

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Национальный минерально-сырьевой университет
«Горный»

Кафедра информатики и компьютерных технологий

ИНФОРМАТИКА ПОСТРОЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ

*Методические указания по выполнению курсовой работы
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2015

УДК 004.67(076)

ИНФОРМАТИКА. ПОСТРОЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ. Методические указания по выполнению курсовой работы для студентов специальностей 130408, 130403 и 130404/ Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Составители: *Г.Н. Журов, А.Н. Никитин*. СПб, 2015. 76 с.

Применительно к программе курсовой работы по учебной дисциплине «Информатика» изложена технология применения метода наименьших квадратов для аппроксимации результатов экспериментов, представленных в виде таблиц, и оценки существенности параметров регрессии и корреляции. Даны общие указания по выполнению и оформлению курсовой работы, приведены расчетные формулы метода наименьших квадратов для построения эмпирических формул в виде полинома n -й степени, показана возможность линеаризации экспоненциальной зависимости, даны формулы для оценки значимости как уравнения регрессии в целом, так и отдельных его параметров. Приведены примеры выполнения задания в MS Excel, Mathcad и в среде программирования Delphi. Предложены задания для выполнения курсовой работы. Методические указания предназначены для студентов всех специализаций специальности 21.05.04 – «Горное дело».

Научный редактор доц. *А.Б. Маховиков*

Табл. 48. Ил. 25. Библиогр. 8.

© Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный», 2015

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа является завершающим этапом изучения дисциплины «Информатика». Выполнение работы требует творческого подхода и всестороннего исследования поставленного задания. Курсовая работа способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, полученных студентами по дисциплине, а также применению этих знаний к решению конкретных задач обработки информации.

Отчет должен начинаться с титульного листа и оформляется в виде пояснительной записки.

Порядок изложения материала следующий:

- задание;
- введение
- расчетные формулы;
- таблицы, выполненные средствами Microsoft Excel, с пояснениями;
- результаты расчета;
- представление результатов в виде графиков;
- алгоритмы и блок-схемы;
- макет формы, разработанной для решения задачи в пакете Delphi с необходимыми пояснениями;
- программа на языке Object Pascal с комментариями;
- результаты расчета по программе;
- результаты расчета в пакете Mathcad;
- заключение;
- библиографический список.

Сроки прохождения каждого этапа контролируются руководителем курсовой работы. Последовательное выполнение курсовой работы способствует формированию навыков проведения любого исследования.

ПОСТРОЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Очень часто, особенно при анализе эмпирических данных, возникает необходимость найти в явном виде функциональную зависимость между величинами x и y , полученными в результате измерений.

Общая теория построения эмпирических формул со строгим аналитическим выводом формул приведена в работе [1]. При аналитическом исследовании взаимосвязи между двумя величинами x и y производят ряд наблюдений и в результате получают таблицу значений:

x	x_1	x_2	...	x_i	...	x_n
y	y_1	y_2	...	y_i	...	y_n

Для установления функциональной зависимости между величинами x и y (аналитический вид ее, как правило, неизвестен), необходимо решить практически важную задачу – найти эмпирическую формулу этой зависимости

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

где a_1, a_2, \dots, a_m - неизвестные параметры, значения которой в точках x_i мало отличались бы от опытных значений y_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

Обычно указывают класс функций (например, множество линейных, степенных, показательных и т.п.) из которого выбирается функция $f(x)$, и далее определяются наилучшие значения параметров.

Если в эмпирическую формулу (1) подставить исходные x_i , то получим теоретические значения $y_i^T = f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m)$, где $i = 1, 2, \dots, n$.

Разности $y_i^T - y_i$ называются отклонениями и представляют собой расстояния по вертикали от точек с координатами (x_i, y_i) (точка M_i на рис. 1) до графика эмпирической функции.

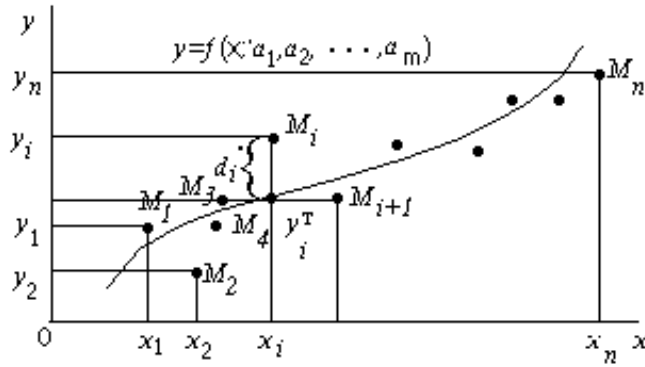


Рисунок 1

Согласно методу наименьших квадратов наилучшими коэффициентами a_1, a_2, \dots, a_m считаются те, для которых сумма квадратов отклонений найденной эмпирической функции от заданных значений будет минимальной:

$$S(a_1, a_2, \dots, a_m) = \sum_{i=1}^n [f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m) - y_i]^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Поясним геометрический смысл метода наименьших квадратов.

Каждая пара чисел (x_i, y_i) из исходной таблицы определяет точку M_i на плоскости XOY . Используя формулу (1) при различных значениях коэффициентов a_1, a_2, \dots, a_m можно построить ряд кривых, которые являются графиками функции (1). Задача состоит в определении коэффициентов a_1, a_2, \dots, a_m таким образом, чтобы сумма квадратов расстояний по вертикали от точек $M_i(x_i, y_i)$ до графика функции (1) была наименьшей (рис.1).

Построение эмпирической формулы (1) состоит из двух этапов: выяснение общего вида этой формулы и определение ее наилучших параметров.

Если неизвестен характер зависимости между данными величинами x и y , то вид эмпирической зависимости является произ-

вольным. Предпочтение отдается простым формулам, обладающим хорошей точностью. Удачный выбор эмпирической формулы в значительной мере зависит от знаний исследователя в предметной области, используя которые, он может указать класс функций из теоретических соображений. Большое значение имеет изображение полученных данных в декартовых или в специальных системах координат (полулогарифмической, логарифмической и т.д.). По положению точек можно примерно угадать общий вид зависимости путем установления сходства между построенным графиком и образцами известных кривых.

Определение наилучших коэффициентов a_1, a_2, \dots, a_m входящих в эмпирическую формулу производят хорошо известными аналитическими методами.

Для того, чтобы найти набор коэффициентов a_1, a_2, \dots, a_m , которые доставляют минимум функции S , определяемой формулой (2), используем необходимое условие экстремума функции нескольких переменных - равенство нулю частных производных. В результате получим нормальную систему для определения коэффициентов a_i ($i = 1, 2, \dots, m$):

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0; \quad \dots; \quad \frac{\partial S}{\partial a_m} = 0. \quad (3)$$

Таким образом, нахождение коэффициентов a_i сводится к решению системы (3).

Эта система упрощается, если эмпирическая формула (1) линейна относительно параметров a_i , тогда система (3) - будет линейной.

Конкретный вид системы (3) зависит от того, из какого класса эмпирических формул мы ищем зависимость (1). В случае линейной зависимости $y = a_1 + a_2 x$ система (3) примет вид:

$$\begin{cases} a_1 n + a_2 \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i. \end{cases} \quad (4)$$

Эта линейная система может быть решена любым известным методом (Гаусса, простых итераций, формулами Крамера).

В случае квадратичной зависимости $y = a_1 + a_2x + a_3x^2$ система (3) примет вид:

$$\begin{cases} a_1n + a_2 \sum_{i=1}^n x_i + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i & , \\ a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i & , \\ a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i & . \end{cases} \quad (5)$$

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

В ряде случаев в качестве эмпирической формулы берут функцию в которую неопределенные коэффициенты входят нелинейно. При этом иногда задачу удается линеаризовать т.е. свести к линейной. К числу таких зависимостей относится экспоненциальная зависимость

$$y = a_1 \cdot e^{a_2x}, \quad (6)$$

где a_1 и a_2 неопределенные коэффициенты.

Линеаризация достигается путем логарифмирования равенства (6), после чего получаем соотношение

$$\ln y = \ln a_1 + a_2x \quad (7)$$

Обозначим $\ln y$ и $\ln a_1$ соответственно через t и c , тогда зависимость (6) может быть записана в виде $t = c + a_2x$, что позволяет применить формулы (4) с заменой a_1 на c и y_i на t_i .

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ КОРРЕЛЯЦИИ

График восстановленной функциональной зависимости $y(x)$ по результатам измерений (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ называется кривой регрессии. Оценка значимости уравнения регрессии в целом дается с помощью F -критерия Фишера. Непосредственно расчету F -

критерия предшествует анализ следующих числовых характеристик: коэффициент корреляции (линейная зависимость), коэффициент детерминированности, дисперсия на одну степень свободы.

Коэффициент корреляции является мерой линейной связи между зависимыми случайными величинами: он показывает, насколько хорошо в среднем может быть представлена одна из величин в виде линейной функции от другой.

Коэффициент корреляции вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (8)$$

где $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$, $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$, \bar{x} и \bar{y} — среднее арифметическое значение соответственно по x и y .

Коэффициент корреляции между случайными величинами по абсолютной величине не превосходит 1. Чем ближе $|\rho|$ к 1, тем теснее линейная связь между x и y .

В случае нелинейной корреляционной связи условные средние значения располагаются около кривой линии

Для описания уравнения регрессии рассмотрим следующие величины.

$$S_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \text{общая сумма квадратов отклонений,}$$

где \bar{y} среднее значение y_i .

Для линейной регрессии можно доказать следующее равенство

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^T)^2 + \sum_{i=1}^n (y_i^T - \bar{y})^2 .$$

Первое слагаемое, равное $S_{\text{ост}} = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^T)^2$ и называемое остаточной суммой квадратов отклонений, характеризует отклонение экспериментальных данных от теоретических.

Второе слагаемое, равное $S_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n (y_i^T - \bar{y})^2$ и называемое факторной суммой квадратов отклонений объясненной регрессией, характеризует разброс данных.

Очевидно, что справедливо следующее равенство

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{ост}} + S_{\text{факт}}.$$

Коэффициент детерминированности (детерминации) определяется по формуле: $R^2 = 1 - \frac{S_{\text{ост}}}{S_{\text{общ}}}$. (9)

Поскольку $S_{\text{ост}} \leq S_{\text{общ}}$, то R^2 может изменяться в пределах от 0 до 1. Чем меньше остаточная сумма квадратов по сравнению с общей суммой квадратов, тем больше значение коэффициента детерминированности R^2 , который показывает, насколько хорошо уравнение, полученное с помощью регрессионного анализа, объясняет взаимосвязи между переменными.

Коэффициент детерминированности служит показателем тесноты связи между независимой переменной. Иногда показателям тесноты связи можно дать качественную оценку (*шкала Чеддока*):

Количественная мера тесноты связи	Качественная характеристика силы связи
0,1-0,3	Слабая
0,3-0,5	Умеренная
0,5-0,7	Заметная
0,7-0,9	Высокая
0,9-0,99	Весьма высокая

Для обоснованного применения уравнения регрессии необходимо оценить полученные характеристики уравнения регрессии.

Важной оценкой является установление статистической значимости коэффициента детерминированности и параметров полученного уравнения, то есть оценка вероятности того, что данные величины не примут нулевые значения.

Проверка значимости уравнения в целом, то есть гипотезы о наличии линейной зависимости между X и Y , проводится с помощью критерия Фишера. Проверка значимости уравнения в целом предполагает проверку нулевой гипотезы об отсутствии линейной связи между X и Y , то есть $H_0: R^2 = 0$, альтернативная гипотеза $H_1: R^2 \neq 0$, то есть R^2 существенно отличен от нуля и уравнение значимо. Если нулевая гипотеза справедлива, то $S_{\text{ост}}$ мало отличается от $S_{\text{факт}}$. Для отклонения H_0 необходимо, чтобы регрессионная (факторная) дисперсия превышала остаточную в несколько раз.

Для линейного уравнения регрессии справедливо выражение

$$R^2 = 1 - \frac{S_{\text{ост}}}{S_{\text{общ}}} = 1 - \frac{S_{\text{ост}}}{S_{\text{ост}} + S_{\text{факт}}} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{S_{\text{факт}}}{S_{\text{ост}}}}.$$

Отсюда следует, что чем больше отношение $\frac{S_{\text{факт}}}{S_{\text{ост}}}$, тем ближе значение коэффициента детерминированности к единице.

Это утверждение справедливо и для нелинейной регрессии. Приведем $S_{\text{ост}}$ и $S_{\text{факт}}$ к сравнимому виду. Существует соотношение между числом степеней свободы df (числом степеней независимого варьирования признака) для общей, факторной и остаточной сумм квадратов:

$$df_{\text{общ}} = df_{\text{ост}} + df_{\text{факт}}.$$

Для парной линейной регрессии:

$$df_{\text{общ}} = n - 1; \quad df_{\text{факт}} = 1; \quad df_{\text{ост}} = n - 2,$$

где n - число единиц совокупности.

Итак, имеем два равенства:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^T)^2 + \sum_{i=1}^n (y_i^T - \bar{y})^2, \quad (10)$$

$$n-1 = 1 + (n-2).$$

Разделив каждую сумму квадратов на соответствующее ей число степеней свободы, получим средний квадрат отклонений, или, что то же самое, дисперсию на одну степень свободы D .

$$D_{\text{общ}} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}; \quad (11)$$

$$D_{\text{факт}} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^T - \bar{y})^2}{m}; \quad (12)$$

$$D_{\text{ост}} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^T)^2}{n-m-1}, \quad (13)$$

где m - число параметров при переменных x .

Для линейной и экспоненциальной аппроксимации $m = 1$, для квадратичной аппроксимации $m = 2$.

Критерий Фишера определяется следующим соотношением:

$$F = \frac{D_{\text{факт}}}{D_{\text{ост}}}. \quad (14)$$

Использование критерия Фишера предполагает вычисление $F_{\text{набл}}$ и его сравнение с табличным значением $F_{\text{табл}}$, которое зависит от уровня значимости α и числа степеней свободы для факторной и остаточной сумм. $F_{\text{табл}}$ определяется либо с помощью таблиц, разработанных английским статистиком Снедекором, либо с использованием специализированных пакетов программ, например, в Excel для этого может быть использована функция ФРАСПРОБР().

Если $F_{\text{набл}} > F_{\text{табл}}$, нулевая гипотеза H_0 об отсутствии связи признаков отклоняется и делается вывод о справедливости гипотезы H_1 (о существенности этой связи, значимости уравнения регрессии). Если же величина $F_{\text{набл}}$ окажется меньше табличной, то есть $F_{\text{набл}} < F_{\text{табл}}$, то вероятность нулевой гипотезы H_0 выше заданного уровня значимости (например, 0.05) и гипотеза H_0 не может быть отклонена без серьезного риска сделать неправильный вывод о наличии линейной связи между X и Y . В этом случае уравнение регрессии считается статистически незначимым, линейной связи между X и Y нет.

Для проверки существенности в целом уравнения нелинейной регрессии по F -критерию Фишера F может быть вычислена как по формуле (14), так и через коэффициент детерминированности по формуле:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m}, \quad (15)$$

где R^2 - коэффициент детерминированности; n - число наблюдений; m - число параметров при переменных x .

Величина m характеризует число степеней свободы для факторной суммы квадратов, а $(n - m - 1)$ - число степеней свободы для остаточной суммы квадратов.

Для линейной и экспоненциальной функций формула F -критерия примет вид:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot (n - 2). \quad (16)$$

Для параболы формула F -критерия будет:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - 3}{2}. \quad (17)$$

В уравнениях регрессии обычно оценивается значимость не только уравнения в целом, но и отдельных его параметров, так для

линейной регрессии с этой целью по каждому из параметров определяется его стандартная ошибка sa_1 и sa_2 .

Стандартная ошибка коэффициента регрессии a_2 определяется по формуле

$$sa_2 = \sqrt{\frac{D_{\text{ост}}}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (18)$$

Величина стандартной ошибки совместно с t -распределением Стьюдента при $n - 2$ степенях свободы применяется для проверки существенности коэффициента регрессии a_2 и для расчета его доверительных интервалов.

Выдвигается нулевая гипотеза: $H_0 : a_2 = 0$. Для оценки существенности коэффициента регрессии a_2 его величина сравнивается с его стандартной ошибкой, т.е. определяется фактическое значение t -критерия Стьюдента:

$t_{a_2} = \frac{|a_2|}{sa_2}$, которая затем сравнивается с табличным значением $t_{\text{табл}}$ при определенном уровне значимости α и числе степеней свободы $n - 2$. Если $t_{a_2} > t_{\text{табл}}$ гипотеза отклоняется и делается вывод, что коэффициент a_2 значим.

Стандартная ошибка параметра a_1 определяется по формуле:

$$sa_1 = \sqrt{D_{\text{ост}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (19)$$

Процедура оценивания существенности данного параметра не отличается от рассмотренной выше для коэффициента регрессии a_2 ; выдвигается нулевая гипотеза: $H_0 : a_1 = 0$, вычисляется

t - критерий: $t_{a_1} = \frac{|a_1|}{sa_1}$, его величина сравнивается с табличным значением $t_{\text{табл}}$ при $df = n - 2$ степенях свободы. Если $t_{a_1} > t_{\text{табл}}$ гипотеза отклоняется и делается вывод, что коэффициент a_1 значим.

Оценку значимости коэффициентов экспоненциальной зависимости производят по тем же формулам (18), (19), только в этих формулах при вычислении $D_{\text{ост}}$ необходимо $\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^{\text{т}})^2$ заменить на $\sum_{i=1}^n (\ln y_i - \ln y_i^{\text{т}})^2$.

Для оценки значимости квадратичной зависимости используется аналогичный подход. Значения стандартных ошибок вычисляются по формулам:

$$sa_1 = \sqrt{D_{\text{ост}} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n x_i^4 - \sum_{i=1}^n x_i^3 \sum_{i=1}^n x_i^3}{|A|} \right)}; \quad (20)$$

$$sa_2 = \sqrt{D_{\text{ост}} \cdot \left(\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^4 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n x_i^2}{|A|} \right)}; \quad (21)$$

$$sa_3 = \sqrt{D_{\text{ост}} \cdot \left(\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i}{|A|} \right)}; \quad (22)$$

Здесь $|A|$ - определитель матрицы $A = \begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 \end{pmatrix}$.

Заметим, что выражения, стоящие в скобках в формулах (20), (21), (22) есть просто диагональные элементы обратной матрицы A^{-1} .

ПРИМЕР

При проведении испытаний по взрыву ВВ установлена зависимость давления взрыва сульфидной пыли от концентрации. Данные приведены в табл. 1. Определить тип и параметры аналитической зависимости, аппроксимирующей результаты испытаний. Проверить значимость уравнения регрессии по критерию Фишера-Снедекора при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Установить значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Вычислить прогнозное значение давления взрыва при концентрации пыли равной $\bar{x} + 10\% \cdot R$, где \bar{x} - среднее арифметическое значение x , R - размах выборки: $R = x_{\max} - x_{\min}$.

Таблица 1

Давление взрыва (кПа)	Концентрация, %
90	0
86,7	2
79,1	5
75	7
69,52	10
68	11
64,1	12

Продолжение таблицы 1

Давление взрыва (кПа)	Концентрация, %
59,27	15
54,5	18
49	20
45	22
38,1	25
34,1	28
28,5	30

Сначала проведем расчеты, используя средства табличного процессора Microsoft Excel. Методика проведения таких расчетов подробно изложена в работе [2]. Для проведения расчетов данные целесообразно расположить в виде, представленном на рис. 2-3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	y_i	x_i	x_i^2	$x_i y_i$	x_i^3	x_i^4	$x_i^2 y_i$	$\text{LN}(y_i)$	$x_i \text{LN}(y_i)$
3	90	0	0	0	0	0	0	4,4998	0,00
4	86,7	2	4	173,4	8	16	346,8	4,4625	8,92
5	79,1	5	25	395,5	125	625	1977,5	4,3707	21,85
6	75	7	49	525	343	2401	3675	4,3175	30,22
7	69,52	10	100	695,2	1000	10000	6952	4,2416	42,42
8	68	11	121	748	1331	14641	8228	4,2195	46,41
9	64,1	12	144	769,2	1728	20736	9230,4	4,1604	49,93
10	59,27	15	225	889,05	3375	50625	13335,75	4,0821	61,23
11	54,5	18	324	981	5832	104976	17658	3,9982	71,97
12	49	20	400	980	8000	160000	19600	3,8918	77,84
13	45	22	484	990	10648	234256	21780	3,8067	83,75
14	38,1	25	625	952,5	15625	390625	23812,5	3,6402	91,01
15	34,1	28	784	954,8	21952	614656	26734,4	3,5293	98,82
16	28,5	30	900	855	27000	810000	25650	3,3499	100,50
17	840,89	205	4185	9908,65	96967	2413557	178980,4	56,5702	784,86
18	n=	14					$\text{LN}(Y)_{\text{cp}}=$	4,0407	
19	60,06357	14,64286							
20	60,06357	14,64286							

Рисунок 2 - Вычисление вспомогательных сумм и средних значений.

	J	K	L	M	N	O	P
1							
2	$(x_i - x_{\text{cp}})(y_i - y_{\text{cp}})$	$(x_i - x_{\text{cp}})^2$	$(y_i - y_{\text{cp}})^2$	$(y_i - y_i^{\text{ннм}})^2$	$(y_i - y_i^{\text{квдр}})^2$	$(\text{LN}(y_i) - \text{LN}(Y_{\text{cp}}))^2$	$(\text{LN}(y_i) - \text{LN}(y_i^{\text{аксн}}))^2$
3	-438,35	214,41	896,19	0,0328	0,0014	0,2108	0,0063
4	-336,76	159,84	709,50	0,8934	0,6603	0,1779	0,0018
5	-183,57	92,98	362,39	0,3120	0,3417	0,1089	0,0006
6	-114,16	58,41	223,10	0,3534	0,3188	0,0766	0,0000
7	-43,90	21,56	89,42	0,0005	0,0126	0,0404	0,0009
8	-28,91	13,27	62,99	0,2850	0,4074	0,0320	0,0020
9	-10,67	6,98	16,29	1,7797	1,4850	0,0143	0,0005
10	-0,28	0,13	0,63	0,0046	0,0039	0,0017	0,0030
11	-18,68	11,27	30,95	1,5836	1,8915	0,0018	0,0065
12	-59,27	28,70	122,40	0,0315	0,0072	0,0222	0,0023
13	-110,82	54,13	226,91	0,0128	0,0032	0,0548	0,0013
14	-227,48	107,27	482,40	0,8410	0,8800	0,1604	0,0004
15	-346,80	178,41	674,11	1,3904	1,1088	0,2616	0,0004
16	-484,73	235,84	996,26	0,1272	0,3230	0,4772	0,0160
17	-2404,38	1183,21	4893,54	7,6479	7,4448	1,6404	0,0421

Рисунок 3 - Вычисление вспомогательных сумм (продолжение).

Пояснения к расчетам:

Шаг 1. В ячейки A3:A16 заносим значения y_i .

Шаг 2. В ячейки B3:B16 заносим значения x_i .

Шаг 3. В ячейку C3 вводим формулу =B3^2.

Шаг 4. В ячейки C4:C16 эта формула копируется.

Шаг 5. В ячейку D3 вводим формулу =B3*A3.

Шаг 6. В ячейки D4:D16 эта формула копируется.

Шаг 7. В ячейку E3 вводим формулу =B3^3.

Шаг 8. В ячейки E4:E16 эта формула копируется.

Шаг 9. В ячейку F3 вводим формулу =B3^4.

Шаг 10. В ячейки F4:F16 эта формула копируется.

Шаг 11. В ячейку G3 вводим формулу =B3^2*A3.

Шаг 12. В ячейки G4:G16 эта формула копируется.

Шаг 13. В ячейку H3 вводим формулу =LN(A3)

Шаг 14. В ячейки H4:H16 эта формула копируется.

Шаг 15. В ячейку I3 вводим формулу =B3*LN(A3).

Шаг 16. В ячейки I4:I16 эта формула копируется.

Последующие шаги делаем с помощью автосуммирования Σ .

Шаг 17. В ячейку A17 вводим формулу =СУММ(A3:A16).

Шаг 18. В ячейку B17 вводим формулу =СУММ(B3:B16).

Шаг 19. В ячейку C17 вводим формулу =СУММ(C3:C16).

Шаг 20. В ячейку D17 вводим формулу =СУММ(D3:D16).

Шаг 21. В ячейку E17 вводим формулу =СУММ(E3:E16).

Шаг 22. В ячейку F17 вводим формулу =СУММ(F1:F16).

Шаг 23. В ячейку G17 вводим формулу =СУММ(G3:G16).

Шаг 24. В ячейку H17 вводим формулу =СУММ(H3:H16).

Шаг 25. В ячейку I17 вводим формулу =СУММ(I3:I16).

Далее вычисляем средние значения:

Шаг 26. В ячейку B18 вводим формулу =СЧЁТ(B3:B16).

Шаг 27. В ячейку A19 вводим формулу =A17/\$B\$18.

Шаг 28. В ячейку B19 вводим формулу =B17/\$B\$18.

Шаг 29. В ячейку H18 вводим формулу =H17/\$B\$18.

Продолжаем заполнение таблицы (рис. 3).

Шаг 30. В ячейку J3 вводим формулу =(B3-\$A\$19)*(A3-\$B\$19).

Шаг 31. В ячейки J4:J16 эта формула копируется.

Шаг 32. В ячейку K3 вводим формулу $=(B3-\$A\$19)^2$.

Шаг 33. В ячейки K4:K16 эта формула копируется.

Шаг 34. В ячейку L3 вводим формулу $=(A3-\$B\$19)^2$.

Шаг 35. В ячейки L4:L16 эта формула копируется.

Последующие шаги делаем с помощью автосуммирования Σ .

Шаг 36. В ячейку J17 вводим формулу $=\text{СУММ}(J3:J16)$.

Шаг 37. В ячейку K17 вводим формулу $=\text{СУММ}(K3:K16)$.

Шаг 38. В ячейку L17 вводим формулу $=\text{СУММ}(L3:L16)$.

На рис. 4 представлены расчеты для линейной аппроксимации.

	A	B	C	D	E	F
22	14	205	840,89	Линейная		
23	205	4185	9908,65	аппроксимация		
24				R^2	-0,9992	
25	Обратная матрица			$K_{\text{лин}}$	0,9984	
26	0,2526	-0,0124		a1=	89,8190	
27	-0,0124	0,0008		a2=	-2,0321	
28						
29	Гтабл=	4,75	Глин > Гтабл			
30	Глин=	7666,28	Уравнение значимо			
31	Дост=	0,63732	tтабл=	2,1604		
32	Sal=	0,401265	tal=	223,8394	tal > tтабл	значим
33	Sa2=	0,023209	ta2=	87,5573	ta2 > tтабл	значим

Рисунок 4 - Фрагмент рабочего листа MS Excel для линейной аппроксимации.

Шаг 39. В ячейку A22 вводим формулу $=\$B\18 .

Шаг 40. В ячейку B22 вводим формулу $=B17$.

Шаг 41. В ячейку A23 вводим формулу $=B17$.

Шаг 42. В ячейку B23 вводим формулу $=C17$.

Шаг 43. В ячейку C22 вводим формулу $=A17$.

Шаг 44. В ячейку C23 вводим формулу $=D17$.

Шаг 45. Выделяем ячейки A26:B27 и вводим формулу $\{=\text{МОБР}(A22:B23)\}$.

Шаг 46. Выделяем ячейки E26:E27 и вводим формулу $\{=\text{МУМНОЖ}(A26:B27;C22:C23)\}$.

Шаг 47. В ячейку E24 вводим формулу $=J17/(K17*L17)^{(1/2)}$.

Шаг 48. В ячейку M3 вводим формулу $=(A3-(\$E\$26+\$E\$27*B3))^2$.

- Шаг 49. В ячейки M4:M16 эта формула копируется.
- Шаг 50. В ячейку M17 вводим формулу =СУММ(M3:M16).
- Шаг 51. В ячейку E25 вводим формулу =1-M17/L17.
- Шаг 52. В ячейку B29 вводим число 4,75 (Определено по $\alpha = 0,05$, $df_1 = 1$ и $df_2 = 12$ в табл. 46 из приложения 1).
- Шаг 53. В ячейку B30 вводим формулу =E25*(B18-2)/(1-E25).
- Шаг 54. В ячейку B31 вводим формулу =M17/(B18-2).
- Шаг 55. В ячейку B32 вводим формулу
 =(B31*C17)/(B18*K17)^(1/2).
- Шаг 56. В ячейку B33 вводим формулу =(B31/K17)^(1/2).
- Шаг 57. В ячейку C30 вводим формулу
 =ЕСЛИ(B30>B29;"Уравнение значимо";"Уравнение не значимо").
- Шаг 58. В ячейку D31 вводим число 2,1604 (Определено по $\alpha = 0,05$ и $df = 13$ в табл. 47 из приложения 2).
- Шаг 59. В ячейку D32 вводим формулу =ABS(E26)/B32.
- Шаг 60. В ячейку D33 вводим формулу =ABS(E27)/B33.
- Шаг 61. В ячейку F32 вводим формулу
 =ЕСЛИ(D32>D\$31;"значим";"не значим").
- Шаг 62. В ячейку F33 вводим формулу
 =ЕСЛИ(D33>D\$31;"значим";"не значим").

Таким образом, уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$y = 89,819 - 2,0231 \cdot x. \quad (23)$$

При этом, согласно критерию Фишера-Снедекора, уравнение линейной регрессии (23) значимо и коэффициенты этого уравнения согласно критерия Стьюдента тоже значимы.

На рис. 5 представлены расчеты для квадратичной аппроксимации.

	A	B	C	D	E	F
35	14	205	4185	840,89	Квадратичная	
36	205	4185	96967	9908,65	аппроксимация	
37	4185	96967	2413557	178980,4		
38					$R^2_{\text{квадр}}$ =	0,9985
39	Обратная матрица					
40	0,4889	-0,0623	0,0017		a1=	90,0380
41	-0,0623	0,0114	-0,0003		a2=	-2,0784
42	0,0017	-0,0003	0,000012		a3=	0,0015
43						
44	Fтабл=	4,84	Fквадр > Fтабл			
45	Fквадр=	3609,69	Уравнение значимо			
46	Дост=	0,6768	tтабл=	2,1788		
47	sa1=	0,575228	ta1=	156,5256	a1 > tтабл	значим
48	sa2=	0,087829	ta2=	23,66374	a2 > tтабл	значим
49	sa3=	0,002802	ta3=	0,547717	a3 < tтабл	не значим

Рисунок 5 - Фрагмент рабочего листа MS Excel для квадратичной аппроксимации.

- Шаг 63. В ячейку A35 вводим формулу =B\$18.
Шаг 64. Шаг 86. В ячейку A36 вводим формулу =B17.
Шаг 65. Шаг 88. В ячейку A37 вводим формулу =C17.
Шаг 66. В ячейку B35 вводим формулу =B17.
Шаг 67 В ячейку B36 вводим формулу =C17.
Шаг 68 В ячейку B37 вводим формулу =E17.
Шаг 69. В ячейку C35 вводим формулу =C17.
Шаг 70. В ячейку C36 вводим формулу =E17.
Шаг 71. В ячейку C37 вводим формулу =F17.
Шаг 72. В ячейку D35 вводим формулу =A17.
Шаг 73. В ячейку D36 вводим формулу =D17.
Шаг 74. В ячейку D37 вводим формулу =G17.
Шаг 75. Выделяем ячейки A40:C42 и вводим формулу {=МОБР(A35:C37)}.
Шаг 76. Выделяем ячейки F40:F42 и вводим формулу {=МУМНОЖ(A40:C42;D35:D37)}.
Шаг 77. В ячейку N3 вводим формулу =(A3-(F\$40+F\$41*B3+F\$42*B3^2))^2.
Шаг 78. В ячейки N4:N16 эта формула копируется.

- Шаг 79. В ячейку N17 вводим формулу =СУММ(N3:N16).
- Шаг 80. В ячейку F38 вводим формулу =1-N17/L17.
- Шаг 81. В ячейку B44 вводим число 4,84 (Определено по $\alpha = 0,05$, $df_1 = 1$ и $df_2 = 11$ в табл. 46 из приложения 1).
- Шаг 82. В ячейку B45 вводим формулу =F38*(B18-3)/(2*(1-F38)).
- Шаг 83. В ячейку B46 вводим формулу =N17/(B18-3)
- Шаг 84. В ячейку B47 вводим формулу
 =(N17/(\$B\$18-3))*A40^(1/2).
- Шаг 85. В ячейку B48 вводим формулу
 =(N17/(\$B\$18-3))*B41^(1/2).
- Шаг 86. В ячейку B49 вводим формулу
 =(N17/(\$B\$18-3))*C42^(1/2).
- Шаг 87. В ячейку C45 вводим формулу
 =ЕСЛИ(B45>B44;"Уравнение значимо";"Уравнение не значимо").
- Шаг 88. В ячейку C45 вводим формулу
- Шаг 89. В ячейку D46 вводим число 2,1788 (Определено по $\alpha = 0,05$ и $df = 12$ в табл. 47 из приложения 2).
- Шаг 90. В ячейку D47 вводим формулу =ABS(F40)/B47.
- Шаг 91. В ячейку D48 вводим формулу =ABS(F41)/B48.
- Шаг 92. В ячейку D49 вводим формулу =ABS(F42)/B49.
- Шаг 93. В ячейку F47 вводим формулу
 =ЕСЛИ(D47>\$D\$46;"значим";"не значим").
- Шаг 94. В ячейку F48 вводим формулу
 =ЕСЛИ(D48>\$D\$46;"значим";"не значим").
- Шаг 95. В ячейку F49 вводим формулу
 =ЕСЛИ(D49>\$D\$46;"значим";"не значим").

Таким образом, уравнение квадратичной регрессии имеет вид:

$$y = 90,038 - 2,0784 \cdot x + 0,0015 \cdot x^2. \quad (24)$$

Согласно критерию Фишера-Снедекора уравнение квадратичной регрессии (24) значимо. Два коэффициента этого уравнения $a_1 = 90,038$ и $a_2 = -2,0784$ согласно критерия Стьюдента значимы,

а третий коэффициент $a_3 = 0,0015$ не значим. Таким образом квадратичная аппроксимация фактически становится линейной.

На рис. 6 представлены расчеты для экспоненциальной аппроксимации.

	A	B	C	D	E	F
51	14	205	56,57	Экспоненциальная		
52	205	4185	784,86	аппроксимация		
53				$R^2_{\text{экс}}$ =	0,9744	
54	Обратная матрица			c =	4,57892	
55	0,2526	-0,01238		a2 =	-0,0368	
56	-0,0124	0,00085		a1 =	97,4087	
57						
58	Fтабл=	4,75	Fэкс > Fтабл			
59	Fэкс=	455,8511	Уравнение значимо			
60	Дост=	0,00351	tтабл=	2,1604		
61	sa2=	0,001721	ta2=	21,35067	ta2 > tтабл	значим
62	sa1=	0,029763	ta1=	3272,805	ta1 > tтабл	значим

Рисунок 6 - Фрагмент рабочего листа MS Excel для экспоненциальной аппроксимации.

Шаг 96. В ячейку A51 вводим формулу =B\$18.

Шаг 97. В ячейку B51 вводим формулу =B17.

Шаг 98. В ячейку A52 вводим формулу =B17.

Шаг 99. В ячейку B52 вводим формулу =C17.

Шаг 100. В ячейку C51 вводим формулу =H17.

Шаг 101. В ячейку C52 вводим формулу =I17.

Шаг 102. Выделяем ячейки A55:B56 и вводим формулу {=МОБР(A51:B52)}.

Шаг 103. Выделяем ячейки E54:E55 и вводим формулу {=МУМНОЖ(A55:B56;C51:C52)}.

Шаг 104. В ячейку E56 вводим формулу =EXP(E54).

Шаг 105. В ячейку O3 вводим формулу =(LN(A3)-\$H\$18)^2.

Шаг 106. В ячейки O4:O16 эта формула копируется.

Шаг 107. В ячейку P3 вводим формулу

$$=(H3-(LN(\$E\$56*EXP(\$E\$55*B3))))^2.$$

Шаг 108. В ячейки P4:P16 эта формула копируется

Шаг 109. В ячейку O17 вводим формулу =СУММ(O1:O16).

Шаг 110. В ячейку P17 вводим формулу =СУММ(P3:P16).

Шаг 111. В ячейку E53 вводим формулу =1-P17/O17.

Шаг 112. В ячейку B58 вводим формулу =B29.

Шаг 113. В ячейку B59 вводим формулу =E53*(B18-2)/(1-E53).

Шаг 114. В ячейку B60 вводим формулу =P17/(B18-2).

Шаг 115. В ячейку B61 вводим формулу

$$=(P17/((\$B\$18-2)*K17))^(1/2).$$

Шаг 116. В ячейку B62 вводим формулу

$$=((P17*C17)/((\$B\$18-2)*\$B\$18*K17))^(1/2).$$

Шаг 117. В ячейку C59 вводим формулу

=ЕСЛИ(B59>B58;"Уравнение значимо";"Уравнение не значимо").

Шаг 118. В ячейку D60 вводим формулу =D31.

Шаг 119. В ячейку D61 вводим формулу =ABS(E55)/B61.

Шаг 120. В ячейку D62 вводим формулу =ABS(E56)/B62.

Шаг 121. В ячейку F61 вводим формулу

=ЕСЛИ(D61>D\$60;"значим";"не значим").

Шаг 122. В ячейку F62 вводим формулу

=ЕСЛИ(D62>D\$60;"значим";"не значим").

Таким образом, уравнение экспоненциальной регрессии имеет вид:

$$y = 97,4087e^{-0,0368 \cdot x} . \quad (25)$$

Согласно критерию Фишера-Снедекора, уравнение экспоненциальной регрессии (25) значимо. Оба коэффициента этого уравнения согласно критерия Стьюдента значимы.

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ТРЕНДА

Методика проведения данных работ подробно изложена в работе [2]. Результаты представлены на рис. 7-9.

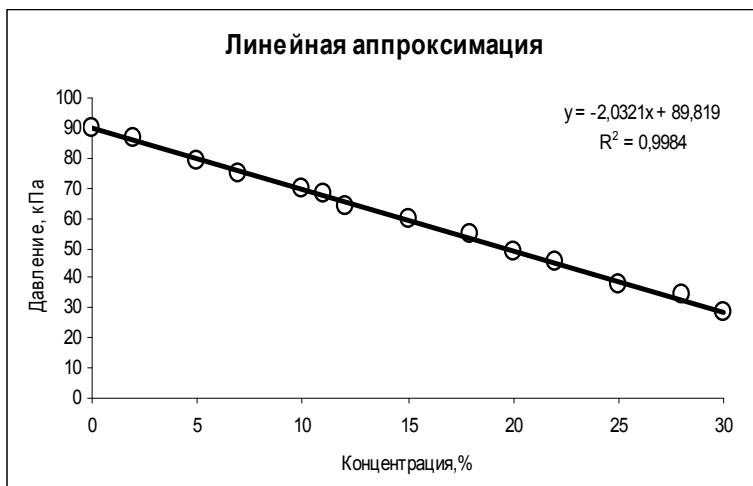


Рисунок 7 - Исходные точки и линия тренда для линейной аппроксимации



Рисунок 8 - Исходные точки и линия тренда для квадратичной аппроксимации

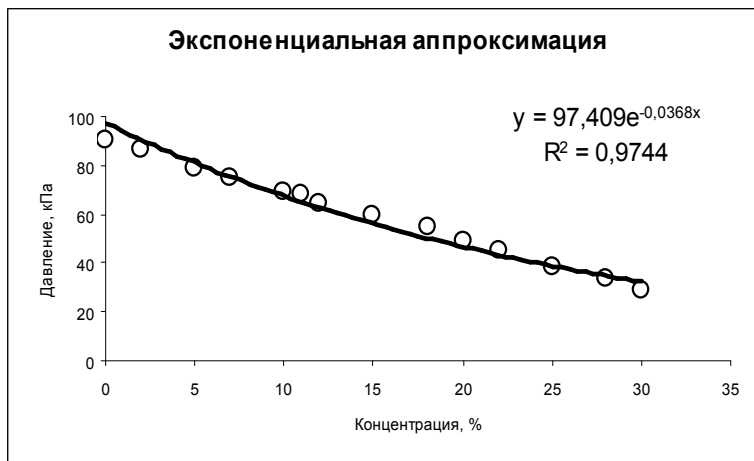


Рисунок 9 - Исходные точки и линия тренда для экспоненциальной аппроксимации

Сравнивая данные результаты с результатами, полученными вручную ранее с использованием основных расчетных формул, видим, что они полностью совпадают. Это указывает на то, что вычисления верны.

ПОЛУЧЕНИЕ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ ЛИНЕЙН И ЛГРФПРИБЛ

Методика использования этих функций подробно изложена в работе [2]. Результаты расчетов представлены на рис. 10-12.

	G	H
22	ЛИНЕЙН	
23	-2,032077	89,818980
24	0,023209	0,401265
25	0,998437	0,798325
26	7666,275151	12
27	4885,888853	7,647869

Рисунок 10 - Фрагмент рабочего листа MS Excel использования функции ЛИНЕЙН для линейной аппроксимации

Здесь в интервал ячеек G23:H27 введена формула

=ЛИНЕЙН(А3:А16;В3:В16;;ИСТИНА).

В ячейках G23 и H23 расположены соответственно значения коэффициентов a_2 и a_1 .

В ячейках G24 и H24 расположены соответственно значения стандартных ошибок коэффициентов a_2 и a_1 .

В ячейке G25 – значение коэффициента детерминированности.

В ячейке G26 – значение F - критерия.

В ячейке G27 – значение $S_{\text{факт}}$.

В ячейке H27 – значение $S_{\text{ост}}$.

	G	H	I
35	ЛИНЕЙН		
36	0,001535	-2,078364	90,037998
37	0,002802	0,087829	0,575228
38	0,998479	0,822680	#Н/Д
39	3609,686031	11	#Н/Д
40	4886,091890	7,444832	#Н/Д

Рисунок 11 - Фрагмент рабочего листа MS Excel использования функции ЛИНЕЙН для квадратичной аппроксимации

Здесь в интервал ячеек G36:I40 введена формула

=ЛИНЕЙН(А3:А16;В3:С16;;ИСТИНА).

В ячейках G36, H36 и I36 расположены соответственно значения коэффициентов a_3 , a_2 и a_1 .

В ячейках G37, H37 и I37 расположены соответственно значения стандартных ошибок коэффициентов a_3 , a_2 и a_1 .

В ячейке G38 – значение коэффициента детерминированности.

В ячейке G39 – значение F - критерия.

В ячейке G40 – значение $S_{\text{факт}}$.

В ячейке H40 – значение $S_{\text{ост}}$.

	Г	Н
51	ЛГРФПРИБЛ	
52	0,963913	97,408714
53	0,001721	0,029763
54	0,974351	0,059214
55	455,851148	12
56	1,598359	0,042076

Рисунок 12 - Фрагмент рабочего листа MS Excel использования функции ЛГРФПРИБЛ для экспоненциальной аппроксимации

Здесь в интервал ячеек G52:H56 введена формула
 =ЛГРФПРИБЛ(A3:A16;B3:B16;;ИСТИНА).

В ячейке H52 расположено значение коэффициента a_1 .

В ячейке G52 расположено значение $\ln a_2$. Таким образом, значение коэффициента $a_2 = e^{\ln a_2} = e^{\ln 9,963913} = -0,0368$.

В ячейках G53 и H53 расположены соответственно значения стандартных ошибок коэффициентов a_2 и a_1 .

В ячейке G54 – значение коэффициента детерминированности.

В ячейке G55 – значение F - критерия.

В ячейке G56 – значение $S_{\text{факт}}$.

В ячейке H56 – значение $S_{\text{ост}}$.

Сравнивая результаты, полученные с помощью функций ЛИНЕЙН и ЛГРФПРИБЛ, с результатами, полученными вручную ранее с использованием основных расчетных формул, видим, что они полностью совпадают. Это указывает на то, что вычисления верны.

Вывод: Лучше всего результаты испытаний аппроксимирует линейная функция: $y = 89,819 - 2,0231 \cdot x$, т.к. не смотря на то, что коэффициент детерминированности квадратичной аппроксимации выше, но в ней коэффициент a_3 при x^2 не значим, и она фактически сводится к линейной. У экспоненциальной аппроксимации коэффициент детерминированности значим, но меньше, чем у линейной. Полученное соотношение является простым и пригодным

для анализа и прогноза. Значения числовых характеристик вычислялись разными способами и все результаты совпали, что свидетельствует об их правильности.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРОГНОЗНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Прогнозное значение давления взрыва при заданной концентрации пыли вычисляем с помощью функции наиболее хорошо аппроксимирующей табличные данные, т.е. по формуле (23). Результаты вычислений прогнозного значения представлены на рис. 13.

	G	H
28	ПРОГНОЗНОЕ ЗНАЧЕНИЕ	
29	Xmax=	30
30	Xmin=	0
31	R=	30
32	x=	17,6429
33	y=	53,9673

Рисунок 13 - Фрагмент рабочего листа MS Excel вычисления прогнозного значения

Здесь в ячейку H29 введена формула =МАКС(B3:B16).

В ячейку H30 введена формула =МИН(B3:B16).

В ячейку H31 введена формула =H29-H30.

В ячейку H32 введена формула =A19+0,1*H31.

В ячейку H33 введена формула =E26+E27*H32.

РАСЧЕТ АППРОКСИМАЦИИ В ПРОГРАММЕ, РАЗРАБОТАННОЙ В СРЕДЕ DELPHI 7

Прежде чем приступить к написанию программы необходимо четко осмыслить задачу: что и где требуется получить в качестве результата, какие исходные данные необходимы (у нас имеется таблица с исходными данными, также нужно ввести табличные данные, с которыми будут сравниваться критерии для проверки нулевых гипотез). Все это отражается в блок-схеме алгоритма. В блок-схеме алгоритма нужно определить, какие действия будут выполняться для получения из исходных данных требуемого результата. Представим эти действия в виде блок-схемы алгоритма на рис. 14.

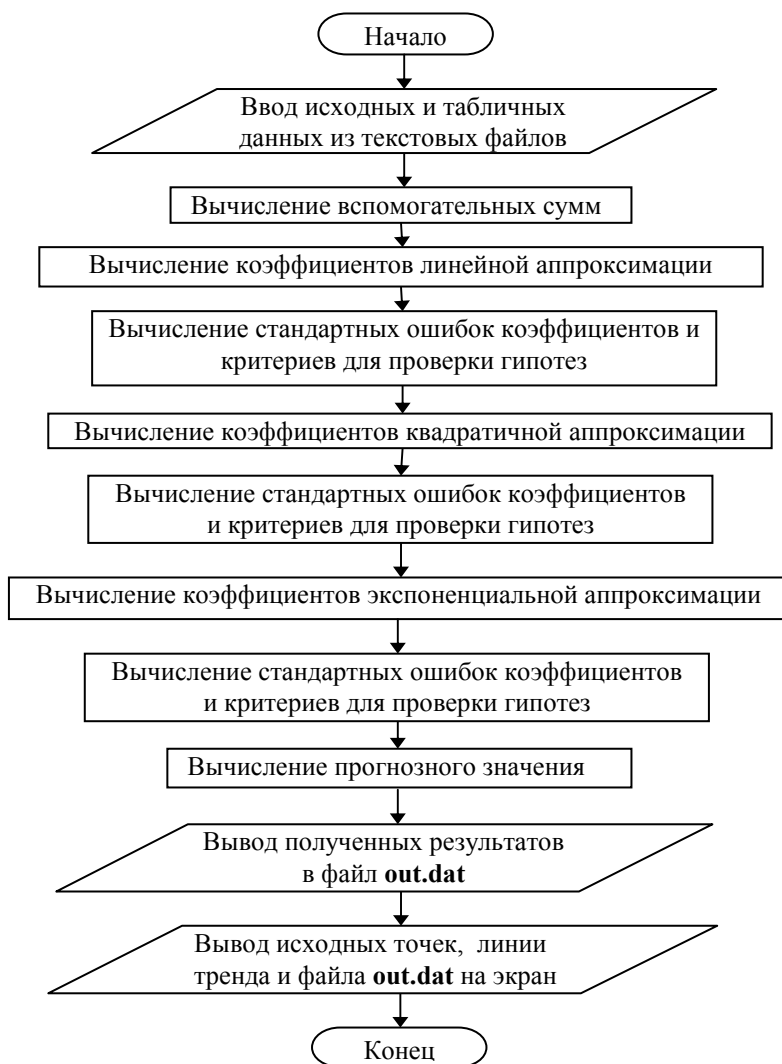


Рисунок 14 - Укрупненная блок-схема алгоритма

Кроме работающей программы на Delphi, следует представить два текстовых файла: **in.dat** – с входными данными и **tabl.dat** – с табличными данными. Эти файлы можно приготовить, например, в текстовом редакторе «Блокнот».

Управление действиями программы должно выполняться через элементы формы. При разработке формы следует предусмотреть возможность ввода исходных данных из подготовленных файлов с выводом на экран для просмотра и при необходимости редактирования.

Если в программе имеются последовательности повторяющихся действий желательно такие последовательности оформить в виде отдельных подпрограмм.

Результаты работы программы (коэффициенты уравнений регрессии для линейной, квадратичной и экспоненциальной аппроксимации, стандартные ошибки коэффициентов, критерии для проверки нулевых гипотез для каждого вида аппроксимации) вывести в файл **out.dat**. Кроме результатов работы программы выходной файл должен содержать исходные и табличные данные.

В программе необходимо организовать вывод на экран графической информации (исходных точек и линий тренда для каждого вида аппроксимации) и содержимого файла **out.dat**.

На рис.15 показана форма Delphi.

При разработке формы были использованы следующие компоненты:

- поясняющие надписи Label1...Label8;
- флажок включения/выключения возможности чтения из файлов CheckBox1;
- поля для ввода имен файлов Edit1, Edit2;
- таблицы для просмотра или редактирования исходных данных StringGrid1 и табличных данных критериев Стьюдента и Фишера StringGrid2;
- кнопки Button1 (Вычисление), Button2 (Читать) и BitBtn (Выход);
- компоненты для вывода изображений линий тренда и исходных точек для трех видов аппроксимации Image1...Image3;
- поле для вывода содержимого файла out.dat с результатами расчетов Memo1;
- радиокнопки для выбора вывода изображений и содержимого файла RadioButton1... RadioButton4.

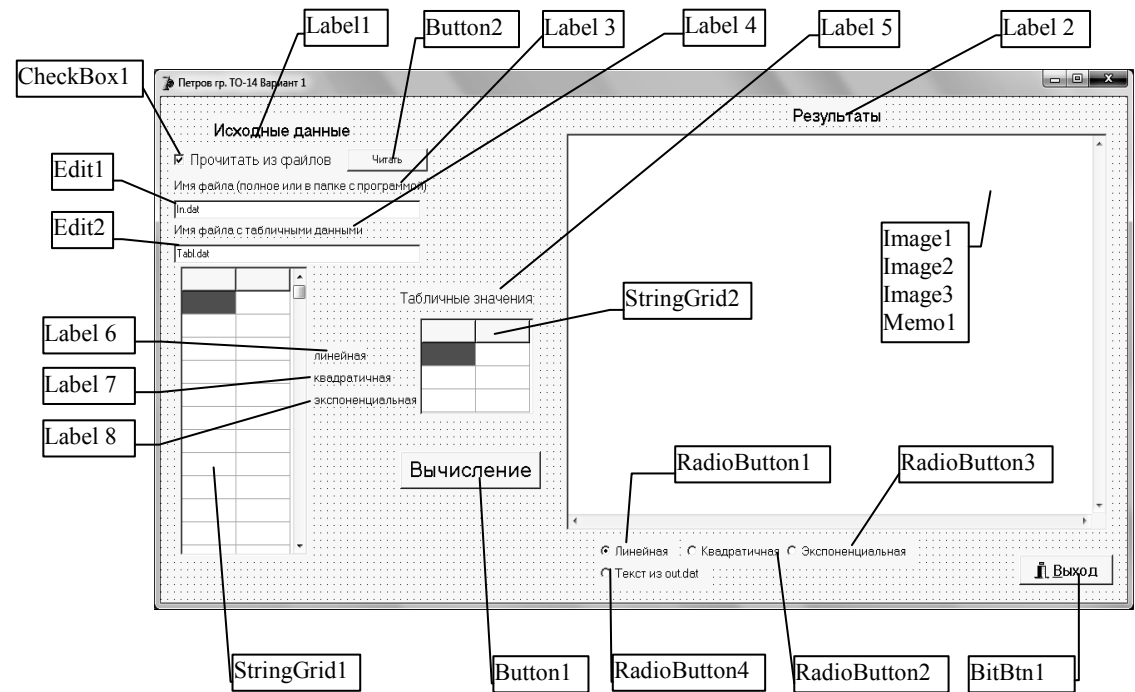


Рисунок 15 - Форма для решения задачи в Delphi

Компоненты Image1...Image3 и Memo1 имеют одинаковые размеры и размещены каждый поверх другого, причем самым верхним является Image1. Расположение остальных компонентов на форме может быть произвольным.

В окне Object Inspector следует настроить необходимые свойства каждого компонента (табл. 2).

Свойства компонентов формы

Таблица 2

Компонент	Свойство	Значение
Form1	Caption	Указать свою фамилию, группу и вариант, например: Петров гр. ТО-14 Вариант 1
Label1	Caption Font - Size	Исходные данные 14
Label2	Caption Font - Size	Результаты 14
Label3	Caption	Имя файла (полное или в папке с программой)
Label4	Caption	Имя файла с табличными данными
Label5	Caption	Табличные значения
Label6	Caption	линейная
Label7	Caption	квадратичная
Label8	Caption	экспоненциальная
CheckBox1	Caption Font – Size Checked	Прочитать из файлов 12 True
Button1	Caption Font – Size	Вычисление 14
Button2	Caption	Читать
Edit1	Text	
Edit2	Text	
Компонент	Свойство	Значение
StringGrid1	ColCount	2
	RowCount	20
	FixedCols	0
	FixedRows	1
	Options – goEditing	True
Options – goTabs	True	
StringGrid2	ColCount	2
	RowCount	4
	FixedCols	0
	FixedRows	1
	Options – goEditing	True
Options – goTabs	True	

Таблица 2 (Продолжение)

Компонент	Свойство	Значение
RadioButton1	Caption	Линейная
	Checked	True
RadioButton2	Caption	Квадратичная
	Checked	False
RadioButton3	Caption	Экспоненциальная
	Checked	False
RadioButton4	Caption	Текст из out.dat
	Checked	False
BitBtn1	Caption	&Выход
	Kind	bkClose
Image1	Hight	430
	Visible	True
	Width	650
Image2	Hight	430
	Visible	False
	Width	650
Image3	Hight	430
	Visible	False
	Width	650
Memo1	Hight	430
	Visible	False
	Width	650
	Lines	(TStrings) – очистить, нажав на ...

Для нашего примера текст программы на языке Object Pascal

имеет вид:

```

unit Lr1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
  Forms,
  Dialogs, Buttons, StdCtrls, Grids, ExtCtrls;
const
  {константы переопределять по исходным данным
  это целые min и max координаты графика
  разница по y не менее 10, по x не менее 6}
  nmax=100; //кол-во точек, составляющих график
  x_max=30;y_max=90; //максимальные значения x_min=0;y_min=0;
  //минимальные значения

```

type

```
TForm1 = class(TForm)
  Label1: TLabel;
  Label2: TLabel;
  Label3: TLabel;
  StringGrid1: TStringGrid;
  CheckBox1: TCheckBox;
  Edit1: TEdit;
  Button1: TButton;
  BitBtn1: TBitBtn;
  Image1: TImage;
  Button2: TButton;
  Label4: TLabel;
  Edit2: TEdit;
  Label5: TLabel;
  StringGrid2: TStringGrid;
  Label6: TLabel;
  Label7: TLabel;
  Label8: TLabel;
  RadioButton1: TRadioButton;
  RadioButton2: TRadioButton;
  RadioButton3: TRadioButton;
  Image2: TImage;
  Image3: TImage;
  Memo1: TMemo;
  RadioButton4: TRadioButton;
```

```
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure CheckBox1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);
procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);
procedure RadioButton3Click(Sender: TObject);
procedure RadioButton4Click(Sender: TObject);
```

```

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
type
  //Добавляем свои типы данных
  vector=array[1..nmax] of real;
  ari=array[1..100] of longint;
var
  Form1: TForm1;
//Добавляем свои переменные
f,g:text;
filevvod:string;
x1,y1:ari;
x,y,lny,sti,ssri,stsqr,ssrsqr:vector;
ftab,stab:vector;
YL,Ysqr,Yexp,lnYexp:vector;
i,n,n1:integer;
Sx,Sy,Sxy,Sx2,Sx3,Sx4,Sx2y,Sx2sr,Sy2sr,Sxysr,
Slny,Sxlny:real;
a1L,a2L,koef_cor:real;
MD:real;
Sa1L,Sa2L:real;
Xsr,Ysr,lnYsr:real;
SostL,SregrL,SpolnL,R_det_L:real;
Fline,Sline,ta1L,ta2L:real;
a1sqr,a2sqr,a3sqr:real;
Sa1sqr,Sa2sqr,Sa3sqr:real;
Sostsqr,Sregrsqr,Spolnsqr,R_det_sqr,DSost:real;
Fsqr,Ssqr,ta1sqr,ta2sqr,ta3sqr:real;
cexp,a1exp,a2exp:real;
Sa1exp,Sa2exp:real;
Sostexp,Sregrexp,Spolnexp,R_det_exp:real;
Fexp,ta1exp,ta2exp:real;
gr:integer;

```

```

Min,Max,Xpr,Ypr:real;
implementation
{$R *.dfm}
{Настройки при создании формы}
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
StringGrid1.Cells[0,0]:='X';
StringGrid1.Cells[1,0]:='Y';
StringGrid2.Cells[0,0]:='t-критерий';
StringGrid2.Cells[1,0]:='F-критерий';
end;

{Кнопка Вычисление}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
{Подпрограммы для вычислений}
{*** Ввод из StringGrid ****}
Procedure Inp_vect(sg:TStringGrid;Var a,b:Vector;Var n:Integer);
Var
k:integer;
Begin
n:=0;
for k:=1 to sg.RowCount-1 do
if (sg.Cells[0,k]<>"") and (sg.Cells[1,k]<>"") then begin
a[k]:=StrtoFloat(sg.Cells[0,k]);
b[k]:=StrtoFloat(sg.Cells[1,k]);
n:=n+1;
end
end;

{***Процедура решения системы двух линейных уравнений мето-
дом Крамера}
Procedure L_Kram(var a11:integer;var a12,a21,a22,b1,b2:real;var
a1,a2:real);
var d,d1,d2:real;
begin
d:=a11*a22-a21*a12;

```

```

d1:=b1*a22-b2*a12;
d2:=a11*b2-a21*b1;
a1:=d1/d;
a2:=d2/d;
end;
{****Процедура решения системы трех линейных уравнений мето-
дом Крамера}
Procedure Sqr_Kram(var a11:integer;
var a12,a13,a21,a22,a23,a31,a32,a33,b1,b2,b3:real;
var a1,a2,a3,MD:real);
var d,d1,d2,d3:real;
begin
d:=a11*a22*a33+a12*a23*a31+a21*a32*a13-a13*a22*a31-
a21*a12*a33-a11*a23*a32;
d1:=b1*a22*a33+a12*a23*b3+b2*a32*a13-a13*a22*b3-
b2*a12*a33-b1*a23*a32;
d2:=a11*b2*a33+b1*a23*a31+a21*b3*a13-a13*b2*a31-
a21*b1*a33-a11*a23*b3;
d3:=a11*a22*b3+a12*b2*a31+a21*a32*b1-b1*a22*a31-
a21*a12*b3-a11*b2*a32;
a1:=d1/d;
a2:=d2/d;
a3:=d3/d;
MD:=D
end;
{****Процедура вычисления коэффициента де-
терминированности}
Procedure Koef_det(ns:integer;a,b:vector;c:real;
var s1,s2,s3,R:real);
var i:integer;
begin
for i:=1 to ns do begin
s1:=s1+sqr(b[i]-a[i]);
s2:=s2+sqr(b[i]-c);
end;

```

```

s3:=s1+s2;
r:=1-s1/s3;
end;
{****Процедура вычисления стандартных ошибок коэффициентов
уравнения
линейной регрессии и критерия для проверки нулевых гипотез}
Procedure ZnachLine(n:integer;DS,R2,a,asr,a1,
a2:real;var s1,s2,f,t1,t2:real);
begin
s1:=sqrt(DS*a/(n*(n-2)*asr));
s2:=sqrt(DS/((n-2)*asr));
f:=R2*(n-2)/(1-R2);
t1:=abs(a1)/S1;
t2:=abs(a2)/S2;
end;
{*****Процедура вывода результатов работы в файл}
Procedure Print(var gr:integer;sa1,sa2,sa3,sk,sR,
sm1,sm2,sm3,sf,st1,st2,st3:string;a1,a2,a3,k,R,
m1,m2,m3,f,t1,t2,t3:real);
var Fd,Sd:real;
st:string;
begin
case gr of
1: st:='линейной аппроксимации';
2: st:='квадратичной аппроксимации';
3: st:='экспоненциальной аппроксимации';
end;
write(g,sa1,'=',a1:7:4,' ',sa2,'=',a2:7:4);
if gr=2 then write(g,' ',sa3,'=',a3:7:4);
writeln(g,' -коэффициенты ',st);
if gr=1 then writeln(g,sk,k:9:6,
'-коэффициент корреляции');
writeln(g,sR,R:9:6,' -коэффициент
детерминированности');
write(g,sm1,m1:8:6,' ',sm2,m2:8:6);
if gr=2 then write(g,' ',sm3,m3:8:6);

```

```

writeln(g, '-стандартные ошибки
коэффициентов ');
writeln(g, 'Критерии для проверки
нулевых гипотез ');
write(g, sf, f:8:3, ', st1, t1:8:3,
', st2, t2:8:3);
if gr=2 then write(g, ', st3, t3:8:3);
writeln(g);
if gr=2 then Fd:=Ftab[2] else Fd:=Ftab[1];
if gr=2 then Sd:=Stab[2] else Sd:=Stab[1];
if f>Fd then
  writeln(g, 'Уравнение ', st, ' значимо')
else
  writeln(g, 'Уравнение ', st, ' не значимо');
if t1>Sd then
  writeln(g, 'Коэффициент ', sa1, ' значим')
else
  writeln(g, 'Коэффициент ', sa1,
' не значим');
if t2>Sd then
  writeln(g, 'Коэффициент ', sa2, ' значим')
else
  writeln(g, 'Коэффициент ', sa2,
' не значим');
if gr=2 then
  if t3>Sd then
    writeln(g, 'Коэффициент ', sa3, ' значим')
  else
    writeln(g, 'Коэффициент ', sa3,
' не значим');
end;
{****Процедура определения максимального и минимального зна-
чений в массиве}
Procedure MinMax(var a:vector; var n:integer;
var min,max:real);
var i:integer;

```

```

begin
  min:=a[1];
  max:=a[1];
  for i:=2 to n do begin
    if a[i]>max then max:=a[i];
    if a[i]<min then min:=a[i];
  end;
end;
{****Процедура построения исходных точек и линии тренда на
экране}
Procedure Grafik(var gr:integer);
const k=100;
      kxn=95;kxk=590;
      kyn=70;kyk=385;
var
  i,hy,hx:integer;
  x,y:vector;
  kx,ky:ari;
  ymin,ymax:real;
  l:integer;
  VOL:string;
  mx,my:real;
  h:real;
  Im:Timage;
{****Функция для вывода целых чисел}
Function IntStr(L,DIG:integer):string;
var buf:string[10];
begin
  str(L:DIG,buf);
  IntStr:=buf;
end;
{Тело процедуры}
begin
  h:=(x_max-x_min)/(k-1); //шаг графика
  hx:=round((x_max-x_min)/6);
  hy:=round((y_max-y_min)/10);

```



```

x[1]:=x_min;
ymin:=y_min;
ymax:=y_max;
for i:=1 to k do
begin //Вычисление значений функций
  case gr of
    1:y[i]:=a1L+a2L*x[i];
    2:y[i]:=a1sqr+a2sqr*x[i]+a3sqr*x[i]*x[i];
    3:y[i]:=a1exp*exp(a2exp*x[i]);
  end;
  if i<>100 then x[i+1]:=x[i]+h;
end;
mx:=(kxk-kxn)/(x[k]-x[1]); //Коэф. масшт. по ОХ
my:=(kyk-кyn)/(ymax-ymin); //Коэф. масшт. по ОУ
for i:=1 to k do //Вычисление координат точек
begin
  kx[i]:=round((x[i]-x[1])*mx)+kxn;
  ky[i]:=round((ymax-y[i])*my)+kyn;
end;
case gr of
  1: Im:=Image1;
  2: Im:=Image2;
  3: Im:=Image3;
end;
with Im.Canvas do
begin
//Прорисовка осей системы координат
  Pen.Width:= 2;
  Pen.Color:=clBlack;
  MoveTo(95,385);
  LineTo (590,385); // ось X
  MoveTo(95,385);
  LineTo (95,70); // ось Y
//Вывод значений по осям
  Font.Size:= 15;
  for i:=0 to 10 do

```

```

begin
  L:=y_max-i*hy;
  VOL:=IntStr(L,3);
  TextOut(30,50+i*32,VOL);
end;
for i:=0 to 6 do
begin
  L:=x_min+i*hx;
  VOL:=IntStr(L,3);
  TextOut(70+i*85,390,VOL);
end;
//Построение графика функции
Pen.Width:= 3;
Pen.Color:=clBlue;
for i:=1 to n do //Точки исходных данных
  ellipse(x1[i]-2,y1[i]-2,x1[i]+2,y1[i]+2);
VOL:="";
case gr of //Выражение для функции
1:begin
  VOL:='y='+FloatToStrF(a1L,ffixed,5,3);
  if a2L>0 then
    VOL:=VOL+'+';
  VOL:=VOL+FloatToStrF(a2L,ffixed,5,3)+'x';
  TextOut(250,70,VOL);
end;
2:begin
  VOL:='y='+FloatToStrF(a1sqr,ffixed,5,3);
  if a2sqr>0 then
    VOL:=VOL+'+';
  VOL:=VOL+FloatToStrF(a2sqr,ffixed,5,3)+'x';
  if a3sqr>0 then
    VOL:=VOL+'+';
  VOL:=VOL+FloatToStrF(a3sqr,ffixed,5,3)+'x^2';
  TextOut(180,70,VOL);
end;
3:begin

```

```

VOL:='y='+FloatToStrF(a1exp,ffixed,5,3)+'exp('
+FloatToStrF(a2exp,ffixed,5,3)+'x');
TextOut(220,70,VOL);
end;
end;
Pen.Width:= 2; //Сам график
Pen.Color:=clRed;
MoveTo(kx[1],ky[1]);
for i:=1 to k-1 do
  LineTo(kx[i+1],ky[i+1]);
end;
end;
{Тело процедуры кнопки Вычисление}
Begin
  Inp_vect(StringGrid1,x,y,n);
  Inp_vect(StringGrid2,ftab,stab,n1);
  sx:=0;sy:=0;sx2:=0;sxy:=0;sx3:=0;sx4:=0;sx2y:=0;
  slny:=0;Sxlny:=0;
  for i:=1 to n do begin
    Sx:=Sx+x[i];
    Sy:=Sy+y[i];
    Sx2:=Sx2+sqr(x[i]);
    Sxy:=Sxy+x[i]*y[i];
    Sx3:=Sx3+x[i]*x[i]*x[i];
    Sx4:=Sx4+sqr(sqr(x[i]));
    Sx2y:=Sx2y+sqr(x[i])*y[i];
    lny[i]:=ln(y[i]);
    Slny:=Slny+lny[i];
    Sxlny:=Sxlny+x[i]*lny[i];
  end;
  Xsr:=Sx/n;
  Ysr:=Sy/n;
  lnYsr:=Slny/n;
  Sxysr:=0;Sx2sr:=0;Sy2sr:=0;
  for i:=1 to n do begin
    Sxysr:=Sxysr+(x[i]-Xsr)*(y[i]-Ysr);

```

```

Sx2sr:=Sx2sr+sqr(x[i]-Xsr);
Sy2sr:=Sy2sr+sqr(y[i]-Ysr);
    end;
L_kram(n,Sx,Sx,Sx2,Sy,Sxy,a1L,a2L);
koef_cor:=Sxysr/(sqr(Sx2sr)*sqr(Sy2sr));
for i:=1 to n do
    YL[i]:=a1L+a2L*x[i];
koef_det(n,y,yL,Ysr,SostL,SregrL,SpolnL,
R_det_L);
ZnachLine(N,SostL,R_det_L,Sx2,Sx2sr,a1L,a2L,
Sa1L,Sa2L,Fline,ta1L,ta2L);
Sqr_Kram(N,Sx,Sx2,Sx,Sx2,Sx3,Sx2,Sx3,Sx4,
Sy,Sxy,Sx2y,a1sqr,a2sqr,a3sqr,MD);
for i:=1 to n do
    Ysqr[i]:=a1sqr+a2sqr*x[i]+a3sqr*x[i]*x[i];
koef_det(n,y,Ysqr,Ysr,Sostsqr,Sregrsqr,
Spolnsqr,r_det_sqr);
DSost:=Sostsqr/(n-3);
Sa1sqr:=sqrt(DSost*(Sx2*Sx4-Sx3*Sx3)/MD);
Sa2sqr:=sqrt(DSost*(n*Sx4-Sx2*Sx2)/MD);
Sa3sqr:=sqrt(DSost*(n*Sx2-Sx*Sx)/MD);
Fsqr:=R_det_sqr*(n-3)/(2*(1-R_det_sqr));
ta1sqr:=abs(a1sqr)/Sa1sqr;
ta2sqr:=abs(a2sqr)/Sa2sqr;
ta3sqr:=abs(a3sqr)/Sa3sqr;
L_Kram(n,Sx,Sx,Sx2,Slny,Sxlny,cexp,a2exp);
a1exp:=exp(cexp);
for i:=1 to n do begin
    yexp[i]:=a1exp*exp(a2exp*x[i]);
    lnYexp[i]:=Ln(yexp[i]);
    end;
koef_det(n,lny,lnYexp,lnYsr,Sostexp,Sregrexp,
Spolnexp,R_det_exp);
ZnachLine(N,Sostexp,R_det_exp,Sx2,Sx2sr,a1exp,a2exp,
Sa1exp,
Sa2exp,Fexp,ta1exp,ta2exp);

```

```

assignfile(g,'out.dat');
rewrite(g);
writeln(g,'Исходные данные');
for i:=1 to n do
  writeln(g,x[i]:6:2,' ',y[i]:6:2);
writeln(g,' N=',n:2,'-число наблюдений');
writeln(g,'Табличные данные');
for i:=1 to n1 do
  writeln(g,Ftab[i]:6:2,' ',Stab[i]:8:4);
gr:=1;
Print(gr,'a1L','a2L',' ',koef_kor='R_det_L=',
'Sa1L','Sa2L',' ',FLine='ta1L','ta2L',' ',
a1L,a2L,0,koef_cor,R_det_L,Sa1L,Sa2L,0,Fline,
ta1L,ta2L,0);
gr:=2;
Print(gr,'a1sqr','a2sqr','a3sqr',' ',R_det_sqr='
'Sa1sqr','Sa2sqr','Sa3sqr','Fsqr','ta1sqr='
'ta2sqr','ta3sqr',a1sqr,a2sqr,a3sqr,0,R_det_sqr,
Sa1sqr,Sa2sqr,Sa3sqr,Fsqr,ta1sqr,ta2sqr,ta3sqr);
gr:=3;
Print(gr,'a1exp','a2exp',' ',R_det_exp='
'Sa1exp','Sa2exp',' ',Fexp='ta1exp='
'ta2exp=',a1exp,a2exp,0,0,R_det_exp,Sa1exp,
Sa2exp,0,Fexp,ta1exp,ta2exp,0);
MinMax(x,n,min,max);
Xpr:=Xsr+0.1*(max-min);
Ypr:=a1L+a2L*Xpr;
writeln(g,'В прогнозной точке Xpr=',Xpr:6:4,
' прогнозное значение Ypr=',Ypr:6:4);
Closefile(g);
Memo1.Lines.LoadFromFile('out.dat');
for i:=1 to n do
  begin
    x1[i]:=round(95+x[i]*495/(x_max-x_min));
    y1[i]:=round(385-y[i]*315/(y_max-y_min));
  end;

```

```

gr:=1;
Image1.Picture:=nil; //очистка рисунка (при повторном вычислении)
Grafik(gr);
gr:=2;
Image2.Picture:=nil;
Grafik(gr);
gr:=3;
Image3.Picture:=nil;
Grafik(gr);
END;
{Включение/выключение чтения из файлов}
procedure TForm1.CheckBox1Click(Sender: TObject);
begin
if CheckBox1.Checked then
begin
Edit1.Enabled:=True;
Edit2.Enabled:=True;
Edit1.Color:=clWindow;
Edit2.Color:=clWindow;
Button2.Visible:=True;
end
else
begin
Edit1.Enabled:=False;
Edit2.Enabled:=False;
Edit1.Color:=clInactiveCaption;
Edit2.Color:=clInactiveCaption;
Button2.Visible:=False;
end
end;
{*** Чтение из файлов (кнопка Читать) *****}
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);

Procedure From_f(ed:TEdit;strgr:TStringGrid);
Var
f:textfile;

```

```

k:integer;
f_x,f_y:real;
begin
  k:=1;
  assignfile(f,Ed.Text);
  {$I-}
  reset(f);
  {$I+}
  if IOResult=0 then
    begin
      reset(f);
      while not EOF(f) do
        begin
          while not SeekEOLN(f) do
            begin
              readln(f,f_x,f_y);
              StrGr.Cells[0,k]:=floattostr(f_x);
              StrGr.Cells[1,k]:=floattostr(f_y);
              k:=k+1;
            end;
          end;
        closefile(f);
      end
    else
      showmessage('Файл '+Ed.Text+' не открывається');
    end;
  Begin //Тело процедуры кнопки Читать
    From_f(Edit1,StringGrid1);
    From_f(Edit2,StringGrid2);
  end;
  {Переключатель вывода графиков}
  procedure TForm1.RadioButton1Click(Sender: TObject);
  begin
    if RadioButton1.Checked then
      begin
        Image1.Visible:=True;

```

```

    Image2.Visible:=False;
    Image3.Visible:=False;
    Memo1.Visible:=False;
end;
end;
procedure TForm1.RadioButton2Click(Sender: TObject);
begin
    if RadioButton2.Checked then
    begin
        Image1.Visible:=False;
        Image2.Visible:=True;
        Image3.Visible:=False;
        Memo1.Visible:=False;
    end;
end;
procedure TForm1.RadioButton3Click(Sender: TObject);
begin
    if RadioButton3.Checked then
    begin
        Image1.Visible:=False;
        Image2.Visible:=False;
        Image3.Visible:=True;
        Memo1.Visible:=False;
    end;
end;
procedure TForm1.RadioButton4Click(Sender: TObject);
begin
    if RadioButton4.Checked then
    begin
        Image1.Visible:=False;
        Image2.Visible:=False;
        Image3.Visible:=False;
        Memo1.Visible:=True;
    end;
end;
end.

```


Форма с результатом работы программы приведена на рис. 16.

Кроме того, переключая вид графика под рисунком на форме, можно вывести графическую информацию, представленную на рис. 16-18 или содержимое созданного файла out.dat (рис. 19).

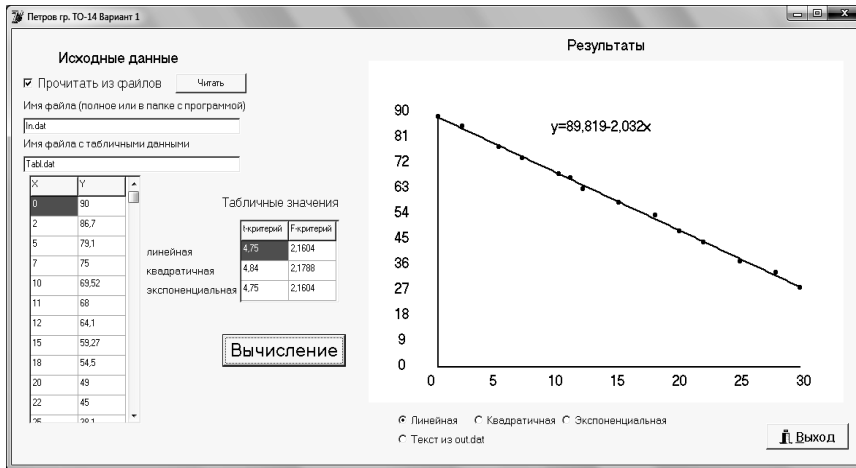


Рисунок 16 - Форма с результатом линейной аппроксимации

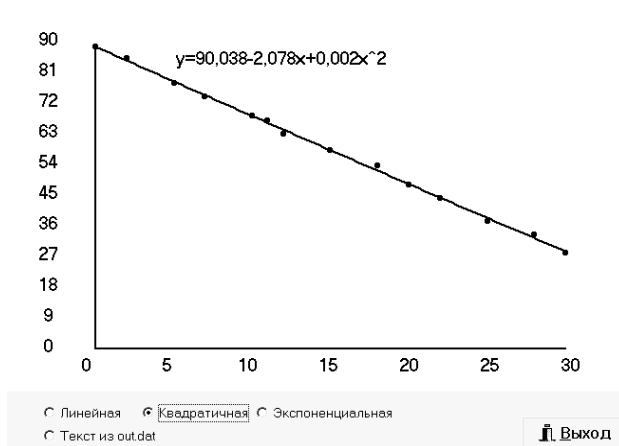


Рисунок 17- Исходные точки и линия тренда для квадратичной аппроксимации

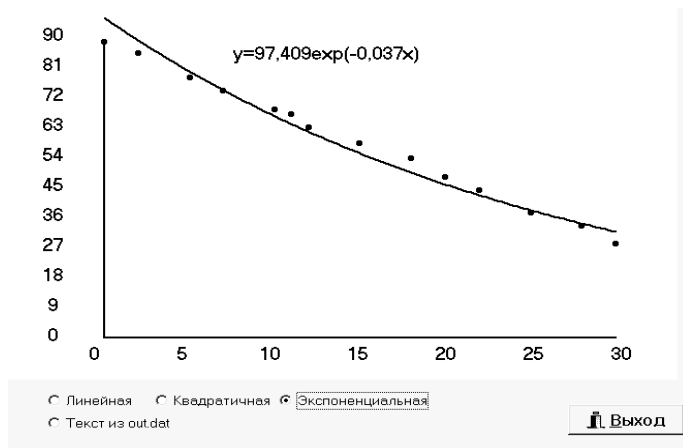


Рисунок 18 - Исходные точки и линия тренда для экспоненциальной аппроксимации

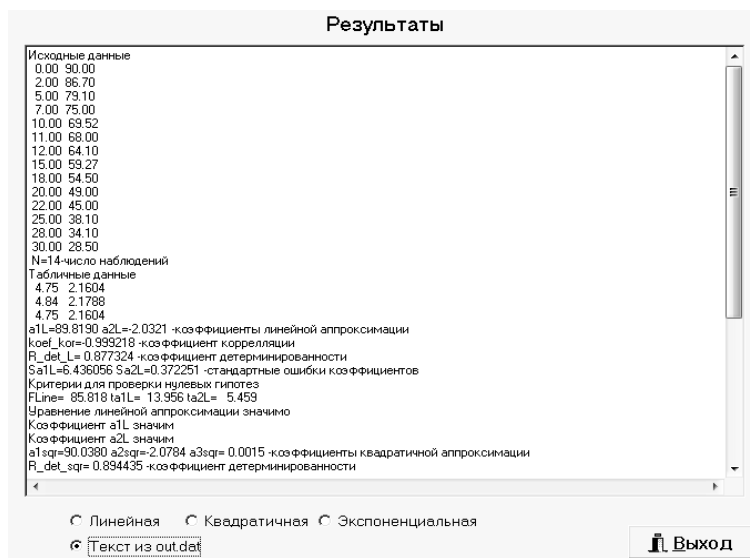


Рисунок 19 - Вывод файла out.dat на форму.

Содержимое файла out.dat таково:

Исходные данные

0.00 90.00
2.00 86.70
5.00 79.10
7.00 75.00
10.00 69.52
11.00 68.00
12.00 64.10
15.00 59.27
18.00 54.50
20.00 49.00
22.00 45.00
28.00 34.10
25.00 38.10
30.00 28.50

N=14 – число наблюдений

Табличные данные

4.75 2.1604
4.84 2.1788

a1L=89.8190 a2L=-2.0321 - коэффициенты линейной аппроксимации

coef_cor=-0.999218 - коэффициент корреляции

R_det_L= 0.998437 – коэффициент детерминированности

Sa1L=0.401265 Sa2L=0.023209 – стандартные ошибки коэффициентов

Критерии для проверки нулевых гипотез:

FLine=7666.275 ta1L= 223.839 ta2L= 87.557

Уравнение линейной аппроксимации значимо

Коэффициент a1L значим

Коэффициент a2L значим

a1sqr=90.0380 a2sqr=-2.0784 a3sqr= 0.0015 - коэффициенты квадратичной аппроксимации

R_det_sqr= 0.998479 – коэффициент детерминированности

Sa1sqr=0.575228 Sa2sqr=0.087829 Sa3sqr=0.002802 - стандартные ошибки коэффициентов

Критерии для проверки нулевых гипотез:

Fsqr=3609.686 ta1sqr= 156.526 ta2sqr= 23.664 ta3sqr= 0.548

Уравнение квадратичной аппроксимации значимо

Коэффициент a1sqr значим

Коэффициент a2sqr значим

Коэффициент a3sqr не значим

$a_{1exp}=97.4087$ $a_{2exp}=-0.0368$ - коэффициенты экспоненциальной аппроксимации
 $R_det_exp=0.974351$ – коэффициент детерминированности
 $Sa_{1exp}=0.029763$ $Sa_{2exp}=0.001721$ - стандартные ошибки коэффициентов

Критерии для проверки нулевых гипотез:

$F_{exp}=455.851$ $ta_{1exp}=3272.805$ $ta_{2exp}=21.351$

Уравнение экспоненциальной аппроксимации значимо

Коэффициент a_{1exp} значим

Коэффициент a_{2exp} значим

В прогнозной точке $X_{pr}=17.6429$ прогнозное значение $Y_{pr}=53.9673$

Результаты работы программы полностью совпали с результатами, полученными ранее в MS Excel.

РАСЧЕТ АППРОКСИМАЦИИ В MATHCAD

На рис. 20 – 25 приведено решение и графическое представление результатов расчетов в Mathcad.

```
ORIGIN := 1
Массив экспериментальных данных
X := (0 2 5 7 10 11 12 15 18 20 22 25 28 30)
Y := (90 86.7 79.1 75 69.52 68 64.1 59.27 54.5 49 45 38.1 34.1 28.5)
n := 14
Аппроксимация линейной функцией
a := line(X^T, Y^T)    a = ( 89.819 )
                       (-2.0321)
a2 = -2.032  a1 = 89.819    коэффициенты аппроксимации
Yline(x) := a2·x + a1
```

Рисунок 20 - Аппроксимация линейной функцией в Mathcad

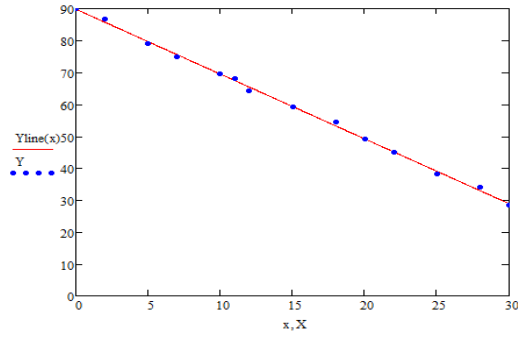


Рисунок 21 - График результата аппроксимации линейной функцией в Mathcad

Аппроксимация экспоненциальной функцией

$$a1 := \text{line}(X^T, \ln(Y^T)) \quad a1 = \begin{pmatrix} 4.5789 \\ -0.0368 \end{pmatrix}$$

$$ae1 := \exp(a1_1) = 97.4087 \quad ae2 := a1_2 = -0.0368$$

$$Y_{\text{exp}}(x) := ae1 \cdot e^{ae2 \cdot x}$$

Рисунок 22 - Аппроксимация экспоненциальной функцией

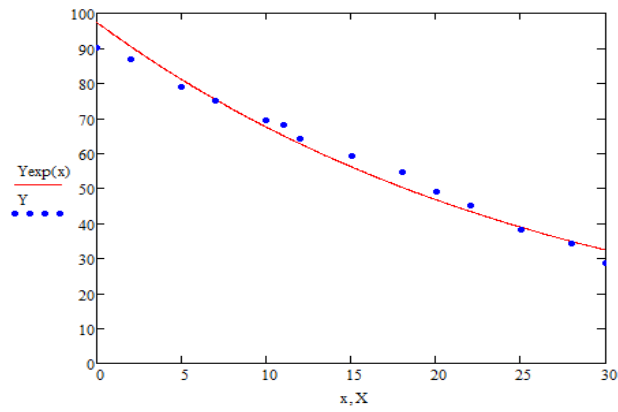


Рисунок 23 - График результата аппроксимации экспоненциальной функцией в Mathcad

Аппроксимация квадратичной функцией

$$\text{akv} := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad f(x, a_1, a_2, a_3) := a_3 \cdot x^2 + a_2 \cdot x + a_1$$

$$\underline{\underline{F}}(x, a_1, a_2, a_3) := \begin{pmatrix} f(x, a_1, a_2, a_3) \\ 1 \\ x \\ x^2 \end{pmatrix}$$

$$\underline{\underline{a}} := \text{genfit}(X^T, Y^T, \text{akv}, F) \quad a = \begin{pmatrix} 90.038 \\ -2.0784 \\ 0.0015 \end{pmatrix}$$

$$a_3 = 0.0015 \quad a_2 = -2.0784 \quad a_1 = 90.038$$

$$Y_{\text{kvadr}}(x) := a_3 \cdot x^2 + a_2 \cdot x + a_1$$

Рисунок 24 - Аппроксимация квадратичной функцией

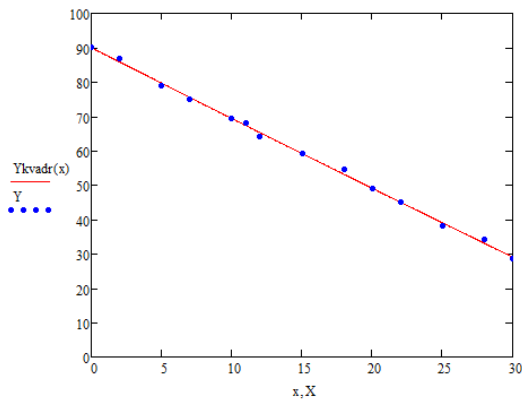


Рисунок 25 - График результата аппроксимации квадратичной функцией в Mathcad

Сравнивая результаты расчетов, полученных ранее с результатами расчетов в Mathcad, видим, что они полностью совпадают. Это указывает на то, что вычисления верны.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Во всех вариантах требуется:

1. Используя метод наименьших квадратов результаты эксперимента, представленные в виде таблицы, аппроксимировать:

а) многочленом первой степени $y = P_1(x) \equiv a_1 + a_2x$;

б) многочленом второй степени $y = P_2(x) \equiv a_1 + a_2x + a_3x^2$;

в) экспоненциальной зависимостью $y = a_1e^{a_2x}$.

2. Для каждой зависимости вычислить коэффициент детерминированности и остаточную дисперсию на одну степень свободы.

3. Вычислить коэффициент корреляции (только в случае а).

4. Для каждой зависимости построить линию тренда.

5. Используя функцию ЛИНЕЙН вычислить числовые характеристики зависимости y от x .

6. Сравнить свои вычисления с результатами, полученными при помощи функции ЛИНЕЙН.

7. Для каждой зависимости провести оценку значимости уравнения регрессии в целом по критерию Фишера при уровне значимости α_1 .

8. Для каждой зависимости провести оценку параметров, входящих в уравнение регрессии, по критерию Стьюдента при уровне значимости α_2 .

9. Написать программу в среде Delphi.

10. Привести решение в пакете Mathcad.

11. Сравнить результаты работы программы с вычислениями, выполненными вручную.

12. Сделать вывод, какая из полученных формул наилучшим образом аппроксимирует результаты эксперимента.

Варианты заданий

Задание 1. При проведении эксперимента установлена зависимость температуры продуктов взрыва от дисперсности наполнителей в составе взрывчатых веществ. Данные собраны в табл. 3-6.

Вариант 1 Таблица 3

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель CaCO_3	
Температура $T, 10^3 \text{ K}$	Дисперсность наполнителя, мкм
2,95	25
2,97	30
3,01	37
3,03	45
3,08	50
3,11	56
3,14	62
3,21	75
3,27	87
3,34	100
3,47	125

Вариант 2 Таблица 4

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель NaCl	
Температура $T, 10^3 \text{ K}$	Дисперсность наполнителя, мкм
2,99	25
3,02	30
3,04	37
3,06	45
3,09	50
3,12	56
3,14	62
3,19	75
3,24	87
3,29	100
3,39	125

Вариант 3 Таблица 5

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель NH_4Cl	
Температура $T, 10^3 \text{ K}$	Дисперсность наполнителя, мкм
2,86	25
2,89	30
2,92	37
2,95	45
2,98	50
3,01	56
3,04	62
3,11	75
3,16	87
3,23	100
3,35	125

Вариант 4 Таблица 6

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель KCl	
Температура $T, 10^3 \text{ K}$	Дисперсность наполнителя, мкм
3,02	25
3,03	30
3,05	37
3,07	45
3,09	50
3,11	56
3,12	62
3,16	75
3,19	87
3,22	100
3,29	125

Задание 2. В результате эксперимента определено изменение скорости детонации от процентного содержания наполнителей в составе гексогена. Данные собраны в табл. 7-10.

Вариант 5 Таблица 7

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель NaCl	
Скорость детонации $D \cdot 10^3$ м/с	Содержание наполнителя, %
7,2	0
7,5	3
7,5	5
7,08	10
6,75	15
6,65	17
6,45	20
6,32	22
6,2	25

Вариант 6 Таблица 8

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель KCl	
Скорость детонации $D \cdot 10^3$ м/с	Содержание наполнителя, %
7,2	0
7,37	3
7,4	5
7,12	10
6,6	15
6,25	17
5,8	20
5,25	22
4,9	25

Вариант 7 Таблица 9

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель CaCO_3	
Скорость детонации $D \cdot 10^3$ м/с	Содержание наполнителя, %
7,2	0
7,05	3
6,95	5
6,7	10
6,65	15
6,61	17
6,55	20
6,50	22
6,45	25

Вариант 8 Таблица 10

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель NH_4Cl	
Скорость детонации $D \cdot 10^3$ м/с	Содержание наполнителя, %
7,2	0
7,16	3
7,14	5
7,03	10
6,75	15
6,15	17
6,55	20
6,32	22
6,03	25

Задание 3. При проведении эксперимента установлена зависимость средней температуры прогрева частицы от ее радиуса для различных наполнителей. Данные собраны в табл. 11-13.

Вариант 9 Таблица 11

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель CaCO_3	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Радиус частицы (r), мкм
0,55	12
0,58	18
0,62	25
0,65	32
0,68	38
0,69	44
0,71	50
0,73	62
0,75	68
0,78	75
0,79	87
0,79	100

Вариант 10 Таблица 12

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель KCl	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Радиус частицы (r), мкм
0,5	12
0,3	18
0,55	25
0,57	32
0,6	38
0,61	44
0,62	50
0,67	62
0,68	68
0,69	75
0,61	87
0,51	100

Вариант 11 Таблица 13

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель NH_4Cl	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Радиус частицы (r), мкм
0,3	12
0,34	18
0,4	25
0,41	32
0,42	38
0,43	44
0,45	50

Продолжение таблицы 13

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель NH_4Cl	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Радиус частицы (r), мкм
0,46	56
0,47	62
0,48	68
0,49	75
0,43	82
0,45	87
0,32	100

Задание 4. При проведении эксперимента по взрыву взрывчатого вещества установлена зависимость давления взрыва сульфидной пыли от концентрации различных наполнителей. Данные собраны в табл. 14-16.

Вариант 12 Таблица 14

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель KCL	
Давление взрыва (кПа)	Концентрация, %
90	0
78,6	2
67,34	5
59,43	8
52,62	10
47,65	12
40	15
35,1	18
31,19	20
27,3	22
22,5	25
20	30

Вариант 13 Таблица 15

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель CaCO ₃	
Давление взрыва (кПа)	Концентрация, %
90	0
79,4	2
64,1	5
56,2	8
49,8	10
42,9	12
34,4	15
27,9	18
25,1	20
21,05	22
15,5	25
8,5	30

Вариант 14 Таблица 16

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель NH ₄ CL	
Давление взрыва (кПа)	Концентрация, %
90	0
66,1	3
50,5	5
37,2	8
28,33	10
23,9	12
18,5	15

Продолжение таблицы 16

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель NH ₄ CL	
Давление взрыва (кПа)	Концентрация, %
16,5	17
14,34	19
12,24	21
10,3	23
8,6	25
6,74	28
5,75	30

Задание 5. При проведении эксперимента установлена зависимость скорости разлета продуктов взрыва от времени для различ-

ных типов наполнителей (их содержание в заряде составляло 25 %).
Данные собраны в таблицы 17-20.

Вариант 15 Таблица 17

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель NH_4Cl	
Скорость разлета ПВ, км/с	Время t , мс
6,6	1,0
6,35	1,25
5,95	1,5
5,65	1,75
5,4	2,0
5,2	2,25
5,0	2,5
4,75	3,0
4,1	3,5
4,0	4,0

Вариант 16 Таблица 18

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель CaCO_3	
Скорость разлета ПВ, км/с	Время t , мс
6,25	1,0
6,19	1,25
6,12	1,5
6,06	1,75
6,0	2,0
5,92	2,25
5,84	2,5
5,75	3,0
5,65	3,5
5,55	4,0

Вариант 17 Таблица 19

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель NaCl	
Скорость разлета ПВ, км/с	Время t , мс
6,6	1,0
6,48	1,25
6,35	1,5
6,25	1,75
6,15	2,0
6,03	2,25
5,9	2,5
5,8	3,0
5,68	3,5
5,65	4,0

Вариант 18 Таблица 20

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель KCl	
Скорость разлета ПВ, км/с	Время t , мс
6,95	1,0
6,75	1,25
6,55	1,5
6,4	1,75
6,25	2,0
6,12	2,25
6,0	2,5
5,9	3,0
5,68	3,5
5,65	4,0

Задание 6. При проведении эксперимента установлена зависимость температуры продуктов взрыва от содержания наполнителей в составе взрывчатых веществ. Данные собраны в табл. 21-23.

Вариант 19 Таблица 21

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель CaCO_3	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Содержание наполнителя, %
4,2	0
3,8	2
3,4	5
3,3	7
3,15	10
3,11	12
3,08	14
3,05	16
3,02	18
3,0	20
2,92	22
2,95	25

Вариант 20 Таблица 22

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель KCL	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Содержание наполнителя, %
4,2	0
3,9	2
3,5	5
3,35	7
3,2	10
3,16	12
3,13	14
3,1	16
3,05	18
3,0	20
2,9	22
2,8	25

Вариант 21 Таблица 23

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель NH_4CL	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Содержание на- полнителя, %
4,2	0
3,83	1
3,45	3
3,17	5
3,12	6
3,1	8
2,05	10

Продолжение таблицы 23

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель NH_4CL	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Содержание наполнителя, %
2,35	12
2,65	14
2,95	16
2,92	18
2,9	20
2,87	22
2,85	25

Задание 7. При проведении испытаний установлена зависимость выхода фракции 0-100 мкм и 0-250 мкм на погонный метр удлинённого заряда гранулита АС-8 от относительного расстояния. Данные собраны в табл. 24-25.

Вариант 22		Таблица 24		Вариант 23		Таблица 25	
$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$		Фракция 0 - 100 мкм		$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$		Фракция 0 - 250 мкм	
Выход фракции $f, \%$	Относительное расстояние \bar{R}	Выход фракции $f, \%$	Относительное расстояние \bar{R}	Выход фракции $f, \%$	Относительное расстояние \bar{R}	Выход фракции $f, \%$	Относительное расстояние \bar{R}
3,1	1,2	80,0	1,2	80,0	1,2	80,0	1,2
1,5	1,3	60,0	1,4	60,0	1,4	60,0	1,4
1,1	1,4	40,0	1,6	40,0	1,6	40,0	1,6
0,7	1,5	33,0	1,8	33,0	1,8	33,0	1,8
0,5	1,6	26,0	2,0	26,0	2,0	26,0	2,0
0,4	1,7	20,0	2,3	20,0	2,3	20,0	2,3
0,2	1,9	10,0	2,6	10,0	2,6	10,0	2,6
0,15	2,0	7,5	2,8	7,5	2,8	7,5	2,8
0,1	2,2	5,0	3,0	5,0	3,0	5,0	3,0
0,05	2,3	3,0	3,5	3,0	3,5	3,0	3,5
0,02	2,5	1,0	4,0	1,0	4,0	1,0	4,0
0,01	2,7	0,05	4,6	0,05	4,6	0,05	4,6
0,0	3,0	0,0	5,3	0,0	5,3	0,0	5,3

Задание 8. При проведении эксперимента установлена зависимость давления взрыва от концентрации сульфидной пыли. Данные собраны в табл. 26.

Вариант 24		Таблица 26		Продолжение таблицы 26	
$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$		Давление взрыва (кПа)		Концентрация пыли (кг/м^3)	
		65,2	0,25	65,2	0,25
		74,5	0,3	74,5	0,3
		79,2	0,35	79,2	0,35
		84,9	0,4	84,9	0,4
		86,5	0,45	86,5	0,45
		88,1	0,5	88,1	0,5
		88,5	0,52	88,5	0,52

Задание 9.. При проведении испытаний установлена зависимость массы фракции 0-100 мкм и 0-250 мкм на погонный метр удлиненного заряда гранулита АС-8 от относительного расстояния. Данные собраны в табл. 27-28.

Вариант 25 Таблица 27

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Фракция 0 - 100 мкм	
Масса фракции M, кг	Относительное расстояние \bar{R}
0,08	1,2
0,1	1,4
0,11	1,6
0,13	1,8
0,14	2
0,143	3
0,145	4
0,146	5
0,147	6
0,148	7
0,149	8
0,15	9
0,15	10

Вариант 26 Таблица 28

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Фракция 0 - 250 мкм	
Масса фракции M, кг	Относительное расстояние \bar{R}
2,0	1,2
3,5	1,4
5,0	1,6
5,6	1,8
6,2	2
7,8	3
9,0	4
9,1	5
9,2	6
9,4	7
9,45	8
9,5	9
9,5	10

Задание 10. При проведении эксперимента установлена зависимость частоты воспламенения метана от скорости детонации аммонита ПЖВ-20. Данные собраны в табл. 29.

Вариант 27 Таблица 29

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Частота воспламенения %	Скорость детонации D
0	3,2
7,5	3,5
10	3,65
15	3,7

Продолжение таблицы 29

26,2	3,8
30,5	3,88
28	4
20	4,2
15	4,3
6	4,5
0	4,52

Задание 11. При проведении эксперимента установлена зависимость температуры УВВ во времени от содержания в составе взрывчатых веществ различных наполнителей. Данные собраны в табл. 30-32.

Вариант 28 Таблица 30

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель CaCO_3	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Время, мкс
8,9	5
8,4	7
6,8	10
6,1	12
5,3	15
5,0	17
4,4	20
4,2	21
4,0	23
3,8	25
3,5	27
3,2	30

Вариант 29 Таблица 31

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель KCl	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Время, мкс
8,2	5
7,6	7
6,3	10
5,9	12
4,9	15
4,5	17
3,9	20
3,7	21
3,5	23
3,2	25
3,0	27
2,8	30

Вариант 30 Таблица 32

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель NH_4Cl	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Время, мкс
7,4	5
6,5	7
5,6	9
4,7	10
4,4	11
4,1	13
4,5	15

Продолжение таблицы 32

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель NH_4Cl	
Температура $T, 10^3 \text{ К}$	Время, мкс
4,3	17
3,0	20
3,3	21
3,9	23
2,6	25
2,5	27
2,4	30

Задание 12. При проведении испытаний определен объем раздробленной породы, выбрасываемой из скважины при взрыве заряда с различными типами забоек. Данные собраны в табл. 33-35.

Вариант 31 Таблица 33

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Без забойки	
Объем $V_r, \text{ м}^3$	Время $t, \text{ мс}$
0,0	10
0,01	15
0,05	20
0,07	25
1,0	30
1,45	35
1,9	40
3,9	50
5,9	60
7,1	70
10,0	80
12,3	90

Вариант 32 Таблица 34

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Плотная забойка	
Объем $V_r, \text{ м}^3$	Время $t, \text{ мс}$
0,0	10
0,04	15
0,1	20
0,6	25
1,3	30
1,6	35
2,0	40
4,0	50
6,0	60
7,8	70
12,1	80
14,8	90

Вариант 33 Таблица 35

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Профилированная забойка	
Объем $V_r, \text{ м}^3$	Время $t, \text{ мс}$
0,0	10
0,2	15
0,5	20
1,4	25
2,2	30
2,8	35
3,5	40

Продолжение таблицы 35

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Профилированная забойка	
Объем $V_r, \text{ м}^3$	Время $t, \text{ мс}$
5,5	50
6,5	55
7,5	60
9,9	65
12,2	70
16,4	80
18,6	90

Задание 13. При проведении испытаний установлена зависимость времени начала разложения частиц от их размера для различных типов наполнителей. Данные собраны в табл. 36-38.

Вариант 34 Таблица 36

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель CaCO_3	
Время t , мс	Радиус частицы Γ , мкм
0,6	10
1,0	15
1,4	20
2,0	35
3,0	50
4,0	60
4,8	70
5,6	85
5,55	100
5,5	110
5,25	120
5,0	135
4,95	140
4,9	147

Вариант 35 Таблица 37

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель NH_4Cl	
Время t , мс	Радиус частицы Γ , мкм
1,0	10
2,4	15
3,9	20
4,7	35
5,6	50
6,0	60
6,4	70
6,3	85
6,2	100
6,1	110
6,0	120
5,9	135
5,85	140
5,8	147

Вариант 36 Таблица 38

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель KCl	
Время t , мс	Радиус частицы Γ , мкм
0,6	10
1,0	15
1,7	20
2,6	35
3,6	50
4,7	60
5,3	70

Продолжение таблицы 38

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель KCl	
Время t , мс	Радиус частицы Γ , мкм
6,0	85
5,8	100
5,6	110
5,4	120
5,2	135
5,15	140
5,1	147

Задание 14. При проведении эксперимента установлена зависимость температуры продуктов взрыва от концентрации различных пламегасителей в составе взрывчатых веществ. Данные собраны в табл. 39-42.

Вариант 37 Таблица 39

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель NH_4Cl	
Температура $T_{\text{пв}}, \text{K}$	Концентрация пламегасителей, %
4200	0
3818	3
3573	5
3321	8
2947	10
3221	15
2462	17
1704	20
1564	22
1078	25

Вариант 38 Таблица 40

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель NaCl	
Температура $T_{\text{пв}}, \text{K}$	Концентрация пламегасителей, %
4200	0
3886	3
3668	5
3321	8
3173	10
2660	15
2408	17
2156	20
1997	22
1644	25

Вариант 39 Таблица 41

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель KCl	
Температура $T_{\text{пв}}, \text{K}$	Концентрация пламегасителей, %
4200	0
3923	3
3748	5
3456	8
3298	10
2857	15
2689	17
2405	20
1955	25

Вариант 40 Таблица 42

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель KJ	
Температура $T_{\text{пв}}, \text{K}$	Концентрация пламегасителей, %
4200	0
4006	3
3887	5
3383	8
3575	10
3203	15
3134	17
2960	20
2648	25

Задание 15. При проведении испытаний установлена зависимость времени разложения частиц от их размера для различных типов наполнителей. Данные собраны в табл. 43-45.

Вариант 41 Таблица 43

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,05.$	
Наполнитель CaCO_3	
Время разложения $t \cdot 10^3 \text{ с}$	Радиус частицы Γ , мкм
1,0	10
1,6	15
2,5	30
4,1	45
6,0	50
7,3	65
8,9	70
10,9	85
13,9	100
16,4	115
20,9	130
24,8	140
26,2	150

Вариант 42 Таблица 44

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Наполнитель NH_4Cl	
Время разложения $t \cdot 10^3 \text{ с}$	Радиус частицы Γ , мкм
1,0	10
3,0	20
5,0	30
6,7	40
8,5	50
10,8	60
13,4	70
14,6	75
15,8	80
17,9	85
20,0	90
22,6	95
24,9	100

Вариант 43 Таблица 45

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель KCl	
Время разложения $t \cdot 10^3 \text{ с}$	Радиус частицы Γ , мкм
1,0	10
1,4	15
2,3	20
2,9	30
5,0	40
7,1	50
9,2	60

Продолжение таблицы 45

$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,01.$	
Наполнитель KCl	
Время разложения $t \cdot 10^3 \text{ с}$	Радиус частицы Γ , мкм
11,2	70
13,3	80
15,1	90
18,6	100
22,5	110
26,4	120
28,8	125

Задание 16. При проведении эксперимента установлена зависимость коэффициента взрывчатости от концентрации пыли. Данные собраны в табл. 46.

Вариант 44		Таблица 46		Продолжение таблицы 46	
$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$		$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$		$\alpha_1 = 0,05; \alpha_2 = 0,1.$	
Критерий взрывчатости $K_{\text{взр.}}$	Концентрация пыли (кг/м^3)	Критерий взрывчатости $K_{\text{взр.}}$	Концентрация пыли (кг/м^3)	Критерий взрывчатости $K_{\text{взр.}}$	Концентрация пыли (кг/м^3)
0,5	0,0	2,2	1,9	2,2	1,9
1,15	0,1	2,0	3,0	2,0	3,0
1,17	0,2	1,17	4,6	1,17	4,6
2,2	0,3	1,15	6,2	1,15	6,2
2,3	0,5	1,05	6,5	1,05	6,5
2,55	0,8	1,0	6,8	1,0	6,8

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демидович Б.П. Численные методы анализа: Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения: Учебное пособие для вузов (под ред. Демидовича Б.П.). Изд. 4-е, стереотип./ Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. М.: Лань, 2008.
3. Гордеенко Н.М. Практикум по эконометрике: Учебное пособие для вузов (под ред. Елисеевой И.И.) изд. 2-е, перераб., доп./ Гордеенко Н.М., Елисеева И.И., Курьшева С.В. М.: Финансы и статистика, 2008.
4. Елисеева И.И. Эконометрика: Учебник / Елисеева И.И., Курьшева С.В., Нерадовская Ю.В. М.: Проспект, 2009.
5. Елисеева И.И. Общая теория статистики: Учебник для вузов (под ред. Елисеевой И.И.) изд. 5-е, перераб., доп. /Елисеева И.И., Юзбашев М.М. М.: Финансы и статистика, 2008.
6. Пармонов Г.П. Предупреждение взрывов сульфидной пыли на колчеданных рудниках. СПб.: СПГГИ(ТУ), 1999.
7. Архангельский А.Я. Программирование в Delphi для Windows. М.: Бином-Пресс, 2007. 1248 с.
8. Кирьянов Д.В. Mathcad 14. БХВ-Петербург. 2007, 686 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

В табл. 47. приведены значения F-критерия Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Таблица 47

$d.f.$ $d.f_2$	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	161,45	199,50	215,72	224,57	230,17	233,97	238,89	243,91	249,04	254,32
2	18,5	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,45	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,64	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,77	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,53	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,84	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,41	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,12	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,90	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,74	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,61	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,50	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,60	2,42	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,35	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,29	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,24	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,55	2,38	2,19	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,15	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,48	2,31	2,11	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,08	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,42	2,25	2,05	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,40	2,23	2,03	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,38	2,20	2,00	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,36	2,18	1,98	1,73
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,34	2,16	1,96	1,71
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,32	2,15	1,95	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,30	2,13	1,93	1,67

Продолжение таблицы 47

$d.f_1$										
$d.f_2$	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,29	2,12	1,91	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,28	2,10	1,90	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,89	1,62
35	4,12	3,26	2,87	2,64	2,48	2,37	2,22	2,04	1,83	1,57
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,79	1,52
45	4,06	3,21	2,81	2,58	2,42	2,31	2,15	1,97	1,76	1,48
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,13	1,95	1,74	1,44
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,10	1,92	1,70	1,39
70	3,98	3,13	2,74	2,50	2,35	2,23	2,07	1,89	1,67	1,35
80	3,96	3,11	2,72	2,49	2,33	2,21	2,06	1,88	1,65	1,31
90	3,95	3,10	2,71	2,47	2,32	2,20	2,04	1,86	1,64	1,28
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	2,03	1,85	1,63	1,26
125	3,92	3,07	2,68	2,44	2,29	2,17	2,01	1,83	1,60	1,21
150	3,90	3,06	2,66	2,43	2,27	2,16	2,00	1,82	1,59	1,18
200	3,89	3,04	2,65	2,42	2,26	2,14	1,98	1,80	1,57	1,14
300	3,87	3,03	2,64	2,41	2,25	2,13	1,97	1,79	1,55	1,10
400	3,86	3,02	2,63	2,40	2,24	2,12	1,96	1,78	1,54	1,07
500	3,86	3,01	2,62	2,39	2,23	2,11	1,96	1,77	1,54	1,06
1000	3,85	3,00	2,61	2,38	2,22	2,10	1,95	1,76	1,53	1,03
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,52	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

В табл. 48 приведены значения t-критерия Стьюдента при уровне значимости 0,10; 0,05; 0,01 (двухсторонний).

Таблица 48

Число степеней свободы <i>d.f.</i>	α			Число степеней свободы <i>d.f.</i>	α		
	0,10	0,05	0,01		0,10	0,05	0,01
1	6,3138	12,706	63,657	18	1,7341	2,1009	2,8784
2	2,9200	4,3027	9,9248	19	1,7291	2,0930	2,8609
3	2,3534	3,1825	5,8409	20	1,7247	2,0860	2,8453
4	2,1318	2,7764	4,6041	21	1,7207	2,0796	2,8314
5	2,0150	2,5706	4,0321	22	1,7171	2,0739	2,8188
6	1,9432	2,4469	3,7074	23	1,7139	2,0687	2,8073
7	1,8946	2,3646	3,4995	24	1,7109	2,0639	2,7969
8	1,8595	2,3060	3,3554	25	1,7081	2,0595	2,7874
9	1,8331	2,2622	3,2498	26	1,7056	2,0555	2,7787
10	1,8125	2,2281	3,1693	27	1,7033	2,0518	2,7707
11	1,7959	2,2010	3,1058	28	1,7011	2,0484	2,7633
12	1,7823	2,1788	3,0545	29	1,6991	2,0452	2,7564
13	1,7709	2,1604	3,0123	30	1,6973	2,0423	2,7500
14	1,7613	2,1448	2,9768	40	1,6839	2,0211	2,7045
15	1,7530	2,1315	2,9467	60	1,6707	2,0003	2,6603
16	1,7459	2,1199	2,9208	120	1,6577	1,9799	2,6174
17	1,7396	2,1098	2,8982	∞	1,6449	1,9600	2,5758

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ПОСТРОЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ	4
ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ	7
ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ КОРРЕЛЯЦИИ	7
ПРИМЕР	15
ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ТРЕНДА	23
ПОЛУЧЕНИЕ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ ЛИНЕЙН И ЛГРФПРИБЛ	25
ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРОГНОЗНОГО ЗНАЧЕНИЯ	28
РАСЧЕТ АППРОКСИМАЦИИ В ПРОГРАММЕ, РАЗРАБОТАННОЙ В СРЕДЕ DELPHI 7	28
РАСЧЕТ АППРОКСИМАЦИИ В MATHCAD	52
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	69
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	70
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	72