарифма
I	i	Мнимая единица
J	j	Мнимая единица
%	%	Процент (0.01)

Особый вид констант – единицы измерения размерных величин. Чтобы сделать константу или переменную размерной величиной, надо после нее поставить знак умножения и записать имя физической единицы. Набор физических единиц определяется используемой системой единиц. Изменить установленную систему можно с помощью меню **Insert/Unit**.

#### ***2.4.2. Вещественные и комплексные переменные***

Вещественные и комплексные переменные в *MathCAD* имеют уникальные имена, задаваемые пользователем или системой. Имя переменной, определяемой пользователем, может состоять из латинских и греческих букв, а также цифр, но начинаться должно обязательно с буквы. Допускается применение некоторых спецсимволов, например знака объединения (  $\_$  ). Прописные и строчные буквы в именах различаются. Определение переменной производится с помощью операторов локального или глобального присвоения. При использовании оператора локального присвоения переменную нельзя использовать, прежде чем она определена, считая направление сверху вниз и слева направо. Тип переменной определяется системой автоматически в зависимости от результата, получающегося при вычислении правой части выражения. Следует отметить большое разнообразие типов переменных, допускаемых пакетом.

Численные переменные могут быть как целочисленными, так и с плавающей запятой. Оба вида могут быть вещественными или комплексными в зависимости от вида чисел, которые заносятся в переменные.

Вещественные переменные содержат вещественные числа, которые в геометрической интерпретации могут быть представлены как точки на одномерной числовой оси.

В отличие от вещественных чисел, комплексные числа в геометрической интерпретации представляются точками в двумерном пространстве, т. е. на плоскости. Положение каждой точки определяется двумя координатами. В горизонтальном направлении обычно располагается ось реальной части комплексного числа, а в вертикальном – ось мнимой части комплексного числа. В качестве реальной части используются обычные вещественные числа, а в качестве мнимой части используются реальные числа, умноженные на мнимую единицу. За мнимую единицу в математике принимается  $\sqrt{-1}$ , которая обозначается символом  $i$ . Комплексное число в математике записывается в виде суммы вещественной и мнимой частей

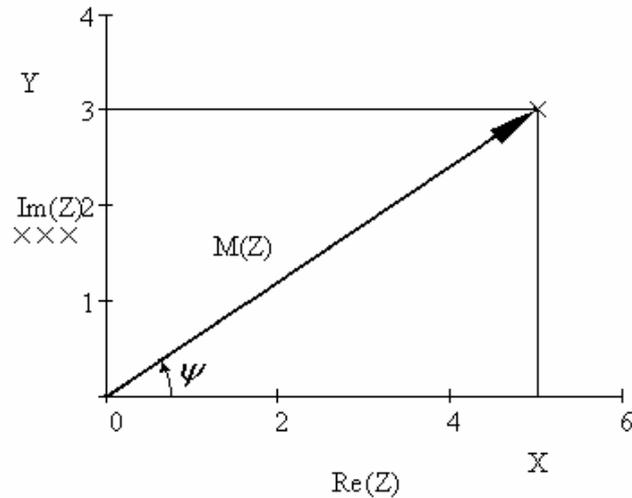
$$Z = X + iY.$$

Такую форму записи будем считать алгебраической формой представления комплексных чисел.

В среде *MathCAD* символ мнимой единицы можно задать, если записать букву **i** или **j** непосредственно после числовой вещественной константы без оператора умножения между ними. Такая величина считается мнимой. Все операции с ней выполняются, как с комплексным числом, вещественная часть которого равна нулю. Заносить символ мнимой единицы (**i** или **j**) до или после имени переменной недопустимо, так как он будет интерпретирован как часть имени переменного. Если надо мнимую часть задать с помощью переменной, следует ввести в формуле дополнительную константу **1i** или **1j** и умножить ее на переменную. В этом случае *MathCAD* введенную пользователем цифру 1 перед символом мнимой единицы опускает.

Ниже приведен пример определения комплексного числа и его графическая интерпретация. Точка на графике, изображающая комплексное число  $Z$ , отмечена знаком крестика.

$$X := 1 \quad Z := 5 + 3i$$



С помощью комплексных чисел можно описывать векторы и выполнять над ними математические операции. В виде векторов можно представлять различные физические величины, например, силу, скорость, градиент и т. п. Необходимо только, чтобы они полностью описывались двумя характеристиками: направлением и величиной действия в этом направлении. В геометрической интерпретации вектор является отрезком, который ориентирован в пространстве и задано направление действия от начала (основания вектора) к концу (вершине вектора). Величина действия задается длиной вектора. В теории электрических цепей используется понятие вектора в двумерном пространстве. В этом случае вектор легко может быть представлен комплексным числом, если точку, обозначающую комплексное число, считать вершиной вектора, а в качестве основания принять начало координат.

При использовании алгебраической формы комплексного числа направление и величина действия вектора описываются значениями реальной и мнимой частей. В явном виде направление можно задать с помощью угла  $\Psi$ , называемого аргументом вектора, и длины вектора, называемой модулем вектора. Аналогично в геометрической интерпретации комплексного числа угол  $\Psi$  между направлением горизонтальной оси координат и направлением на точку  $Z$  называется аргументом комплексного числа. В тригонометрии он легко определяется по формуле

$$\Psi(Z) = \text{arctg}(Y/X).$$

В среде *MathCAD* для определения аргумента имеется специальная встроенная функция

$$\Psi := \arg(Z).$$

Модуль вектора равен модулю комплексного числа, определяемого по формуле, основанной на теореме Пифагора,

$$M(Z) = |Z| = \sqrt{X^2 + Y^2}.$$

В среде *MathCAD* соответствующая встроенная функция вызывается автоматически, если с обеих сторон комплексной переменной поставить вертикальную черту:

$$M := |Z|$$

Реальная и мнимая части комплексного числа – проекции вектора на оси координат, поэтому с аргументом и модулем они связаны простейшими тригонометрическими формулами. В результате комплексное число

$$Z = M \cdot \cos \Psi + iM \cdot \sin \Psi.$$

Такую форму представления комплексного числа будем считать тригонометрической формой.

Кроме алгебраической и тригонометрической форм комплексных чисел существует экспоненциальная форма, основанная на формуле Эйлера,

$$e^{i\Psi} = \cos \psi + i \sin \psi.$$

Согласно этой формуле комплексное число можно записать так:

$$Z = M \cdot e^{i\Psi}.$$

*MathCAD* допускает ввод комплексных чисел в любой из трех перечисленных форм. Выражения с комплексными переменными выглядят так же, как и выражения с обычными переменными. Вывод комплексных результатов выполняется по умолчанию в алгебраической форме.

### **2.4.3. Векторные переменные**

Векторные переменные (векторы) являются одномерными массивами. Вектор состоит из элементов. Каждый элемент вектора аналогичен обычной переменной. Операции могут выполняться как над всеми элементами векторной переменной одновременно, так и над любым отдельным элементом. В первом случае выражение выглядит так же, как и при использовании обычных переменных. Результатом вычислений правой части уравнения бу-

дет векторная переменная. Для выполнения математических операций над отдельным значением векторной переменной в качестве операнда следует использовать имя этой векторной переменной с индексом, значение которого равно номеру элемента вектора. Сказанное иллюстрируется приведенным ниже примером:

$$\begin{array}{lll}
 \text{Vector1}_1 := 1 & \text{Vector1}_2 := 3 & \text{Vector1}_3 := 4 \\
 \text{Vector2}_1 := 10 & \text{Vector2}_2 := 9 & \text{Vector2}_3 := 9 \\
 \text{Vector} := \text{Vector1} + \text{Vector2} & \text{Vector} := \text{Vector1}_3 + 5 & \text{Vector} = \begin{pmatrix} 0 \\ 11 \\ 9 \\ 13 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

В автоматически созданной переменной `Vector` присутствует четыре значения вместо трех. Это обусловлено принятым порядком счета элементов, начинающимся по умолчанию с нуля. Благодаря такому порядку счета каждая векторная переменная, включая и первые две, содержит значения со всеми индексами, начиная с нуля до максимального индекса последнего значения, определенного явно. Значения векторной переменной, не определенные явно, по умолчанию приравниваются к нулю. Изменить порядок счета, т. е. начинать с единицы, можно с помощью системной переменной **ORIGIN**. Для этого достаточно задать ее значение, равное единице, вместо нуля, установленного по умолчанию.

#### 2.4.4. Матричные переменные

Матричные переменные (матрицы) являются массивами переменных подобно векторам, но имеют двумерную организацию. Вводить векторы и матрицы можно с помощью меню **Insert/Matrix...**, задавая соответствующее количество строк и столбцов. Над векторами и матрицами можно совершать все основные математические операции векторной и матричной алгебры, обращаясь с ними как с обычными переменными. Оперировать отдельным элементом матрицы можно с помощью индексных переменных, аналогичных применяемым при операциях с векторами, но индексов в этом случае два и записываются они через запятую.

### 2.4.5. Ранжированные переменные

Ранжированные переменные специфичны для *MathCAD*. С их помощью можно быстро и удобно организовывать простейшие вычислительные циклы. Ранжированная переменная подобно вектору содержит набор значений, но эти значения не произвольны как в векторе, а образуют последовательность с заданным шагом.

Ранжированная переменная отличается от вектора также порядком производства вычислений. Формула, не содержащая ранжированных переменных, просчитывается один раз, после чего интерпретатор *MathCAD* переходит к расчету по следующей формуле. Если в формуле содержится ранжированная переменная, расчет по формуле повторяется столько раз, сколько значений содержит эта переменная (порядок ранжированной переменной). При первом расчете в качестве величины ранжированной переменной используется ее первое значение. После этого расчет повторяется со вторым значением. Интерпретатор продолжает повторные расчеты, пока не переберет все значения ранжированной переменной. Результаты всех расчетов записываются в виде вектора или матрицы в зависимости от видов переменных в формуле. Если в формуле несколько ранжированных переменных, расчеты повторяются, пока не будут перебраны все комбинации значений всех переменных. Количество повторов равно произведению порядков всех ранжированных переменных в формуле.

Определение ранжированной переменной производится с помощью оператора локального присвоения и горизонтального двоеточия (':'), с клавиатуры вводится нажатием символа точки с запятой). Для определения ранжированной переменной  $I$ , меняющей свое значение от начального  $I_1$  до конечного  $I_k$  с шагом, равным 1, достаточно задать только  $I_1$  и  $I_k$ .

Например

$$I := I_1 .. I_k$$

Если требуется задать ранжированную переменную с шагом, отличным от 1, надо после начального значения через запятую дополнительно ввести значение второго элемента последовательности:

$$I := I_1, I_2 .. I_k$$

Последовательность из семи значений с шагом  $-3$ , начинающаяся с  $5$  и заканчивающаяся значением  $-13$ , может быть определена следующей последовательностью:

$I := 5, 2.. -13$

$I =$

5
2
-1
-4
-7
-10
-13

#### ***2.4.6. Логические переменные***

Логические переменные могут принимать только одно из двух значений «истина» или «ложь». В *MathCAD* в качестве этих значений используются числа  $1$  или  $0$ . С логическими переменными можно совершать операции алгебры логики. Результат операций принимает числовое значение, поэтому логические выражения можно включать непосредственно в обычные формулы для численных расчетов. Такое объединение численных и логических выражений позволяет реализовать кусочно-непрерывные функции, что часто встречается в расчетах и моделировании электронных средств. С помощью логической переменной можно, например, реализовать моделирование периодической последовательности импульсов.

#### ***2.4.7. Символьные и строковые переменные***

Могут использоваться для генерации текстовых сообщений в процессе вычислений.

#### ***2.4.8. Системные переменные***

Позволяют управлять работой пакета, приспособив его характеристики к требованиям пользователя. Значения их предопределены системой по умолчанию, но могут меняться пользователем путем обычного присвоения нового значения или с помощью меню **Math/Options...**

Имя	Значение	Назначение
TOL	0.001	Погрешность численных методов
ORIGIN	0	Нижняя граница индексации
PRNPRECISION	4	Число значащих цифр в функции WRITEPRN
PRNCOLWIDTH	8	Число десятичных знаков в столбце

## 2.5. Вычислительные операции

Действия над операндами производятся с помощью операторов, встроенных функций и функций (операторов), создаваемых пользователем. Деление на операторы и функции в *MathCAD* достаточно условно. Принципиальной разницы между ними нет, и отличаются они в основном форматом и способом ввода. Операторы делятся на четыре группы: арифметические, логические, математического анализа и операторы для работы с массивами.

### 2.5.1. Арифметические операторы

Арифметические операторы	Клавиши	Обозначения
Сложение с переносом на следующую строку	Ctrl+Enter	$X \dots$ $+Y$
Сложение	+	$X+Y$
Вычитание	-	$X-Y$
Отрицание	-	$-X$
Умножение	*	$X \times Y$
Деление	/	$X/Y$
Возведение в степень	^	$X^n$
Квадратный корень	\	$\sqrt{Z}$
Корень n - й степени	Ctrl+\	$\sqrt[n]{X}$
Комплексно-сопряжённое число	«	$\bar{X}$
Абсолютная величина		$ X $
Факториал	!	$N!$
Произведение для конечного ряда	Ctrl+Shift+3	$\prod_{i=m}^n X$
Произведение по дискретному аргументу для бесконечного ряда	#	$\prod_i X$
Суммирование по дискретному аргументу для бесконечного ряда	\$	$\sum X$
Суммирование для конечного ряда	Ctrl+Shift+4	$\sum_{i=m}^n X$

### 2.5.2. Логические операторы

Логические операторы	Клавиши	Обозначения
Больше	>	$X > Y$
Меньше	<	$X < Y$
Больше либо равно	Ctrl+0	$X \geq Y$
Меньше либо равно	Ctrl+9	$X \leq Y$
Не равно	Ctrl+3	$X \neq Y$
Равно	Ctrl+=	$X = Y$

### 2.5.3. Операторы математического анализа

Операторы математического анализа	Клавиши	Обозначения
Предел функции в заданной точке	Ctrl+L	$\lim_{x \rightarrow a} f(x)$
Предел функции слева от заданной точки	Ctrl+Shift+B	$\lim_{x \rightarrow a^-} f(x)$
Предел функции справа от заданной точки	Ctrl+Shift+A	$\lim_{x \rightarrow a^+} f(x)$
Дифференцирование	?	$d/dt f(t)$
Определённый интеграл	&	$\int_a^b f(t)dt$
Неопределённый интеграл	Ctrl+I	$\int f(t)dt$
Производная n-го порядка	Ctrl+Shift+?	$d^n/dt^n f(t)$

### 2.5.4. Операторы для работы с векторами и матрицами

Операторы, определённые для векторов и матриц	Клавиши	Обозначения
Сложение	+	$U + V$
Векторное произведение	Ctrl+8	$U \times V$
Определитель		$ U $
Скалярное произведение	*	$U \cdot V$
Обращение матрицы	^-1	$M^{-1}$
Отрицание	-	$-V$
Возведение в степень матрицы	^	$M^n$
Модуль		$ M $
Умножение	*	$M \times N$

## Операторы для работы с векторами и матрицами (окончание)

Операторы, определённые для векторов и матриц	Клавиши	Обозначения
Нижний индекс (vector)	[	$V_n$
Нижний индекс (matrix)	[	$M_n$
Вычитание	-	M-N
Суммирование элементов	Ctrl+4	$\sum V$
Верхний индекс	Ctrl+6	$A^{<n>}$
Транспонирование	Ctrl+1	$M^T$
Оператор векторизации	Ctrl+_	$\overline{F(M)}$

### 2.5.5. Встроенные функции

Встроенные функции в *MathCAD* представлены более чем тремястами наименованиями. Для облегчения ориентации они разбиты на группы по соответствующим разделам математики. Вводятся они с помощью меню **Insert/Function...** или прямым вводом идентификатора функции и круглых скобок, в которых записываются аргументы. Аргументы заносятся в фиксированном порядке через запятую, которая играет роль разделителя в данном языке программирования. В процессе ввода интерпретатор пытается распознать функцию и после однозначной идентификации добавляет черные прямоугольники полей ввода, в которые надо ввести аргументы. В качестве аргументов могут использоваться константы и переменные.

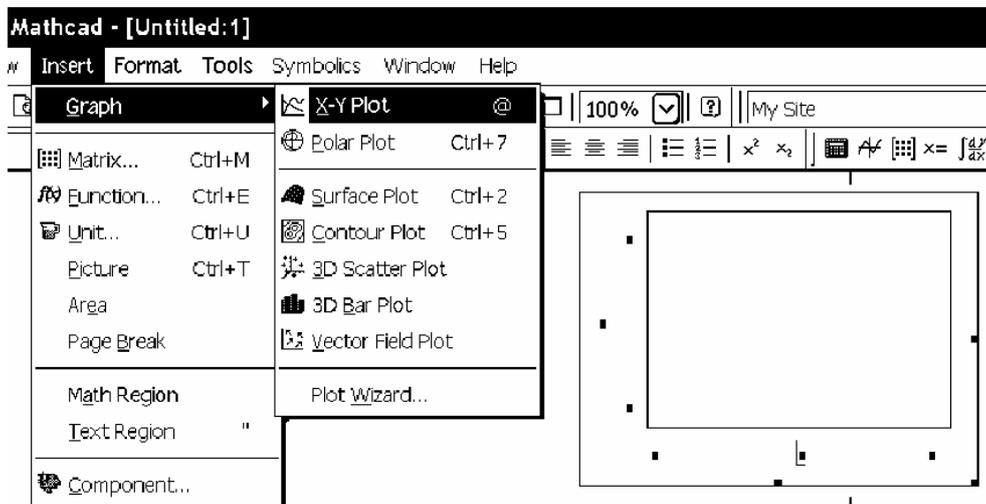
### 2.5.6. Функции, определяемые пользователем

Позволяют самостоятельно задать некоторое выражение и пользоваться им в дальнейшем так же, как и встроенной функцией. Это позволяет сокращать объем текста программы и делать расчеты более понятными. Задание функции производится с помощью обычного оператора присвоения. Слева от него записывается имя функции с круглыми скобками. В скобках через запятую указываются аргументы. Справа от оператора присвоения записывается выражение, соответствующее функции, в котором обязательно должны присутствовать все аргументы. Определенная

таким образом функция в дальнейшем может использоваться вместо введенного выражения.

## 2.6. Вывод результатов в графической форме с использованием прямоугольной системы координат

Для построения двумерных графиков в принципе необходимо задать два множества: множество значений аргументов и соответствующее ему множество значений функции. Форма и способ задания множеств аргумента и функции индивидуальны и зависят от выбранного способа построения графика. Наиболее просто построить график можно, если воспользоваться автоматическим режимом построения. Для этого достаточно щелчком левой кнопки мыши установить маркер в то место рабочего поля, где должен быть расположен левый верхний угол графика. Затем выбрать в главном меню пункт **Insert/Graph/X Y Plot...**. На рабочем поле появится заготовка графика прямоугольной формы, содержащая рамку внешних границ графика, рамку собственно графика и 6 полей ввода данных. Рисунок заготовки приведен ниже.

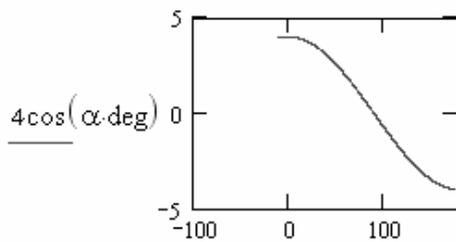


Четыре поля ввода, расположенные по углам рамки графика, предназначены для указания начальных и конечных значений вертикальной шкалы и горизонтальной шкалы графика. Эти поля на первом этапе заполнять необязательно.

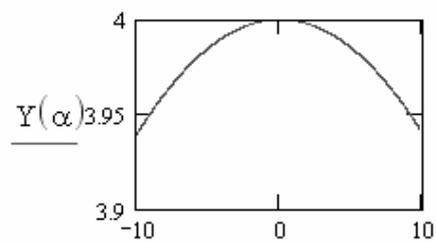
Два поля ввода, расположенные напротив середин сторон рамки графика, необходимо заполнить расчетными выражениями

аргумента и функции графика. В заготовке графика маркер ввода указывает на нижнее поле. Это поле ввода аргумента. В него надо ввести формулу, задающую шкалу аргумента. Обычно это просто имя переменной, которая считается аргументом графика. После ввода аргумента щелчком левой кнопки мыши по полю ввода функции переходят к вводу функции графика. В это поле надо ввести выражение функции графика. Для завершения ввода и перехода к построению графика достаточно нажать клавишу Enter или щелкнуть левой кнопкой мыши вне рамки границ графика.

В автоматическом режиме шаг расчетных точек и диапазоны шкал выбираются программой графического редактора без учета индивидуальных требований к Рафику. Поэтому график не всегда соответствует требованиям автора. Ниже приведены два примера автоматического построения графика гармонического колебания двумя различными способами: *a* – построение графика прямым заполнением поля функции; *б* – построение графика через задание функции  $Y(\alpha) := 4 \cdot \cos(\alpha \cdot \text{deg})$



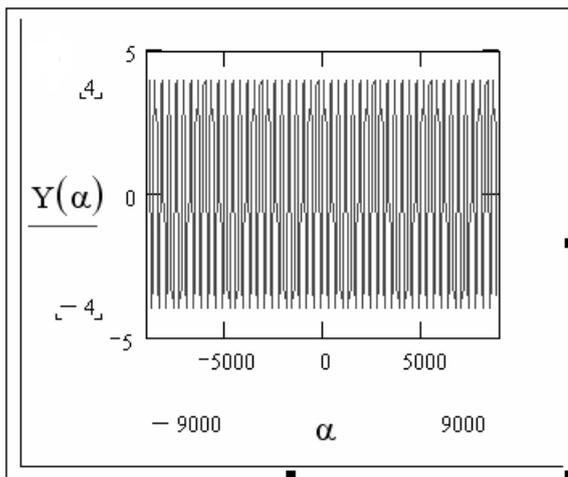
*a)*



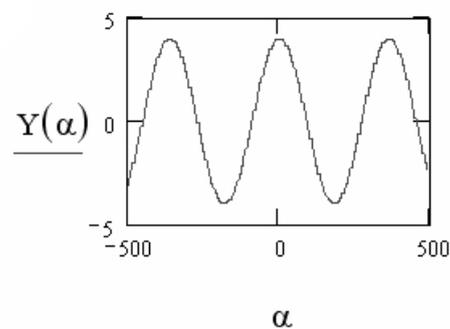
*б)*

Внешний вид получившихся графиков не дает наглядного представления о форме гармонического колебания. Вследствие неудачного выбора начальных и конечных значений шкал на графиках *a* и *б* представлены отдельные фрагменты колебания. Чтобы сделать график наглядным, надо вручную задать начальные и конечные значения шкал. Вертикальная шкала графика в автоматическом режиме обычно определяется достаточно хорошо. Корректировка, как правило, требуется только для шкалы аргументов.

Для ручного задания начальных и конечных значений шкал достаточно выбрать рисунок графика мышью и ввести новые значения в появившиеся поля на краях шкал. Если значения выбрать недостаточно продуманно и задать слишком большой диапазон изменения аргумента, график может получиться в виде заштрихованного прямоугольника: график *в*. Чтобы такого не происходило, требуемый график надо сначала проанализировать и представить в уме. Для наглядного изображения периодического колебания (график *г*) достаточно изобразить 2 – 3 полных периода.



в)



г)

Графический редактор *MathCAD* позволяет совмещать на одном поле графики сразу нескольких функций. Если строится несколько графиков разных функций с одинаковым аргументом, после ввода первой функции ставится запятая. Ниже поля ввода первой функции появляется новое поле ввода следующей функции. Последующие переменные функций вводятся тоже через запятую, которая служит разделителем полей для вводимых переменных. Завершение ввода всех функций выполняется клавишей *Enter* или щелчком левой кнопки мыши за пределами внешних границ графика. Построение на одном рисунке нескольких графиков с разными аргументами выполняется аналогично. Несколько выражений для шкал разных аргументов вводятся через запятые. Завершение ввода аргументов происходит при переходе к вводу функций.

### 3. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ\*

3.1. Изучить пользовательский интерфейс пакета.

3.1.1. Загрузить *MathCAD* из каталога **Math Soft Apps**. Открыть новый лист. Ввести небольшой абзац текста и простейшую расчетную формулу. Текст и формулу составить самостоятельно. Результат вычислений по введенной формуле вывести на экран с помощью оператора =.

3.1.2. Изучить пользовательский интерфейс пакета. Для этого последовательно откройте все пункты и подпункты главного меню и по мере возможности примените их к введенной формуле и тексту.

3.2. Изучить порядок ввода формул в среде *MathCAD* и применение вещественных переменных.

3.2.1. Ввести формулу № 1 и выполнить по ней расчет в режиме автоматического или ручного запуска. Здесь и в дальнейшем результаты выводить на экран монитора и включать в отчет. Элементы формул обязательно вводить в общепринятом порядке, т. е. слева направо и с минимумом исправлений. Необходимое управление формульным маркером производить только с помощью клавиш ←, → и пробела.

3.2.2. Определить формулы № 1 и № 2 как функции пользователя от времени и построить в автоматическом режиме графики обеих зависимостей совместно, т. е. на одном рисунке. Время  $t$  считать переменной величиной.

3.3. Исследовать применение комплексных переменных в среде *MathCAD*.

3.3.1. Выполнить расчет комплексного числа по формуле № 3.

---

\* Отчет, начиная с пункта «Выполнение работы», вводится и печатается только в среде *MathCAD*, включая наименования пунктов и выводы. При отсутствии возможности печати непосредственно в среде *MathCAD* следует целые страницы рабочей тетради переносить в среду MS Word и из нее печатать.

3.3.2. Записать в отдельные переменные мнимую и вещественную части полученного числа.

3.3.3. Составить необходимые математические формулы и рассчитать модуль и аргумент числа, пользуясь переменными п. 3.3.2.

3.3.4. Ввести снова это число в экспоненциальной форме. Вывести на экран введенное число и сравнить с результатом расчета в п. 3.3.1.

#### **4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

4.1. Почему *MathCAD* хорошо подходит для инженерных расчетов? Каковы его достоинства и недостатки по сравнению с другими математическими пакетами?

4.2. Что такое формульный маркер и как с его помощью ввести формулу?

4.3. Почему не следует вводить формулу с нарушением общепринятого порядка записи?

4.4. Что такое ранжированная переменная? Как ее определить? Как выполняет математический процессор расчеты по формулам, в которых встречается ранжированная переменная?

4.5. Что такое векторная (индексная) переменная? Как с ее помощью определить одномерный массив? Как определить трехмерный массив?

4.6. С какой величины по умолчанию начинается счет индексов, и каким оператором этот порядок можно изменить?

4.7. Что такое определяемая пользователем функция, как ее определить и чем она отличается от встроенных функций?

## РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кудрявцев, Е. М.* MathCAD 8: учебник / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК, 2000. – 320 с. – ISBN 5-89818-058-3.

2. *Он же.* MathCAD 11 : Полное руководство по русской версии / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 592 с. – ISBN 5-94074-175-4.

3. *Кирьянов, Д. В.* MathCAD 13 / Д. В. Кирьянов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с. – ISBN 5-94157-850-4.

4. *Дьяконов, В. П.* MathCAD 2001 : учеб. курс / В. П. Дьяконов. – СПб. ; М. ; Харьков ; Минск : Питер, 2001. – 624 с. – ISBN 5-318-00367-2.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ .....	3
2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА И ОСНОВ РАБОТЫ С НИМ.....	14
2.1. Интерфейс <i>MathCAD</i> .....	14
2.2. Начало работы в <i>MathCAD</i> .....	18
2.3. Ввод рабочей тетради .....	19
2.3.1. Ввод формул .....	20
2.3.2. Исправление неверно введенной формулы .....	22
2.3.3. Ввод вычислительных операторов .....	23
2.3.4. Ввод текста .....	24
2.4. Основные типы данных и переменных .....	24
2.4.1. Вещественные и комплексные константы .....	24
2.4.2. Вещественные и комплексные переменные .....	26
2.4.3. Векторные переменные .....	29
2.4.4. Матричные переменные .....	30
2.4.5. Ранжированные переменные.....	31
2.4.6. Логические переменные .....	32
2.4.7. Символьные и строковые переменные .....	32
2.4.8. Системные переменные.....	32
2.5. Вычислительные операции .....	33
2.5.1. Арифметические операторы .....	33
2.5.2. Логические операторы.....	34
2.5.3. Операторы математического анализа .....	34
2.5.4. Операторы для работы с векторами и матрицами .....	34
2.5.5. Встроенные функции.....	35
2.5.6. Функции, определяемые пользователем.....	35
2.6. Вывод результатов в графической форме с использованием прямоугольной системы координат .....	36
3. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ.....	39
4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ .....	40
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ..	41

ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПАКЕТА MATHCAD  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭС

Методические указания к лабораторной работе  
по курсу «Практикум по САПР»

Составитель  
ДАВЫДОВ Геннадий Дмитриевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор М. В. Руфицкий

Подписано в печать 02.05.07.  
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,56. Тираж 70 экз.  
Заказ  
Издательство  
Владимирского государственного университета.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.