

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЛАБОРАТОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ХТФ  
КАФЕДРА ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛАСТОМЕРОВ

А.Н. Гайдадин, С.А. Ефремова

ПРИМЕНЕНИЕ  
СРЕДСТВ ЭВМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ  
АКТИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

*Методические указания*



Волгоград  
2008

УДК 678.04

Рецензент

профессор кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности»  
*А.Б. Голованчиков*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

**Применение** средств ЭВМ при обработке активного эксперимента/ сост.  
А.Н.Гайдадин, С.А.Ефремова; ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 16 с.

В методических указаниях описана реализация активного эксперимента при решении технологических задач. Для студентов по направлениям 240100 «Химическая технология и биотехнология», 260100 «Технология продуктов питания», специальности 240502 «Технология переработки пластических масс и эластомеров», а также для студентов, обучающихся по магистерским программам 240115 «Технология переработки эластомеров» и 240110 «Химическая технология высокомолекулярных соединений».

©Волгоградский государственный  
технический университет, 2008

## ВВЕДЕНИЕ

Методы активного эксперимента занимают важное место в деятельности инженера-технолога. Их применение позволяет получать математические модели, описывающие свойства широкого класса объектов исследований. При этом не возникает необходимость в оценке процессов, протекающих внутри объекта. Получение математической модели обеспечивается четким выполнением алгоритма исследований и надежным определением значений функции отклика объекта. В этом случае задачей исследователя является реализация алгоритма активного эксперимента с помощью различных средств обработки данных. Выполнение этой задачи позволяет реализовать все этапы работы с математической моделью эксперимента.

### 1. Цель и задачи лабораторной работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с использованием вычислительной техники для обработки экспериментальных данных, полученных в результате проведения активного эксперимента при исследовании технологических процессов.

В ходе лабораторной работы студенты должны приобрести навыки использования вычислительной техники и специального программного обеспечения, а именно программных пакетов MathCad, Microsoft Excel, OpenOffice Calc для обработки экспериментальных данных, полученных при проведении полного факторного эксперимента и при ортогональном планировании эксперимента. При выполнении лабораторной работы студенты должны научиться работать с полученными математическими моделями.

Перед студентами стоит задача изучения использования средств ЭВМ при проведении методов планирования активного эксперимента применительно к технологическим задачам. Студенты должны освоить принципы составления матрицы планирования полного факторного эксперимента, проводить расчет коэффициентов регрессии, использовать статистические критерии для оценки однородности, нормальности экспериментальных данных, значимости коэффициентов и адекватности полученной математической модели, а также

проводить ее оптимизацию с использованием программных средств.

## 2. Теоретическая часть

Планирование эксперимента - это оптимальное (наиболее эффективное) управление ходом эксперимента с целью получения максимально возможной информации на основе минимально допустимого количества опытных данных. Под экспериментом будем понимать систему операций, воздействий и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте при исследовательских испытаниях. Эксперимент, в котором исследователь по своему усмотрению может изменять условия его проведения, называется активным экспериментом. Эксперимент, при котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются им, является пассивным [1].

Перед проведением планирования активного эксперимента необходимо собрать дополнительную информацию об исследуемом объекте. Для получения дополнительной информации можно использовать результаты пассивного эксперимента, осуществлявшегося в предыдущих исследованиях или описанного в литературе. Планирование эксперимента позволяет варьировать все факторы и получать одновременно оценки их влияния. При этом важно учитывать следующее: стремление к минимизации числа опытов; одновременное варьирование всех переменных, определяющих процесс; выбор четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии экспериментов.

Активные эксперименты обладают следующими достоинствами:

- 1) результаты наблюдений  $y_1, y_2, \dots, y_n$  представляют собой независимые, нормально распределенные случайные величины;
- 2) дисперсии равны друг другу (выборочные оценки однородны);
- 3) независимые переменные  $x_1, x_2, \dots, x_p$  измеряются с пренебрежимо малой погрешностью по сравнению с погрешностью в определении  $y$ ;

4) активный эксперимент лучше организован: оптимальное использование факторного пространства позволяет при минимальных затратах получить максимум информации об изучаемых явлениях.

При планировании эксперимента удастся избежать корреляции между коэффициентами уравнения регрессии. В случае статистического подхода математическая модель объекта или процесса представляется в виде полинома, т.е. отрезка ряда Тейлора, в который разлагается неизвестная функция [2]:

$$y(x_1, \dots, x_k) = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{\substack{i,j,u=1 \\ i \neq j \neq u}}^k b_{iju} \cdot x_i \cdot x_j \cdot x_u + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2 + \dots \quad (1)$$

где  $b_0$  - свободный член;  $b_i$  — линейные эффекты;  $b_{ij}$  — эффекты парного взаимодействия;  $b_{ii}$  — квадратичные эффекты;  $b_{iju}$  — эффекты тройного взаимодействия.

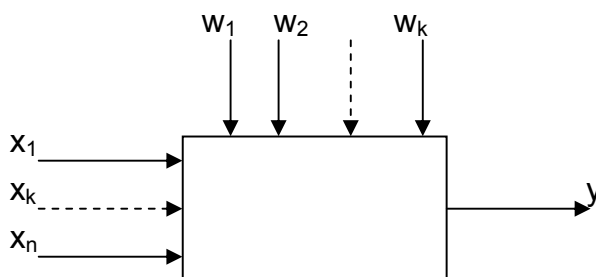


Рисунок 1 – Система «Черный ящик».

Объект исследования можно представить в виде системы «черный ящик» (рис. 1). Суть системы «черный ящик» состоит в изучении зависимости отклика системы  $Y$  на изменение входных измеряемых и управляемых параметров  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$  при действии случайных факторов  $W(w_1, w_2, \dots, w_k)$ , которые называют «шумом» объекта. Комплекс параметров  $X$  называют основным, он определяет условия эксперимента. Выходным параметром  $Y$  может являться любые технологические или технические показатели исследуемого процесса. Случайным будет считаться любой фактор, не вошедший в основной комплекс входных параметров [3].

При планировании активного эксперимента реализуются различные комбинации факторов на выбранных для исследования уровнях в соответствии с планом планирования.

## Полный факторный эксперимент

При полном факторном эксперименте полученное уравнение регрессии принимает вид полинома первой степени (2).

$$y(x_1, \dots, x_k) = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{\substack{i,j,\dots,n=1 \\ i \neq j \neq \dots \neq u}}^k b_{ijn} \cdot x_i \cdot x_j \cdot \dots \cdot x_n \quad (2)$$

Уровни факторов для ПФЭ представляют собой границы исследуемой области по выбранному параметру (минимальное и максимальное значение фактора). Зная максимальное  $z_i^{\max}$  и минимальное  $z_i^{\min}$  значения технологического параметра (фактора) можно определить координаты центра плана, так называемый основной уровень  $z_i^0$ , а также интервал (шаг) варьирования  $\Delta z_i$ :

$$z_i^0 = \frac{z_i^{\max} + z_i^{\min}}{2}, \quad \Delta z_i = \frac{z_i^{\max} - z_i^{\min}}{2}, \quad \text{где } i=1, 2, 3, \dots, k, \quad (3)$$

где  $k$  – число факторов.

От систем координат  $z_1, \dots, z_k$  необходимо перейти к новой безразмерной системе координат  $x_1, \dots, x_k$  с помощью линейного преобразования:

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\Delta z_i}, \quad \text{где } i=1, 2, 3, \dots, k. \quad (4)$$

При планировании по схеме полного факторного эксперимента (ПФЭ) реализуются все возможные комбинации факторов на всех выбранных для исследования уровнях. Количество опытов  $N$  при ПФЭ определяется по формуле:

$$N = n^k, \quad (5)$$

где  $n$  – количество уровней.

В таблице 1 представлена расширенная матрица планирования для двухфакторного полнофакторного эксперимента с использованием безразмерной системой координат.

Любой коэффициент уравнения регрессии  $b_j$  определяется скалярным произведением столбца  $y$  на соответствующий столбец  $x_j$ , отнесенным к числу опытов в матрице планирования  $N$ :

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} y_i \quad (6)$$

Таблица 1 – Расширенная матрица планирования полного факторного эксперимента  $2^2$

Номер опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$y$
1	2	3	4	6	10
1	+1	-1	-1	+1	$y_1$
2	+1	+1	-1	-1	$y_2$
3	+1	-1	+1	-1	$y_3$
4	+1	+1	+1	+1	$y_4$

Эффекты взаимодействия определяются аналогично линейным эффектам.

Так для ПФЭ  $2^3$  коэффициенты определяются следующим образом:

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_1 x_2)_i y_i}{N}, b_{13} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_1 x_3)_i y_i}{N}, b_{23} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_2 x_3)_i y_i}{N}, b_{123} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_1 x_2 x_3)_i y_i}{N}. \quad (7)$$

РАСЧЕТ экспериментальных данных ПФЭ с помощью OpenOffice.org Calc 2.3 и Microsoft Excel XP:

ПРИМЕР. Для изучения зависимости соотношения между водной и общей формами  $P_2O_5$  ( $y$ , %) от температуры процесса аммонизации ( $z_1$ ,  $^{\circ}C$ ) и содержания воды в спиртовой фазе ( $z_2$ , %) при получении монокальцийфосфата кислотным разложением фосфата с применением жидкостной экстракции был проведен полный факторный эксперимент  $2^2$ . Каждый опыт повторялся два раза. Определить уравнение регрессии в безразмерном масштабе.

1. Ввод начальных данных — минимальные и максимальные значения входящих параметров, в данном случае — температура процесса аммонизации ( $z_1$ ) и содержание воды в спиртовой фазе ( $z_2$ ), вычисление основного уровня ( $z^0$ ) и интервала варьирования ( $\Delta z$ ). (рис.1)

	A	B	C	D	E
1	Вычисление основного уровня $z_0$ и				
2					
3	$z_{1max} =$	80	$z_{1-0} =$	50	
4	$z_{1min} =$	20	$\Delta z_1 =$	30	
5	$z_{2max} =$	11,34	$z_{2-0} =$	10,55	
6	$z_{2min} =$	9,75	$\Delta z_2 =$	0,795	
7					

Рисунок 1 - Расчет основного уровня и интервала варьирования.

## 2. Составление матрицы планирования полного факторного эксперимента.

Для этого от значений факторов в натуральном масштабе переходят к безразмерной системе координат. (рис.2).

ABS    X ✓ f <sub>x</sub> =(B11-\$D\$3)/\$D\$4										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Вычисление основного уровня z-0 и									
2										
3	z1max=	80	z1-0=	50						
4	z1min=	20	Δz1=	30						
5	z2max=	11,34	z2-0=	10,55						
6	z2min=	9,75	Δz2=	0,795						
7	Составление матрицы планирования полного факторного эксперимента для 2 факторов									
8										
9	Номер	Факторы в натуральном масштабе		Факторы в безразмерной системе координат			Выходной параметр			
10	опыта	z1	z2	x0	x1	x2	y1	y2	уср	
11	1	80	11,34	0	0	-1	85,2		84,15	
12	2	20	9,75	0	-1	-1	60,6	62,5	61,55	
13	3	80	9,75	0	1	-1	71,8	73,9	72,85	
14	4	20	11,34	0	-1	1	83,7	81,9	82,8	
15										

Рисунок 2 — Составление матрицы планирования ПФЭ.

3. Построение расширенной матрицы планирования ПФЭ, вычисление коэффициентов уравнения регрессии.

ABS    X ✓ f <sub>x</sub> =F23/\$A\$22										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
15										
16	Расширенная матрица планирования полного факторного эксперимента д									
17										
18	Номер	x0	x1	x2	x1x2	Y ср	x1*Yср	x2*Yср	x1*x2*Yср	
19	опыта									
19	1	0	1	1	1	84,15	84,15	84,15	84,15	
20	2	0	-1	-1	1	61,55	-61,55	-61,55	61,55	
21	3	0	1	-1	-1	72,85	72,85	-72,85	-72,85	
22	4	0	-1	1	-1	82,8	-82,8	82,8	-82,8	
23	сумма					301,35	12,65	32,55	-9,95	
24										
25										
26	b0=	=F23/\$A\$22								
27	b1=	3,163								
28	b2=	8,138								
29	b12=	-2,488								
30										

Рисунок 3 — Вычисление коэффициентов регрессии для ПФЭ.

4. После того как получено уравнение регрессии, построим линии равного уровня. Для этого выразим x2 через значения x1:

$$x_2 = (Y - b_0 - b_1 \cdot x_1) / (b_2 + b_{12} \cdot x_1 + x_2).$$



В полученное выражение подставляют различные значения  $Y$ , составляем соответствующую таблицу (рис.4).

ABS $\times$ $\checkmark$ $\&$ $= (80 - \$B\$26 - \$B\$27 * D26) / (\$B\$28 + \$B\$29 * D26)$										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
24				Построение линий уровня						
25					80	75	70	65	60	
26	b0=	75,34		-1	$= (80 - \$B\$26 - \$B\$27 * D26) / (\$B\$28 + \$B\$29 * D26)$					
27	b1=	3,163		-0,75	0,703	0,2034	-0,296	-0,796	-1,296157	
28	b2=	8,138		-0,5	0,666	0,1326	-0,4	-0,933	-1,466356	
29	b12=	-2,488		-0,25	0,623	0,0517	-0,519	-1,09	-1,660721	
30				0	0,573	-0,041	-0,656	-1,27	-1,884793	
31				0,25	0,515	-0,15	-0,815	-1,481	-2,145946	
32				0,5	0,447	-0,278	-1,004	-1,729	-2,454216	
33				0,75	0,365	-0,432	-1,229	-2,026	-2,823617	
34				1	0,265	-0,619	-1,504	-2,389	-3,274336	
35										

Рисунок 4 — Таблица для построения линий равного уровня.

После чего построим линии с помощью компонента «Диаграмма» (рис.5) (тип диаграммы – точечный график).

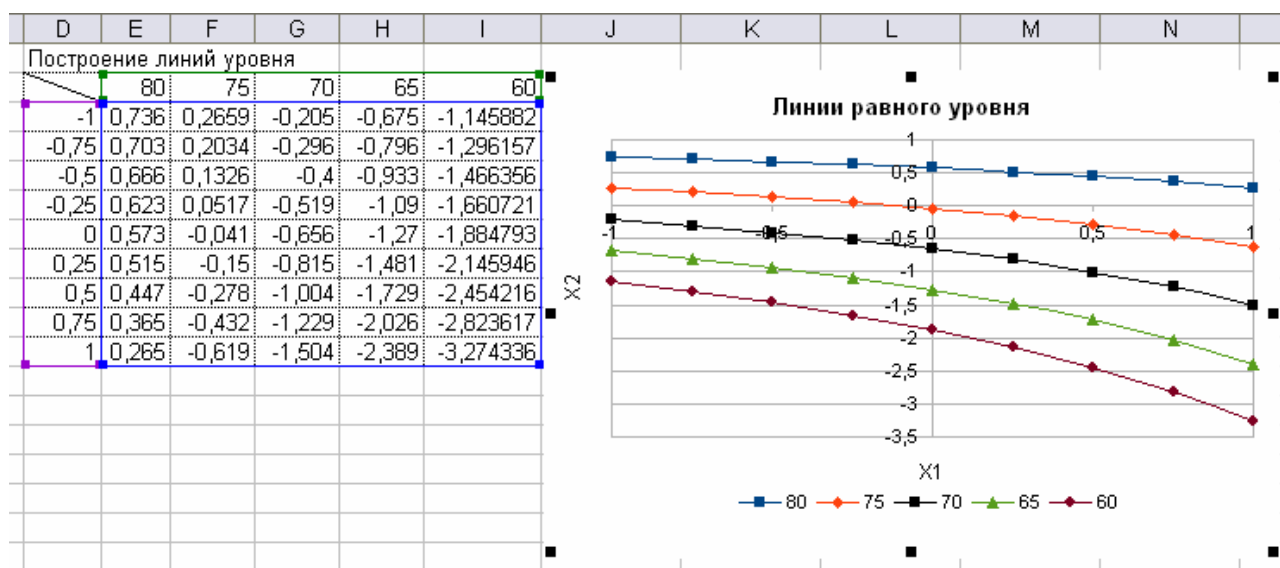


Рисунок 5 – Построение линий равного уровня.

### Ортогональное планирование

При описании области, близкой к экстремуму, чаще других применяют полиномы второго порядка, что связано в первую очередь с тем, что полиномы второго порядка легко поддаются систематизации и исследованию на экстремум. При этом число опытов  $N$  должно быть не меньше числа определяемых коэффициентов в уравнении регрессии второго порядка для  $k$  факторов:

$$y(x_1, \dots, x_k) = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2. \quad (8)$$

Для описания поверхности отклика полиномами второго порядка независимые факторы должны принимать не менее трех разных значений.

С целью сокращения числа опытов используют композиционные (последовательные) планы. Композиционный план состоит из экспериментов ПФЭ  $2^k$  ( $k \leq 5$ ), к которым добавляют эксперимент в центре плана и в  $2k$  звездных точках, расположенных на осях фиктивного пространства, координаты которых:  $(\pm\alpha, 0, \dots, 0)$ ,  $(0, \pm\alpha, 0, \dots, 0)$ , ...,  $(0, \dots, 0, \pm\alpha)$ , где  $\alpha$  - расстояние от центра плана до звездной точки – «звездного плеча». Общее количество опытов рассчитывается по формуле [2]:

$$N = N_0 + 2k + n_0, \quad (9)$$

где  $n_0$  - количество опытов в центре плана,  $k$  – число факторов,  $N_0$  – число опытов полного факторного эксперимента  $2^k$ .

Композиционные планы легко приводятся к ортогональным выбором звездного плеча  $\alpha$ . Длина «звездного плеча»  $\alpha$  рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sqrt{N_0 N} - N_0}{2}}. \quad (10)$$

Значение «звездного плеча» зависит от числа полных повторений эксперимента в центре плана ( $N=9$ ).

Таблица 2– Композиционный план второго порядка для двух факторов

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе		Факторы в условных единицах		y
	$Z_1$	$Z_2$	$X_1$	$X_2$	
1	$Z_1^{\min}$	$Z_2^{\min}$	-1	-1	$y_1$
2	$Z_1^{\max}$	$Z_2^{\min}$	+1	-1	$y_2$
3	$Z_1^{\min}$	$Z_2^{\max}$	-1	+1	$y_3$
4	$Z_1^{\max}$	$Z_2^{\max}$	+1	+1	$y_4$
5	$Z_1^0$	$Z_2^0$	0	0	$y_5$
6	$Z_1^{+\alpha}$	$Z_2^0$	+1	0	$y_6$
7	$Z_1^{-\alpha}$	$Z_2^0$	-1	0	$y_7$
8	$Z_1^0$	$Z_2^{+\alpha}$	0	+1	$y_8$
9	$Z_1^0$	$Z_2^{-\alpha}$	0	-1	$y_9$

В таблице 2 представлен композиционный план второго порядка для двух факторов. Для того, чтобы матрица планирования обладала свойством ортогональности, необходимо ввести столбцы с скорректированными значениями уровня  $x'$ , которые вычисляются по формуле [4]:

$$(x'_i)^2 = x_i^2 - \frac{\sum x_i^2}{N} \quad (11)$$

Матрица расчетов коэффициентов уравнения представлена в таблице 3, в которой столбцы 2-7 представляют собой ортогональную матрицу планирования, столбец 8 – значения отклика системы; первые четыре опыта – это матрица полного факторного эксперимента  $2^2$ .

Экспериментальные данные должны быть однородными и нормальнораспределенными.

В соответствии с данными таблицы 2 рассчитывают коэффициенты уравнения регрессии. Величины коэффициентов уравнения регрессии характеризуют вклад каждого фактора в значение функции отклика.

Таблица 2 - Матрица расчета коэффициентов двухфакторной модели

Номер опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$(x'_1)^2$	$(x'_2)^2$	$x_1x_2$	$y$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+1	-1	-1	+0,33	+0,33	+1	$y_1$
2	+1	+1	-1	+0,33	+0,33	-1	$y_2$
3	+1	-1	+1	+0,33	+0,33	-1	$y_3$
4	+1	+1	+1	+0,33	+0,33	+1	$y_4$
5	+1	0	0	-0,67	-0,67	0	$y_5$
6	+1	+1	0	+0,33	-0,67	0	$y_6$
7	+1	-1	0	+0,33	-0,67	0	$y_7$
8	+1	0	+1	-0,67	+0,33	0	$y_8$
9	+1	0	-1	-0,67	+0,33	0	$y_9$
$\Sigma$	9	6	6	2	2	4	

Коэффициенты рассчитываются по следующим формулам [4]:

$$b_1 = \frac{\sum(x_1y)}{6} \quad b_2 = \frac{\sum(x_2y)}{6} \quad b_{11} = \frac{\sum((x'_1)^2 y)}{2} \quad b_{22} = \frac{\sum((x'_2)^2 y)}{2}$$

$$b_{12} = \frac{\sum(x_1x_2y)}{4} \quad b_0 = \frac{\sum(x_0y)}{9} - 0,67b_{11} - 0,67b_{22} \quad (12)$$

Пример расчета активного эксперимента при ортогональном планировании с

помощью MathCad 13.0

## 1. Ввод исходных данных активного эксперимента (рис. 6)

Ортогональное планирование для 2 факторов  $\text{ORIGIN} := 1$   
 Вычисление числа эксперимента и звездного плеча  
 $N_x := 4 + 2 \cdot 2 + 1 \quad N = 9$       $\alpha := \sqrt{\frac{\sqrt{4 \cdot N} - 4}{2}} \quad \alpha = 1$

$z1_{\max} := 80 \quad z2_{\max} := 11.34 \quad z1_{\min} := 20 \quad z2_{\min} := 9.75$

Перейдем от натуральных значений к безразмерной системе координат  
 Составляем матрицу ортогонального планирования:

	z1	z2	x1	x2		
$M1 :=$	20	9.75	-1	-1	$Y :=$	84.15
	80	9.75	1	-1		61.55
	20	11.34	-1	1		72.85
	80	11.34	1	1		82.8
	50	10.55	0	0		75.34
	80	10.55	1	0		78.5
	20	10.55	-1	0		72.18
	50	11.34	0	1		83.48
	50	9.75	0	-1		67.5

Рисунок 6 – Ввод исходных данных

## 2. Расчет коэффициентов регрессии (рис.7):

$$X1 := M1^{(3)} \quad X2 := M1^{(4)}$$

Рассчитаем корректирующие координаты

$$X1i := X1^2 - \left( \frac{\sum X1^2}{N} \right) \quad X2i := X2^2 - \left( \frac{\sum X2^2}{N} \right)$$

Рассчитаем коэффициенты уравнения регрессии

$$b1 := \frac{\sum_{i=1}^N (X1_i \cdot Y_i)}{\sum X1^2} \quad b2 := \frac{\sum_{i=1}^N (X2_i \cdot Y_i)}{\sum X2^2} \quad b11 := \frac{\sum_{i=1}^N (X1_i \cdot Y_i)}{\sum (X1)^2} \quad b22 := \frac{\sum_{i=1}^N (X2_i \cdot Y_i)}{\sum X2_i^2}$$

$$b12 := \frac{\sum_{i=1}^N (X1_i \cdot X2_i \cdot Y_i)}{X1^2 \cdot X2^2} \quad b0 := \frac{\sum Y}{N} - 0.67 \cdot b11 - 0.67 \cdot b22$$

Полученные коэффициенты:

$$b1 = -1.055 \quad b2 = 4.322 \quad b12 = 8.138 \quad b0 = 75.408 \quad b11 = -0.102 \quad b22 = 0.048$$

Рисунок 7 - Расчет коэффициентов регрессии

3. Построение поверхности и линий уровня (рис.8) с помощью уравнения регрессии, полученного на основании ортогонального планирования:

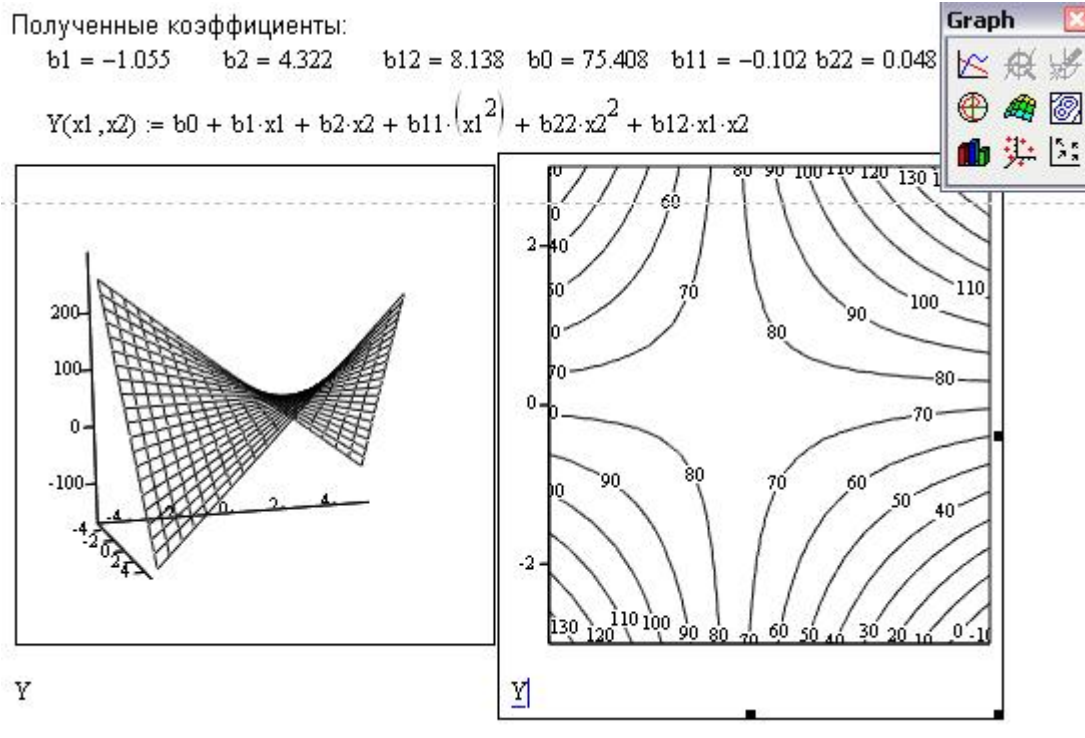


Рисунок 8 – Построение линий равного уровня

После того как получено уравнение регрессии при активном эксперименте проверяется значимость коэффициентов с помощью критерия Стьюдента [2] и адекватность полученной регрессии с помощью критерия Фишера [2]. В случае незначимости коэффициентов их можно исключить из уравнения регрессии при дальнейшем исследовании математической модели.

### Порядок выполнения работы

1. Подготовить экспериментальные данные и получить допуск у преподавателя.
2. Определить область планирования эксперимента, число действующих факторов, функцию отклика.
3. Провести проверку экспериментальных данных на однородность и нормальность.
4. Провести расчет матрицы полного факторного эксперимента в OpenOffice Org Calc, занести матрицу в протокол.
6. Получить уравнение регрессии. Провести сравнение экспериментальных и расчетных значений. Занести результаты в протокол.

7. Провести оценку значимости коэффициентов регрессии и оценку адекватности полученного уравнения. Результаты занести в протокол.
8. Провести анализ типа поверхности отклика, построить линии равного уровня. Результаты занести в протокол. Схематично изобразить в протоколе полученную поверхность, линии равного уровня.
9. Провести расчет матрицы полного факторного эксперимента в MathCad, занести матрицу в протокол.
10. Получить уравнение регрессии. Провести сравнение экспериментальных и расчетных значений. Занести результаты в протокол.
11. Провести оценку значимости коэффициентов регрессии и оценку адекватности полученного уравнения. Результаты занести в протокол.
12. Провести анализ типа поверхности отклика, построить линии равного уровня. Результаты занести в протокол. Схематично изобразить в протоколе полученную поверхность, линии равного уровня.
13. Рассчитать значения выходного параметра в 4 точках. Занести результаты в протокол.
14. Рассчитать координаты точки экстремума. Произвести расчет функции отклика в данной точке.
15. Написать выводы о проделанной работе.
16. Подготовиться к отчету лабораторной работы преподавателю.

### Контрольные вопросы

1. Цель планирования эксперимента.
2. Основные отличия методов пассивного и активного эксперимента.
3. Достоинства и недостатки активного и пассивного эксперимента.
4. Понятие системы «Черный ящик».
5. Порядок выборов действующих факторов, области определения эксперимента.
6. Вид уравнения Тейлора при планировании эксперимента.
7. Написать уравнение регрессии, полученное в результате ПФЭ для трех факторов.

8. Построение матрицы планирования ПФЭ. Ее назначение. Порядок расчета коэффициентов математической модели.
9. Написать уравнение регрессии, полученное в результате ортогонального планирования для трех факторов.
10. Построение матрицы композиционного планирования. Ее назначение. Порядок расчета коэффициентов математической модели.
11. Определение значимости коэффициентов регрессии.
12. Анализ способов оценки адекватности полученного уравнения регрессии.
13. Построение линий равного уровня функции отклика. Определение типа поверхности функции отклика при ортогональном планировании двухфакторного эксперимента.

#### Список использованной литературы

1. ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения.
2. Ахназарова, С.Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии \ С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров.- М. Высш.шк., 1978.–213с.
3. Монтгомери Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных: пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1980 – 384 с.
4. Планирование эксперимента и применение вычислительной техники в процессе синтеза резин \ под редакцией В.Ф.Евстратова, Л.Г. Шварца. – М.: Химия,1970. - с.112-140.
5. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий\ Ю.П.Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М. Наука, 1976 – 280 с.

Алексей Николаевич **Гайдадин**  
Светлана Анатольевна **Ефремова**

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ЭВМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ АКТИВНОГО  
ЭКСПЕРИМЕНТА

*Методические указания к лабораторной работе*

Редактор

Темплан изданий 2008 г., поз. № .

Формат 60x84 1/16.

Бумага газетная. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 1,0.

Подписано в печать                      Заказ № .

Волгоградский государственный технический университет.  
400131, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28.

РИО РПК «Политехник»  
Волгоградского государственного технического университета.  
400131, г. Волгоград, ул. Советская, 35.