

$$\sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m a_j f_j(x_i) f_l(x_i) \right] = \sum_{i=1}^n y_i f_l(x_i) \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m a_j f_j(x_i) f_2(x_i) \right] = \sum_{i=1}^n y_i f_2(x_i)$$

$$\dots$$

$$\sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m a_j f_j(x_i) f_m(x_i) \right] = \sum_{i=1}^n y_i f_m(x_i)$$

Для получения более компактной формы записи аналитических соотношений введем следующие матричные обозначения. Систему базовых функций  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$  будем рассматривать как матричную функцию скалярного аргумента

$$f(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \dots \\ f_m(x) \end{bmatrix}$$

Для числовых значений аргументов, функций и коэффициентов аппроксимирующей зависимости определим соответственно векторы

$$X = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ y_1 & y_2 & \dots & y_n \\ A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_m \end{bmatrix}$$

Для всей системы базовых функций определим матрицу

$$F = \begin{bmatrix} f_1(x_1) & f_1(x_2) & \dots & f_1(x_n) \\ f_2(x_1) & f_2(x_2) & \dots & f_2(x_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_m(x_1) & f_m(x_2) & \dots & f_m(x_n) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Минимуму квадратичного отклонения соответствуют коэффициенты, рассчитанные по формуле

$$A = (F F^T)^{-1} F^T Y \quad (8)$$

При этом величина среднего квадратичного отклонения

$$\theta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \Delta \Delta^T} = \sqrt{\frac{1}{n} (Y - F A)^T (Y - F A)} \quad (9)$$

может быть определена по формуле

$$\theta = \sqrt{\frac{1}{n} (Y - A^T F) (Y - A^T F)^T} \quad (10)$$

*Метод наименьших квадратов для степенного полинома*

В том случае, когда аппроксимирующая функция является степенным полиномом и имеет вид

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_{m-1} x^{m-1} = \sum_{j=1}^m a_j x^{j-1} \quad (11)$$

система базовых функций определяется матрицей

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_n^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{m-1} & x_2^{m-1} & \dots & x_n^{m-1} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Для произведения матриц  $F F^T$  и матрицы произведения  $F^T Y$  при этом получим

$$F F^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_n^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{m-1} & x_2^{m-1} & \dots & x_n^{m-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^{m-1} \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^{m-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^{m-1} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{m-1} \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^m \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^n x_i^{m-1} & \sum_{i=1}^n x_i^m & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{2m-2} \end{bmatrix}$$

и

$$F Y^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_n^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{m-1} & x_2^{m-1} & \dots & x_n^{m-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \dots \\ \sum x_i^{m-1} y_i \end{bmatrix}$$

На основании полученных произведений определим выражение для матрицы коэффициентов аппроксимирующей полиномиальной функции

$$A = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_{m-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{m-1} \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^m \\ \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^n x_i^{m-1} & \sum_{i=1}^n x_i^m & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{2m-2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \dots \\ \sum x_i^{m-1} y_i \end{bmatrix}$$

Для практических вычислений в среде MATLAB удобно пользоваться специальной матрицей, которая носит название матрицы Вандермонда и определяется функцией *vander(X)*.  
Векторный аргумент

*Метод наименьших квадратов*

В соответствии с этим методом коэффициенты аппроксимирующей функции ищутся, исходя из требований ее максимального приближения ко всем экспериментальным точкам, не зависимо от их количества. При этом аппроксимирующая функция в принципе может и не проходить ни через одну точку экспериментальных данных.

В качестве критерия степени приближения возьмем величину среднего квадратичного отклонения аналитической зависимости от экспериментальных данных

$$\theta = \sum_{i=1}^n [y_i - f(a_1, a_2, \dots, a_m, x_i)]^2 \tag{2}$$

Минимальному значению критерия отвечают условия

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial a_1} &= \sum_{i=1}^n [y_i - f(a_1, a_2, \dots, a_m, x_i)] \frac{\partial f(a_1, a_2, \dots, a_m, x_i)}{\partial a_1} = 0 \\ \frac{\partial \theta}{\partial a_2} &= \sum_{i=1}^n [y_i - f(a_1, a_2, \dots, a_m, x_i)] \frac{\partial f(a_1, a_2, \dots, a_m, x_i)}{\partial a_2} = 0 \\ &\dots \\ \frac{\partial \theta}{\partial a_m} &= \sum_{i=1}^n [y_i - f(a_1, a_2, \dots, a_m, x_i)] \frac{\partial f(a_1, a_2, \dots, a_m, x_i)}{\partial a_m} = 0 \end{aligned} \tag{3}$$

Часто аппроксимирующую функцию ищут в виде суммы некоторой совокупности более простых базовых функций  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$ , т.е.

$$y = f(a_1, a_2, \dots, a_m, x) = \sum_{j=1}^m a_j f_j(x) \tag{4}$$

В этом случае система уравнений (3) принимает вид

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n [y_i - \sum_{j=1}^m a_j f_j(x_i)] f_1(x_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n [y_i - \sum_{j=1}^m a_j f_j(x_i)] f_2(x_i) &= 0 \\ &\dots \\ \sum_{i=1}^n [y_i - \sum_{j=1}^m a_j f_j(x_i)] f_m(x_i) &= 0. \end{aligned} \tag{5}$$

Из (5) следует

## КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Тема: Аппроксимация функциональных зависимостей

Для установления функциональной зависимости между двумя переменными  $x$  и  $y$  проведен эксперимент, в результате которого получена совокупность из  $m$  пар чисел  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)$ . Для аналитического описания такой зависимости предлагается некоторая функция

$$y = f(x, a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (1)$$

зависящая от  $n$  параметров, числовые значения которых требуется определить на основании эксперимента.

В зависимости от требований к свойствам аппроксимирующей функции можно предложить различные критерии определения коэффициентов. Рассмотрим основные методы, нашедшие наибольшее практическое применение.

### Метод выборочных значений

В качестве критерия предлагается требование прохождения функциональной зависимости через конкретные экспериментальные точки. При этом возможны следующие случаи.

Если  $n = m$ , то для определения коэффициентов составляют систему уравнений

$$\begin{aligned} y_1 &= f(x_1, a_1, a_2, \dots, a_n) \\ y_2 &= f(x_2, a_1, a_2, \dots, a_n) \\ &\dots \dots \dots \\ y_n &= f(x_n, a_1, a_2, \dots, a_n) \end{aligned}$$

Если удастся найти решение этой системы относительно коэффициентов  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , то оно и определит конкретное значение функциональной зависимости, соответствующей эксперименту.

Если  $n > m$ , то в системе число переменных оказывается больше, числа уравнений и задача не имеет решения. Для определения коэффициентов требуется дополнить данные.

Если  $n < m$ , то в системе количество определяемых переменных оказывается меньше, чем уравнений. В этом случае из  $m$  уравнений оставляют только  $n$ , выбирая наиболее важные из экспериментальных данных.

Полученная с помощью этого метода функциональная зависимость обычно не обладает достаточной гладкостью, имея в промежуточных точках  $(x \in [x_i, x_{i+1}], i = 1, \dots, n)$  существенные отклонения. Это обстоятельство в ряде случаев служит существенным препятствием применения метода.

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}$$

с компонентами

$$w_j = x_i^{n-j}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

эти функции преобразует в матрицу, столбцы которой являются степенями (в смысле поэлементного возведения) исходного вектора

$$\begin{aligned} W(X) &= [X^{n(n-1)} \dots X^{n(1)} X^{n(0)}] = \\ &= \begin{bmatrix} x_1^{n-1} & \dots & x_1^1 & x_1^0 \\ x_2^{n-1} & \dots & x_2^1 & x_2^0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n^{n-1} & \dots & x_n^1 & x_n^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^{n-1} & \dots & x_1 & 1 \\ x_2^{n-1} & \dots & x_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n^{n-1} & \dots & x_n & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Приняв во внимание вышесказанное, вычисление матрицы  $F$  может быть осуществлено посредством транaponирования матрицы Вандермонда, с последующим выделением из нее  $m$  столбцов т.е.

$$W = \text{vander}(X); \quad F = W(:, 1:m).$$

Например при  $m = 2$  для

$$X = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$$

Имеем

$$W = \text{vander} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 4 & 2 & 1 \\ 3 & 9 & 3 & 1 \end{bmatrix}, \quad F = W(:, 1:2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 4 & 2 \\ 9 & 3 \end{bmatrix}$$

Использование этого приема позволяет существенно упростить все дальнейшие вычисления.

### Задачи исследования

На основании исходных данных, полученных в приложении 1 и содержащих абсциссы  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  и ординаты  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6$  шести точек, выполнить аппроксимацию степенными полиномами различной степени, показав влияние степени полинома на его аппроксимирующие свойства.

Для этого необходимо:

- определить с помощью метода наименьших квадратов коэффициенты аппроксимирующих полиномов для различных степеней,
  - построить совмещенное графическое изображение полиномов и исходных точек.
- Кроме того, рекомендуется исследовать зависимость погрешности аппроксимации от степени полинома. Последнее задание не является обязательным и служит для повышения рейтинга студента.

В качестве примера в приложении 2 приведен текст файла *аргохи.m*, содержащего программу аппроксимации экспериментальных данных полиномом пятого порядка. Программа разработана на основании приведенной методики и соответствует варианту 25.

В программе приняты следующие обозначения:

$X$  – матрица абсцисс точек эксперимента,

$Y$  – матрица их ординат,

$m$  – степень аппроксимирующего степенного полинома,

$W$  – матрица Вандермонда,

$F$  – матрица системы базисных функций,

$A$  – матрица коэффициентов аппроксимирующего степенного полинома,

*хиха* – максимальное значение абсциссы точек эксперимента,

$DY$  – матрица разностей фактических значений ординат и их расчетных значений, вычисленных с помощью аппроксимирующего полинома,

$n$  – число точек эксперимента (число элементов в  $X$  и  $Y$ ),

*тетали* – величина среднего квадратичного отклонения расчетных значений ординат аппроксимирующей функции от их фактических значений в точках эксперимента,

$kt$  – количество точек в графике выводимой аппроксимирующей функции,

$XN, YN, FN$  и  $YN$  – матрицы, соответствующие ранее рассмотренным матрицам  $X, Y, F$  и  $Y$ , но определенные для выводимой аппроксимирующей функции,

$s1$  – символьная переменная, содержащая информацию о порядке полинома,

$s2$  – символьная переменная, содержащая запятую,

### ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Семенова С.Э., Юдин В.В. Вычисления в МАТЛАВ: Учебное пособие.- Рыбинск РГАТА имени П.А.Соловьева, 2009.-144 с.
2. Юдин В.В. Моделирование в электронной технике: Учебное пособие.- Рыбинск РГАТУ имени П.А.Соловьева, 2013.-134 с.

Дополнительная:

- 1 Юдин В.В., Малков Б.Б. Исследование на ЭВМ моделей элементов РЭА: Учебное пособие / ЯПИ, Ярославль, 1989. – 80 с.
2. Юдин В.В. Матричные методы анализа электронных схем: Учебное пособие / Рыбинск, РГАТА, 1999. – 80 с.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебный материал дисциплины достаточно полно изложен в книгах списка основной литературы. Дополнительная литература рекомендуется для более глубокой проработки отдельных разделов программы и лучшего освоения материала.

Изучение дисциплины рекомендуется проводить последовательно в порядке перечисления разделов рабочей программы: основные понятия и определения, модели элементов, устройства и оборудования, системный подход при разработке моделей, матричные модели, средства анализа и методы разработки моделей.

2. *Модели элементов устройств.* Определение и классификация элементов. Эквивалентные схемы. Физические процессы в элементах. Технические характеристики элементов. Обозначения в технической документации. Математические объекты, используемые при моделировании устройств промышленной электроники.

3. *Методы разрядки моделей.* Аналогия и подобие. Модели механических и электрических колебательных процессов. Получение модели с безразмерными параметрами. Модели инерционных объектов. Модель многозонной электропечи сопротивления. Ее электрический аналог. Метод разности в моделировании. Аппроксимация функциональных зависимостей для функций одной и двух переменных. Дискретизация физических процессов.

4. *Матричные модели элементов и устройств.* Матричные модели элементов и устройств электроэнергетики и электротроники. Использование специальных матриц. Матрицы с коммутационными элементами. Матричная форма записи системы дифференциальных уравнений. Решение систем в матричной форме. Использование матричной эквивалентности. Многообмоточный трансформатор. Матричное задание его параметров. Решение относительно магнитного потока и токов и относительно токов. Преобразование многообмоточного трансформатора к эквивалентной электрической цепи. Метод объединенных матриц. Топологические матрицы, матрицы параметров и воздействий. Матричное уравнение электромагнитной цепи. Электрическая и магнитная эквивалентные схемы электромагнитной цепи. Анализ электромагнитных цепей при несинусоидальном воздействии.

5. *Моделирование факторов внешней среды.* Моделирование случайных процессов. Последовательные величины. Методы получения стандартных случайных величин с равномерным распределением. Преобразование закона распределения случайных величин. Применение МАТЛАВ для формирования и исследования случайных последовательностей. Метод статистических испытаний. Применение его для оценки производственных допусков и надежности функционирования устройств и электрических аппаратов.

53 – символьная переменная, содержащая информацию о среднем квадратичном отклонении.

Программы производят вычисление коэффициентов аппроксимированного полинома, вычисляет значения этого полинома во всем диапазоне изменения аргумента в 40 точках, вычисляет величину среднего квадратичного отклонения и строит график аппроксимированной функции. Одновременно на график наносится исходные точки эксперимента в виде звездочек.

В приложении 3 приведен другой вариант программы анализа аппроксимированных свойств степенного полинома. В основу программы положены следующие функции полиномиальной алгебры, входящие в состав МАТЛАВ:

$P=polym(XT, UT, N)$  – функция, определяющая коэффициенты  $P$  степенного полинома  $N$ -й степени, найденным образом соответствующим исходным данным, заданным векторами  $XT$  и  $UT$ ;

$Y=polym(P, X)$  – функция, определяющая значение ординат  $Y$  степенного полинома, заданного вектором  $P$ , в точке с абсциссой  $X$ .

Текст программы находится в файле *prog\_xr.m*, формирующей цикл аппроксимаций с разными значениями степеней полинома. Результаты расчетов выводятся в разбитые окна, сформированные функцией *subplot*.

В процессе вычисления программа обращается к функции *arcox(XT, UT, N)*, осуществляющей решение задачи аппроксимации исходных данных  $XT$  и  $UT$  полиномом заданной степени  $N$  с последующим вычислением значений полинома в промежуточных точках диапазона [*min(XT), max(XT)*].

С целью уменьшения общей трудоемкости работы при разработке программы анализа студентами могут быть использованы приведенные функции или их фрагменты.

## ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины является подготовка студентов направления подготовки 140400 Электротехника и энергетика в области компьютерного моделирования.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- получение студентами знаний о принципах и методах моделирования в электротехнике, электронной технике и электронике;
- приобретение студентами необходимых навыков в разработке математических моделей;
- применение студентами полученных знаний и навыков при решении практических задач в процессе разработки устройств и систем управления различного назначения.

Дисциплина связана с предшествующими ей курсами математики и физики и требует знания разделов: дифференциальное и интегральное исчисление, дифференциальные уравнения, теория вероятностей, электричество и магнетизм.

Изучение дисциплины рассчитано на 198 часов учебных занятий, из них аудиторных - 16 часов, самостоятельная работа - 186 час. Дисциплина изучается в шестом семестре. Учебным планом предусмотрено выполнение контрольной работы. Форма контроля знаний - экзамен.

Контрольная работа представляет собой комплексную задачу аппроксимации экспериментальных данных степенным полиномом. Задания на контрольную работу выдаются в период установочной сессии. Они представлены в вариантах. Студент выполняет тот вариант, номер которого соответствует его номеру в списке группы.

Контрольная работа представляется на проверку в полном объеме не позднее, чем за три дня до экзамена. Если работа не зачтена, преподаватель указывает, какую часть контрольных заданий переделать или выполнить вновь. Работа оценивается положительно, если правильно выполнено не менее 60% общего объема заданий.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. *Среда моделирования MATLAB*. Матрицы и работа с ними. Задание векторов и матриц. Использование двосточных при задании векторов и матриц. Визуализация векторов и матриц. Сложение и умножение матриц. Возведение в степень и обращение матриц. Массивы и работа с ними. Операции поэлементного сложения, вычитание массивов, умножение, деления массивов. Степени массивов. Операции отношения. Логические операции. Элементарные математические функции

## Приложение 1

## Варианты задания

Вариант	Значения функции $U_i$					
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$
Вар.1	0.1	3.2	2.4	4.1	4.9	5.4
Вар.2	0.2	3.1	2.2	4.3	4.8	4.9
Вар.3	0.1	2.9	1.8	4.7	5.0	5.1
Вар.4	0.2	3.2	1.9	3.8	5.1	5.4
Вар.5	0.1	3.1	2.4	3.7	4.9	4.9
Вар.6	0.2	2.9	2.2	4.1	4.8	5.1
Вар.7	0.1	3.2	1.8	4.3	5.0	5.4
Вар.8	0.2	3.1	1.9	4.7	5.1	4.9
Вар.9	0.1	2.9	2.4	3.8	4.9	5.1
Вар.10	0.2	3.2	2.2	3.7	4.8	5.4
Вар.11	0.1	3.1	1.8	4.1	5.0	4.9
Вар.12	0.2	2.9	1.9	4.3	5.1	5.1
Вар.13	0.1	3.2	2.4	4.7	4.9	5.4
Вар.14	0.2	3.1	2.2	3.8	4.8	4.9
Вар.15	0.1	2.9	1.8	3.7	5.0	5.1
Вар.16	0.2	3.2	1.9	4.1	5.1	5.4
Вар.17	0.1	3.1	2.4	4.3	4.9	4.9
Вар.18	0.2	2.9	2.2	4.7	4.8	5.1
Вар.19	0.1	3.2	1.8	3.8	5.0	5.4
Вар.20	0.2	3.1	1.9	3.7	5.1	4.9
Вар.21	0.1	2.9	2.4	4.1	4.9	5.1
Вар.22	0.2	3.2	2.2	4.3	4.8	5.4
Вар.23	0.1	3.1	1.8	4.7	5.0	4.9
Вар.24	0.2	2.9	1.9	3.8	5.1	5.1
Вар.25	0.1	3.2	2.7	4.6	4.9	5.1

Компьютерное моделирование: Методические указания к выполнению контрольной работы / Сост. В. В. Юдин; РГАТУ имени П. А. Соловьева. – Рыбинск, 2013. – 16 с. – (Зачная форма обучения / РГАТУ имени П. А. Соловьева).

Данные методические указания предназначены для выполнения контрольной работы студентами направления 140400 Электротехника и энергетика.

#### СОСТАВИТЕЛЬ

д-р техн. наук, профессор В. В. Юдин

#### ОБСУЖДЕНО

на заседании кафедры  
«Электротехника и промышленная электроника»

#### РЕКОМЕНДОВАНО

Методическим Советом РГАТУ имени П. А. Соловьева

Зав. РИО М. А. Салкова

Подписано в печать 24.12.2013 г.  
Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 50. Заказ 5.

Множественная лаборатория РГАТУ имени П. А. Соловьева  
152934, Рыбинск, ул. Пушкина, 53

```

Текстовый файл архив.m
программы аппроксимации данных
полномом пятого порядка для варианта 25.
%<<< архохв >>>
X=[1 2 3 4 5 6];
Y=[0.1 3.2 2.7 4.6 4.9 5.1];
m=5;
W=fitrid(vander(X));
F=W(1:m,:);
A=((F*F)^(1)*F)*Y';
xmax=max(X);
DY=Y-A*F;
n=length(X);
tetamin=sqrt(DY*DY/n);
kt=40;
XN=1:xmax/kt:xmax;
WN=fitrid(vander(XN));
FN=W\N(1:m,:);
YN=A*FN;
plot(X,Y,'*',XN,YN,'line Width',3)
grid
s1=stcat('m = ',dim2str(m));
s2='';
s3=stcat(' tetamin = ',dim2str(tetamin));
title(stcat(s1,s2,s3))

```

## Приложение 3

```

%=====
% <<< апрох >>>
% SUB: апрох
%=====
XТ=[1 2 3 4 5 6 7 8 9];
YТ=[1 2 4 7 5 3 2 1 0];
for i=1:8
    subplot(2,4,i)
    P=апрох(XТ,YТ,i);
    tit= strcat('N=', num2str(i));
    title(tit)
end
%-----
% <<< апрох >>>
% Аппроксимация степенным полиномом
% Построение графика и исходных точек
% IN: XТ,YТ - абсциссы и ординаты точек
% N - степень полинома
% OUT: P - коэффициенты полинома
%-----
function P=апрох(XТ,YТ,N)
P=polyfit(XТ,YТ,N);
k1=20;
xmax=max(XТ);
xmin=min(XТ);
dx=(xmax-xmin)/k1;
X=xmin:dx:xmax;
Y=polyval(P,X);
plot(X,Y,XТ,YТ,XТ,'o')
grid

```



МИНБЕРНАУКА РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЫБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. А. СОЛОВЬЕВА»

ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Методические указания к выполнению  
контрольной работы

РЫБИНСК  
2013