

Вывод.

Получили навыки выполнения имитационного моделирования при исследовании технологического процесса шлифования пористого покрытия. В данной лабораторной работе мы изучили прием замены реальных параметров режима обработки коэффициентом штрафа, который имитирует действие двух параметров режима обработки – глубину резания и размер частиц абразивного круга, научились составлять технические условия по заданной задаче и определять математическую модель с системой статистических оценок по критериям Фишера, Кохрена и Стьюдента..

Перечень вопросов для самоконтроля

1. Определите понятия «параметр», «фактор», «показатель».
2. Что такое имитационная модель?
3. Какие этапы разработки имитационной модели?
4. Какой фактор выполняет функцию имитатора в настоящей работе?

Библиографический список

1. Конспект лекций.
2. Бронштейн Н.Н. Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1980. – 976с.
3. Кане М.Л. “Основы научных исследований технологии машиностроения”, Минск, высшая школа 1987.-231с.

Заказ № _____ от « ____ » _____ 200 ____ . Тираж _____ экз
Изд-во СевНТУ



Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Сборник
методических указаний

к выполнению лабораторных работ №2 и №3

ПО ДИСЦИПЛИНЕ:
«Основы математического моделирования технологических
процессов»
для студентов специальности
7.09.0202 «Технология машиностроения»
дневной формы обучения

Севастополь
2009



УДК 536:621.9(075.8)

Сборник методических указаний к выполнению лабораторных работ №2 «Планирование экспериментов» и №3 «Имитационное моделирование» по дисциплине «Основы математического моделирования технологических процессов» Сост. Л.М. Мурзин,./ - Севастополь: Изд - во СевНТУ, 2009. - 36 с.

Цель: оказание помощи студентам в выполнении лабораторных работ по тематике математического моделирования сложных производственных процессов, ознакомление студентов с практикой применения метода планирования экспериментов и имитационного моделирования при исследовании сложных многофакторных технологических процессов и явлений.

Методические указания предназначены для студентов дневной формы обучения.

Методические рекомендации рассмотрены и утверждены на заседании кафедры ТМ (протокол №1 от 02.09.2008 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент: Троценко А.В., доц., канд. техн. наук.

2.04000 : 0.00022
0.52125 : 0.00008
2.04000 : 0.00062
0.52125 : 0.00013
2.04000 : 0.00010

ОЦЕНКА ДИСПЕРСИИ АДЕКВАТНОСТИ: 0.0007

КРИТЕРИЙ ФИШЕРА РАСЧЕТНЫЙ: 0.8173

КРИТЕРИЙ ФИШЕРА ТАБЛИЧНЫЙ: 3.5806

РАЗНОСТЬ: -2.7633

МОДЕЛЬ АДЕКВАТНА

Расчет коэффициентов размерной модели обратной кодировкой

ФАКТОР 1

НИЖНИЙ УРОВЕНЬ=15

ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ=40

ФАКТОР 1 НИЖНИЙ УРОВЕНЬ= 15.0000 ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ= 40.0000

ФАКТОР 2

НИЖНИЙ УРОВЕНЬ=0.1

ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ=0.4

ФАКТОР 2 НИЖНИЙ УРОВЕНЬ= 0.1000 ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ= 0.4000

ФАКТОР 3

НИЖНИЙ УРОВЕНЬ=100

ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ=400

ФАКТОР 3 НИЖНИЙ УРОВЕНЬ= 100.0000 ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ= 400.0000

ФАКТОР 4

НИЖНИЙ УРОВЕНЬ=1

ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ=2

ФАКТОР 4 НИЖНИЙ УРОВЕНЬ= 1.0000 ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ= 2.0000

ЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ

КОЭФФИЦИЕНТЫ РАЗМЕРНОЙ МОДЕЛИ:

$R_a = 2.5462 + 0.0000 d + 0.0000 t - 0.0051 N + 0.0000 L$

Обсуждение полученного результата.

- модель неполная (коэффициенты при параметрах d, t, L- незначимы)

-величина шероховатости зависит только от количества пор

- модель следует исправить с целью выявления зависимости R_a от остальных технологических параметров процесса шлифования пористого покрытия.

Выписать полный вид модели

$$R_a = 2.5462 - 0.0051 N \quad (3)$$

Полученную модель исправить, используя алгоритмы, изложенные в конспекте лекций, параграф «Планирование эксперимента» (см. раздел 1.3.7 и 1.3.8 настоящих методических указаний)



2.7.3 Раздел 3 Построение математической модели

Результаты опытов показаны в таблице

N	X0	X1	X2	X3	X4	A1	Yi
1	1	1	1	1	1	6,889	:0.53 0.51
2	1	1	1	-1	-1	6,889	:2.01 2.01
3	1	1	-1	1	-1	8,006	:0.53 0.52
4	1	1	-1	-1	1	8,006	:2.05 2.06
5	1	-1	1	1	-1	16,012	:0.52 0.54
6	1	-1	1	-1	1	16,012	:2.01 2.12
7	1	-1	-1	1	1	18,012	:0.52 0.50
8	1	-1	-1	-1	-1	18,012	:2.03 2.03

Результаты расчета математических ожиданий и дисперсий по опытам

I= 1 СРЕДНЕЕ= 0.5200 ДИСПЕРСИЯ= 0.0002

I= 2 СРЕДНЕЕ= 2.0100 ДИСПЕРСИЯ= 0.0000

I= 3 СРЕДНЕЕ= 0.5250 ДИСПЕРСИЯ= 0.0000

I= 4 СРЕДНЕЕ= 2.0550 ДИСПЕРСИЯ= 0.0001

I= 5 СРЕДНЕЕ= 0.5300 ДИСПЕРСИЯ= 0.0002

I= 6 СРЕДНЕЕ= 2.0650 ДИСПЕРСИЯ= 0.0061

I= 7 СРЕДНЕЕ= 0.5100 ДИСПЕРСИЯ= 0.0002

I= 8 СРЕДНЕЕ= 2.0300 ДИСПЕРСИЯ= 0.0000

Оценка однородности дисперсий по критерию Кохрена

МАХ.ДИСПЕРСИЯ= 0.0061 КРИТЕРИЙ КОХРЕНА РАСЧЕТНЫЙ= 0.8963

СТЕПЕНИ СВОБОДЫ: 1, 8 КРИТЕРИЙ КОХРЕНА ТАБЛИЧНЫЙ= 0.6798

РАЗНОСТЬ= 0.2165 ДИСПЕРСИИ НЕОДНОРОДНЫ

Оценка значимости коэффициентов по критерию Стьюдента

1.2806-ЗНАЧИМ

-0.0031-НЕ ЗНАЧИМ

0.0006-НЕ ЗНАЧИМ

-0.7594-ЗНАЧИМ

0.0069-НЕ ЗНАЧИМ

КОЭФФИЦИЕНТЫ РЕГРЕССИИ:

1.2806 0.0000 0.0000 -0.7594 0.0000

ДЛЯ ПРОДОЛЖЕНИЯ РАБОТЫ НАЖМИТЕ "ВВОД"

Оценка адекватности модели по критерию Фишера

МАТ ОЖИДАН НЕВЯЗКА

0.52125 : 0.00000

2.04000 : 0.00090

0.52125 : 0.00001

Содержание

Введение	4
1 Лабораторная работа №2 «Планирование экспериментов»	5
1.1 Теоретический раздел	5
1.1.1 ПОЛНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ 2^k	6
1.1.2 ДРОБНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ (ДФЭ) 2^{k-p}	7
Построение матрицы плана	8
Приемы построения матрицы плана (ДФЭ 2^{k-p})	8
1.2 ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА	11
1.2.1 Порядок проведения опытов	11
1.2.2 Повторяемость опытов	12
1.2.3 Определение интервала варьирования уровней факторов и центра плана	12
1.2.4 Кодирование уровней факторов	12
1.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА	13
1.3.1 Определение математических ожиданий показателей модели	13
1.3.2 Определение критерия Кохрена	14
1.3.3 Определение критерия Стьюдента	14
Расчет коэффициентов модели в безразмерной форме	14
1.3.4 Проверка значимости коэффициентов модели	15
1.3.5 Определение критерия Фишера	15
1.3.6 Идентификация размерной модели	16
1.3.7 Алгоритм принятия решения по выбору «хорошей» модели	17
1.3.8 Алгоритм принятия решения по исправлению «плохой» модели	17
Время выполнения работы - 4 часа	18
1.4 Принадлежности. Программное обеспечение	18
1.5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	18
1.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	19
1.7 Пример выполнения отчета по лабораторной работе №2	19
1.7.1 Раздел 1 Формулировка исходных данных	19
1.7.2 Раздел 2 Проведение эксперимента	20
1.7.3 Раздел 3 Построение математической модели	21
1.7.4 Раздел 4 Выбор модели и корректировка	23
Перечень вопросов для самоконтроля	23
2 Лабораторная работа № 3 «Имитационное моделирование»	24
2.1 Введение. Понятие имитационной модели	24
2.2. Теоретическая часть	24
2.2.2 Порядок разработки имитационных математических моделей.	25
2.3 Описание объекта моделирования. Путь: D:\OMM\IMIT.txt	25
2.3.1 Обработываемый материал	25
2.3.2 Инструмент	26
2.3.3 Физическая сущность процесса съема материала	26



Время выполнения работы - 2 часа	27
2.4 Принадлежности.	27
2.4.1 Описание программного обеспечения ИМТ.....	28
2.5 Порядок выполнения работы	29
2.5.1. Определить исходные условия изучаемого технологического процесса.....	29
2.5.2. Построить матрицу планирования экспериментов	30
2.5.3. Провести эксперименты.....	30
2.5.4. Построить математические модели	30
2.5.5. Исправить «плохие» модели.....	30
2.6 Содержание отчета.....	31
2.7. Пример оформления отчета по лабораторной работе №3.....	31
2.7.1 Раздел 1 Формулировка исходных данных	31
2.7.2 Раздел 2 Проведение эксперимента	33
2.7.3 Раздел 3 Построение математической модели	34
Перечень вопросов для самоконтроля.....	36
Библиографический список.....	36

Введение

В настоящем сборнике лабораторных работ представлены две лабораторные работы, в которых используется методическое и программное обеспечение планирования экспериментов. Первая лабораторная работа выполняется по теме «Планирование эксперимента» и является базовой для выполнения второй лабораторной работы по теме «Имитационное моделирование».

Методика планирования применяется при многофакторном эксперименте, т.е. при числе факторов больше двух для организации плана экспериментальных исследований и построения математической модели (зависимости выходного показателя от входных параметров) по полученным в результате эксперимента данным. Методика планирования эксперимента и программное обеспечение для выполнения задач планирования на ПЭВМ включает в себя комплекс программ для составления планов экспериментов в вариантах полного (ПФЭ) и дробного (ДФЭ) факторных экспериментов. Методика планирования эксперимента используется в различных задачах, связанных с исследованием сложных производственных, технологических и других процессов, и позволяет получить достоверные (адекватные) математические модели изучаемых явлений при существенном сокращении затрат на эксперимент.

МАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПФЭ 2^{4-1}

N	X0	X1	X2	X3	X4	Al	Yi
1	1	1	1	1	1	6,889	:
2	1	1	1	-1	-1	6,889	:
3	1	1	-1	1	-1	8,006	:
4	1	1	-1	-1	1	8,006	:
5	1	-1	1	1	-1	16,012	:
6	1	-1	1	-1	1	16,012	:
7	1	-1	-1	1	1	18,012	:
8	1	-1	-1	-1	-1	18,012	:

2.7.2 Раздел 2 Проведение эксперимента

Выполняем 16 опытов (с учетом повторных - $M = 2$) в соответствии с матрицей плана, используя рандомизацию.

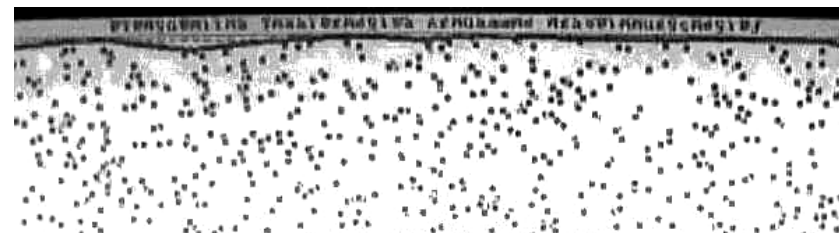


Рис1 Опыт1 $Ra=0.531$, $N=400$, $L=2$, $Al=6.889$

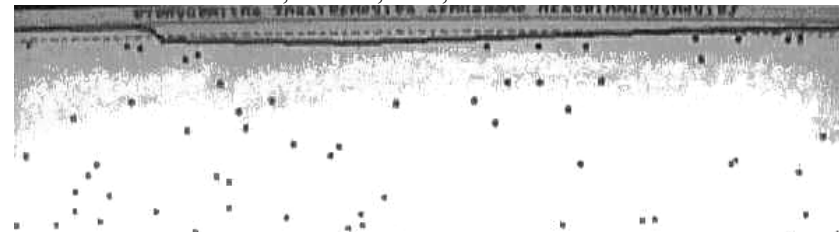


Рис2 Опыт 4 $Ra=2.06$ $N=100$, $L=2$, $Al=8.006$

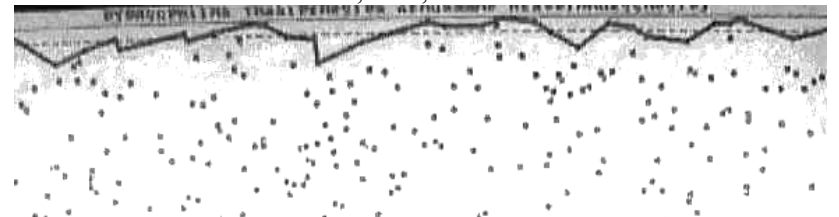


Рис3. Опыт 8 $Ra=2.03$ $N=100$, $L=1$, $Al= 18.012$



- в качестве показателя имитационной модели исследуемого технологического процесса следует выбрать Ra - параметр шероховатости поверхности.

- в качестве факторов имитационной модели следует выбрать параметры технологического процесса формирования поверхности при обработке хрупкого материала :

d – зернистость круга

t – глубину резания при шлифовании

N – количество пор

L – базовая длина

A_1 – коэффициент, имитирующий параметры d – зернистость круга и t – глубину резания при шлифовании.

Составим таблицу 2.2 исходных данных для моделирования процесса формирования качества поверхности при шлифовании хрупкого материала.

Общий вид модели $Ra = f(d, t, N, L)$

Таблица 2.2 Исходные данные

фактор	параметр	диапазон	уровни	
			мин	макс
X1	d	15 ÷ 60	15	60
X2	t	0,05 ÷ 0,45	0,1	0,4
X3	N	50 ÷ 500	100	400
X4	L	0,5 ÷ 2,5	1	2
Y	Ra			

Таким образом в модели участвуют четыре фактора и модель зависимости параметра шероховатости поверхности при шлифовании хрупкого материала

$Ra = f(d, t, N, L)$ имеет следующий вид (в случае линейной модели)

$$Ra = A_0 + A_1 d + A_2 t + A_3 N + A_4 L \quad (2)$$

При имитационном моделировании коэффициент штрафа A_1 заменяет параметры d – зернистость круга и t – глубину резания при шлифовании.

ЗАВИСИМОСТЬ: Линейная $Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots$

ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ФАКТОРОВ: 4 Вид эксперимента: ДФЭ

Выписать сгенерированную матрицу плана (для реплики $X_4 = X_1 X_2 X_3$)

И указать величины A_1 (выбрать из таблицы 2.1 в соответствии с сочетанием уровней факторов t и d)

1 Лабораторная работа №2 «Планирование экспериментов»

Цель: оказание помощи студентам в выполнении лабораторных работ по тематике математического моделирования сложных производственных процессов, ознакомление студентов с практикой применения метода планирования экспериментов при исследовании сложных многофакторных технологических процессов и явлений

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

После изучения материалов лабораторной работы по данным методическим указаниям студент приступает к выполнению работы на ПЭВМ.

Путь D:\OMM\PLAN.exe

1.1 Теоретический раздел

Настоящая методика устанавливает правила и алгоритм построения линейной и степенной математической модели технологических процессов и проверки ее адекватности, а также описывает правила работы с программным обеспечением для автоматизации расчетов при обработке результатов по алгоритмам полного и дробного факторного эксперимента.

В качестве модели могут быть использованы зависимости:

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_N X_N \quad (1)$$

или

$$Y = C \cdot X_1^{c_1} X_2^{c_2} \dots X_N^{c_N} \quad (2)$$

где Y - выходной показатель; $X_1 \dots X_N$ - входные параметры (факторы); $A_0 \dots A_N, C_0 \dots C_N$ - искомые коэффициенты.

В данной методике используется алгоритм двухуровневого планирования: все факторы (входные параметры) принимают в процессе эксперимента только два значения - максимальное (верхний уровень) и минимальное (нижний уровень). План эксперимента представляет собой построенную по определенным правилам комбинацию значений факторов. Промежуточные значения факторов в процессе эксперимента и для построения модели не используются. Иногда для проверки модели проводят



эксперимент при средних значениях факторов и сравнивают полученные значения с расчетными.

1.1.1 ПОЛНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ 2^k

Полный факторный эксперимент целесообразно проводить в том случае, если он непродолжителен по времени и не требует значительных затрат.

Пусть имеется система с k факторами. для каждого из них устанавливается 2 уровня: верхний и нижний. Факторы в процессе эксперимента могут принимать только значения верхнего и нижнего уровней. Поскольку факторы неоднородны и имеют различные единицы измерения, их следует привести к безразмерной форме. Для этого производят переход от натуральных значений факторов $\bar{X}_i$ к кодированным x_i :

$$\bar{X}_{0i} = \frac{\bar{X}_i^B + \bar{X}_i^H}{2}; d\bar{X}_i = \frac{X_i^B - X_i^H}{2}; x_i = \frac{\bar{X}_i^B + \bar{X}_{0i}}{d\bar{X}_i}$$

где $\bar{X}_{0i}$, $\bar{X}_i^B$, $\bar{X}_i^H$ - соответственно: основной, верхний и нижний уровни факторов; $d\bar{X}_i$ - интервал варьирования уровней факторов;

x_i - кодированное значение уровня фактора.

Величина кодированного значения фактора для верхнего уровня принимает значение +1, для нижнего -1, для основного 0. При построении матрицы единицу опускают, а записывают только знаки "+" и "-".

При варьировании факторов на 2 уровнях для k факторов возможно получить $N = 2^k$ вариантов сочетаний их значений. В соответствии с этим матрица планирования имеет N строк и $(k+1)$ столбец. Ниже приведены матрицы ПФЭ 2^2 (таблица 1.1) и ПФЭ 2^3 (таблица 1.2)

определяет минимальное число опытов, необходимых для построения имитационной модели, и строит матрицу плана.

Провести эксперименты

При проведении экспериментов следует предусмотреть повторные серии опытов для получения данных, необходимых для расчета статистических показателей модели и оценки качества построенной модели.

Построить математические модели и определить их статистические характеристики.

Выбрать наилучшую модель и обосновать сделанный выбор (см. раздел 1.3.7).

Исправить плохие модели, используя соответствующий алгоритм. (см. раздел 1.3.8).

2.6 Содержание отчета

Отчет должен содержать краткое изложение теории метода планирования эксперимента, формулировку условий проведения эксперимента, результаты опытов, результаты построения моделей с комплектом статистических оценок, обоснование выбора наилучшей модели, примеры исправления плохих моделей по соответствующим алгоритмам

Вывод: в данной лабораторной работе мы изучили метод планирования экспериментов, научились составлять технические условия по заданной задаче и определять математическую модель с системой статистических оценок по критериям Фишера, Кохрена и Стьюдента..

Получили навыки работы с программой «План.ехе» на ПЭВМ, что позволяет решать задачу моделирования сложных технологических многофакторных процессов быстро и точно.

2.7. Пример оформления отчета по лабораторной работе №3

2.7.1 Раздел 1 Формулировка исходных данных

Определить параметры и показатели изучаемого технологического процесса
На основании материала, изложенного в теоретическом разделе методических указаний определяем:



коэффициентов модели и статистических показателей (критериев Кохрена, Стьюдента и Фишера).

2.5.2. Построить матрицу планирования экспериментов

Перейти к программе лабораторной работы PLAN.EXE (раздел «Построение модели»)

Заменить уровни факторов t - глубина резания и d - размер зерен абразивного круга коэффициентом штрафа AL в соответствии с таблицей 1 настоящих методических указаний.

2.5.3. Провести эксперименты

Перейти к программе IMIT (пакетный файл MS - DOS) и провести эксперименты по определению значений показателя шероховатости поверхности Ra и графических изображений траектории трещины в соответствии с матрицей плана эксперимента. Использовать приемы рандомизации и дублирования опытов.

2.5.4. Построить математические модели

Построить линейную и степенную модели для условий ПФЭ и ДФЭ и определить их статистические характеристики по программе PLAN.EXE (раздел «Построение модели»)

Выбрать наилучшую модель и обосновать выбор, используя соответствующие алгоритмы (см. параграф 1.3.7)

2.5.5. Исправить «плохие» модели

Исправить «плохие» модели, используя соответствующие алгоритмы (см. параграф 1.3.8)

Рассмотрим более подробно разделы 2.5.1- 2.5.6

И С Х О Д Н Ы Е Д А Н Н Ы Е :

Введите количество пор в покрытии на единицу площади (50-500) $N = 100$

Базовая длина профилограммы, мм (0.5-2.5) $L = 2$

Коэффициент штрафа, ограничивающий глубину микротрещины (0-25)

$AL = 20$

Построить матрицу планирования экспериментов, используя методику планирования эксперимента (см. методические указания к лабораторной работе №2 «Планирование эксперимента».

Для сокращения числа опытов и уменьшения трудозатрат следует использовать методику дробного планирования. Студент самостоятельно

Таблица 1.1 Матрица ПФЭ 2²

N	Факторы		
	x0	x1	x2
1	+	-	+
2	+	-	-
3	+	+	+
4	+	+	-

Нулевой столбец матрицы (x_0) заполняют символами "+". Первый столбец (x_1) состоит наполовину из символов "+", наполовину из "-". При переходе к каждому последующему столбцу частота смены знаков удваивается. В последнем столбце знаки "+" и "-" чередуются.

Таблица 1.2 Матрица ПФЭ 2³

N	Факторы			
	x0	x1	x2	x3
1	+	+	+	+
2	+	+	+	-
3	+	+	-	+
4	+	+	-	-
5	+	-	+	+
6	+	-	+	-
7	+	-	-	+
8	+	-	-	-

Матрица планирования предписывает определенный порядок проведения эксперимента. В данном примере первый эксперимент необходимо выполнять при верхних значениях каждого из факторов. Во втором эксперименте факторы x_1 и x_2 принимают максимальные значения (верхний уровень), а x_3 - минимальное (нижний уровень) и т.д. Однако это не означает, что эксперименты обязательно проводить в том порядке, как это указано в таблице. Наоборот - более предпочтителен случайный порядок проведения эксперимента (рандомизация). Вопросы, связанные с проведением эксперимента и обработкой результатов, более подробно рассматриваются ниже.

1.1.2 ДРОБНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ (ДФЭ) 2^{k-p}

Дробный факторный эксперимент целесообразно применять при числе факторов от трех и более, если ПФЭ по экономическим или каким-либо другим соображениям производить невыгодно. ДФЭ характеризуется сокращением числа опытов.

Коэффициент p называют дробностью реплики. При $p=1$ число экспериментов сокращается в 2 раза, при $p=2$ - в 4 раза, при $p=3$ - в 8 раз и т.д. по степеням двойки. Переход к кодированным значениям факторов производится аналогично, как и в ПФЭ.

При построении матрицы планирования первоначально строят матрицу для ПФЭ 2^b, где $b = k-p$. Затем столбцы для остальных факторов дополняют



с помощью так называемых генерирующих соотношений. Например, для $k=3$ возможен только ДФЭ 2^{3-1} . При этом могут использоваться генерирующие соотношения $x_3 = x_1 x_2$ и $x_3 = -x_1 x_2$. Обратите внимание, что в результате перемножения факторов, равных $\sqrt{1}$ результат также равен $\sqrt{1}$! Матрицы планирования эксперимента для этих случаев имеют вид (см. таблица 1.3):

Таблица 1.3

Матрица ДФЭ 2^{3-1}

Матрица 1				
N	x0	x1	x2	x3=x1 x2
1	+	+	+	+
2	+	+	-	-
3	+	-	+	-
4	+	-	-	+

Матрица 2				
N	x0	x1	x2	x3= -x1 x2
1	+	+	+	-
2	+	+	-	+
3	+	-	+	+
4	+	-	-	-

Оба варианта полностью равнозначны и выбрать из них более эффективный невозможно. Поэтому в дальнейшем для определенности полагается, что в подобных ситуациях из двух равноценных генерирующих соотношений выбирается одно, имеющее знак "+": в данном случае $x_3 = x_1 x_2$.

Для четырех факторов в ДФЭ 2^{4-1} существуют следующие генерирующие соотношения: $x_4 = x_1 x_2 x_3$; $x_4 = x_1 x_2$; $x_4 = x_2 x_3$; $x_4 = x_1 x_3$ (соотношения со знаком минус не рассматриваются). Из приведенных соотношений первое предпочтительнее. В этом случае говорят, что оно обладает наивысшей разрешающей способностью.

Построение матрицы плана.

Приемы построения матрицы плана (ДФЭ 2^{k-p})

1 прием – записать исходный план для одного уровня фактора, а затем повторить этот план для другого уровня этого фактора.

2 прием – применить правило перемножения столбцов матрицы плана.

3 прием – применить правило чередования знаков.

Рассмотрим примеры построения матриц планов ДФЭ.

Задача 1.

Дана модель в виде линейного уравнения регрессии (3)

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_4 X_4 \quad (3)$$

Построить возможные матрицы планов ДФЭ.

Перейти к лабораторной работе IMIT.

Путь: D:\OMM\IMIT1.EXE раздел «Проведение экспериментов»

Вводим данные согласно матрице планирования:

Введите количество пор в покрытии на единицу площади N (50-500)

Базовая длина профилограммы, L, мм (0.5-2.5)

Коэффициент штрафа, ограничивающий глубину микротрещины A1 (0-25)

Перейти к лабораторной работе PLAN.

Путь: D:\OMM\PLAN.EXE (раздел «Построение модели»)

Строим математическую модель зависимости шероховатости поверхности пористого материала от параметров режима абразивной обработки и определяем статистические показатели построенной модели.

2.5 Порядок выполнения работы

Порядок выполнения лабораторной работы №3 соответствует порядку, изложенному в параграфе 1.6 лабораторной работы №2 «Планирование эксперимента» настоящих методических указаний. Следует учесть, что пункт «Выполнить эксперимент» выполняется по параграфу 2.5.3 лабораторной работы №3 «Имитационное моделирование».

ПРИМЕЧАНИЕ: В скобках указаны пункты меню программы, необходимые для выполнения соответствующего задания.

2.5.1. Определить исходные условия изучаемого технологического процесса

Сформулировать содержание комплекта параметров и показателей изучаемого явления, используя материал программного обеспечения IMIT (пакетный файл MS - DOS).

По заданию преподавателя определить численные значения уровней факторов, используя данные таблицы 1 (см. параграф 2.4.1)

Построить таблицу исходных условий для проведения эксперимента

Сформулировать вид математической модели зависимости показателя от параметров изучаемого явления.

Формулировка вида полиномиальной модели.

На начальном этапе моделирования и для уменьшения трудозатрат при проведении исследования следует ограничиться построением линейной модели, учитывающей только главные эффекты воздействия факторов на исследуемый показатель.

Общий вид модели может быть записан в виде следующего выражения:

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + \dots + A_n X_n \quad (1)$$

Учитывая большое количество факторов в данной работе следует использовать методику факторного эксперимента для определения



IMIT.

Путь: D:\OMM\IMIT.txt

IMIT1 (пакетный файл MS - DOS)

Путь: D:\OMM\IMIT1.EXE

PLAN**Путь: D:\OMM\PLAN.EXE** (раздел «Построение модели»)**2.4.1 Описание программного обеспечения IMIT.**

В программе IMIT дана информация о сущности процесса шлифования пористого покрытия и в виде таблицы (см. таблица 2.1) представлены значения коэффициента штрафа AL (Alpha), с помощью которого производится имитация сочетаний параметров t - глубина резания и d - размер зерен абразивного круга, дана информация о величинах AL.

ТАБЛИЦА 2.1 Зависимости коэффициента штрафа AL (Alpha)
от зернистости круга - d и глубины шлифования - t.
Зернистость 15.0 мкм.

t, mm	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Alpha	20.550	18.910	18.012	17.401	16.941	16.574	16.271	16.012	15.7
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	------

Зернистость 30.0 мкм.

t, mm	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Alpha	13.371	12.304	11.720	11.322	11.023	10.785	10.587	10.419	10.2
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	------

Зернистость 45.0 мкм.

t, mm	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Alpha	10.399	9.569	9.115	8.806	8.573	8.387	8.234	8.103	7.989
-------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Зернистость 60.0 мкм.

t, mm	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Alpha	8.700	8.006	7.626	7.367	7.172	7.017	6.889	6.779	6.684
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Перейти к лабораторной работе PLAN.**Путь: D:\OMM\PLAN.EXE** (раздел «Построение модели»)**Построить матрицу плана эксперимента.****Решение**

Ниже в таблицах 1.4 и 1.5 приведены матрицы планирования эксперимента для этого случая.

Таблица 1.4

Матрица плана ДФЭ 2⁴⁻¹

N	Факторы				
	x0	x1	x2	x3	x4=x1 x2 x3
1	+	+	+	+	+
2	+	+	+	-	-
3	+	+	-	+	-
4	+	+	-	-	+
5	+	-	+	+	-
6	+	-	+	-	+
7	+	-	-	+	+
8	+	-	-	-	-

Таблица 1.5

Матрица плана ДФЭ 2⁴⁻²

N	Факторы				
	x0	x1	x2	x3=x1 x2	x4= x1x2 x3
1	+	+	+	+	+
2	+	+	-	-	+
3	+	-	+	-	+
4	+	-	-	+	+

ДФЭ 2⁴⁻² реализовать невозможно: N=4, а количество коэффициентов в модели (3) равно 5.

Для нахождения 5 коэффициентов необходимо по крайней мере 5 экспериментов!

Задача 2.

Дана модель в виде линейного уравнения регрессии (4)

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_4 X_4 + A_5 X_5 \quad (4)$$

Построить возможные матрицы планов ДФЭ.

Решение

Ниже в таблицах 1.6 и 1.7 приведены матрицы планирования эксперимента для этого случая.

Генерирующие соотношения для ДФЭ 2⁵⁻¹ x5=x1 x2 x3 x4; x5=x1 x3 x4; x5=x2 x3 x4; x5=x1 x2; x5=x1 x3; x5=x1 x4; x5=x2 x3; x5=x2 x4; x5=x3 x4.

Наибольшей разрешающей способностью обладает первое соотношение, поэтому используем его для построения матрицы плана ДФЭ 2⁵⁻¹.



Таблица 1.6 Матрица плана экспериментов для ДФЭ 2^{5-1}

N	Факторы					
	x0	x1	x2	x3	x4	x5=x1 x2 x3 x4
1	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	-	-
3	+	+	+	-	+	-
4	+	+	+	-	-	+
5	+	+	-	+	+	-
6	+	+	-	+	-	+
7	+	+	-	-	+	+
8	+	+	-	-	-	-
9	+	-	+	+	+	-
10	+	-	+	+	-	+
11	+	-	+	-	+	+
12	+	-	+	-	-	-
13	+	-	-	+	+	+
14	+	-	-	+	-	-
15	+	-	-	-	+	-
16	+	-	-	-	-	+

Для нахождения 6 коэффициентов необходимо 6 экспериментов, следовательно, матрица имеет 10 избыточных экспериментов, которые могут быть источниками случайных ошибок при проведении опытов!

Для ДФЭ 2^{5-2} существует 8 генерирующих соотношений:

$$\begin{aligned} x_4 &= x_1 x_2, & x_4 &= x_1 x_2 x_3, & x_5 &= x_1 x_2; & x_5 &= x_1 x_2 x_3; \\ x_4 &= x_2 x_3, & & & x_5 &= x_1 x_3; \\ x_4 &= x_1 x_3, & & & x_5 &= x_2 x_3; \end{aligned}$$

Матрица планирования для соотношения $x_4 = x_1 x_2$, $x_5 = x_1 x_2 x_3$ имеет вид:

Таблица 1.7 Матрица плана экспериментов для ДФЭ 2^{5-2}

N	Факторы					
	x0	x1	x2	x3	x4=x1 x2	x5=x1 x2 x3
1	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	-
3	+	+	-	-	-	-
4	+	+	-	-	-	+
5	+	-	+	+	-	-
6	+	-	+	+	-	+
7	+	-	-	-	+	+
8	+	-	-	-	+	-

физическая модель механизма съема обрабатываемого материала при шлифовании напыленного керамического покрытия.

Для построения данного механизма формообразования поверхности покрытие представили в виде плоской пластины с порами. Схема образования рельефа поверхности в пористом покрытии при шлифовании показана на рисунке 1.

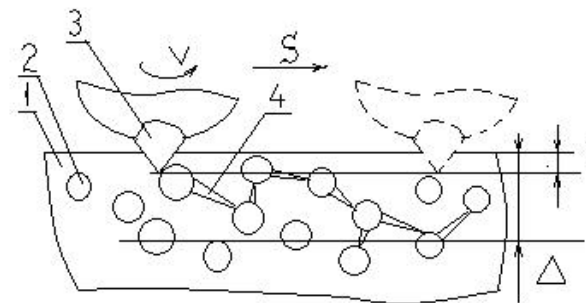


Рисунок 1 Схема образования рельефа поверхности в пористом покрытии

В первоначальный момент взаимодействия элементарного зерна 3 шлифовального круга с напыленным покрытием 1 из исходного дефекта-поры 2 начинает развиваться микротрещина 4. При дальнейшем перемещении зерна во внедренном состоянии трещина продолжает расти в направлении другого дефекта строения покрытия. Каждая пора напыленного керамического материала является концентратором напряжений, поэтому линия развития микротрещины проходит от поры к поре, а не в пространстве между ними. Съём материала толщиной Δ , т.е. его отделение от основы покрытия происходит в процессе образования линий разрушения. Данный механизм формообразования приводит к возможности расположения профиля образующейся новой поверхности ниже траектории перемещения зерна абразивного круга на глубине резания t .

Параметры шероховатости обработанной поверхности напыленного керамического покрытия функционально зависят от структуры покрытия, формы пор и их плотности в объеме материала, режимов шлифования и характеристики абразивного круга.

Время выполнения работы - 2 часа

2.4 Принадлежности.

Для выполнения работы необходимо использовать программное обеспечение, включающее программы IMIT и PLAN.



Этап окончательной механической обработки напыленного покрытия необходим, так как поверхность покрытия имеет значительные отклонения формы и развитый микрорельеф. Так, например, при использовании керамики для повышения долговечности рабочих поверхностей коленчатых валов шероховатость покрытий по параметру R_a не должна превышать 0.16 мкм при исходной шероховатости по параметру $R_z=100-200$ мкм.

В процессе обработки керамические покрытия являются труднообрабатываемыми материалами, так как имеют склонность к хрупкому разрушению.

Наиболее применяемыми в случае обработки хрупких керамических материалов являются методы абразивной обработки с использованием алмазно-абразивных шлифовальных кругов.

2.3.2 Инструмент.

Рабочая поверхность шлифовальных кругов представляет совокупность зерен, сцементированных связкой. В процессе шлифования обрабатываемая поверхность формируется большим количеством единичных зерен, каждое из которых при взаимодействии с материалом заготовки прорезает единичную микрориску. Шлифование различных конструкционных материалов имеет свои отличительные особенности. Так, при обработке керамических материалов в процессе съема преобладает процесс развития микротрещин и поверхностей хрупкого разрушения, в то время как при шлифовании стали наблюдается вытеснение металла путем пластической деформации и отрывом при сдвиге.

2.3.3 Физическая сущность процесса съема материала.

Съем материала при шлифовании керамики происходит следующим образом. При внедрении единичного зерна в обрабатываемый материал в области их контактирования возникает напряженное состояние, приводящее к развитию микротрещин из дефектов строения покрытия, находящихся в непосредственной близости от места внедрения зерна. Данная гипотеза базируется на теории А. Гриффитса, в соответствии с которой при возникновении критического напряжения в нагружаемом материале его разрушение происходит за счет лавинообразного развития трещины из исходного дефекта. Причем такой дефект всегда присутствует, так как абсолютно однородных бездефектных тел в реальной природе не существует.

Дальнейшее продвижение зерна шлифовального круга после его внедрения в напыленный слой сопровождается опережающим перемещением поля напряжений в том же направлении, вовлекающим новые дефекты строения покрытия в процесс трещинообразования. На рис.1 изображена

Для нахождения 6 коэффициентов достаточно 6 экспериментов! Данная матрица плана ДФЭ 2^{5-2} имеет 8 опытов, из которых 6 опытов используется для вычисления коэффициентов модели, а 2 опыта – для вычисления статистических показателей (критериев Кохрена, Стьюдента и Фишера), поэтому она вполне соответствует задаче построения модели (4) и минимизирует вероятность случайных ошибок при проведении опытов.

1.2 ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

1.2.1 Порядок проведения опытов

После построения матрицы планирования задают случайный порядок проведения экспериментов. Этот прием называется рандомизацией. Для этого можно использовать таблицы или так называемые датчики случайных чисел (см. таблицу 1.8): специальные формулы, дающие в результате расчетов ПОЧТИ СЛУЧАЙНЫЕ ЧИСЛА.

Таблица 1.8 Фрагмент таблицы случайных чисел

Случайные числа																			
87	63	88	23	62	51	07	69	59	02	89	49	14	98	53	41	92	36		
07	76	85	37	84	37	47	32	25	21	15	08	82	34	57	57	35	22		
03	33	48	84	37	37	29	38	37	89	76	25	09	69	44	61	88	23		
13	01	59	47	64	04	99	59	96	20	30	87	31	33	69	45	58	48		
00	83	48	94	44	08	67	79	41	61	41	15	60	11	88	83	24	82		
24	07	78	61	89	42	58	88	22	16	13	24	40	09	00	65	46	38		
61	12	90	62	41	11	59	85	18	42	61	29	88	76	04	21	80	78		
27	84	05	99	85	75	67	80	05	57	05	71	70	21	31	99	99	06		
96	53	99	25	13	63														

Как пользоваться таблицей случайных чисел.

Например, если требуется провести восемь опытов, то из случайного места таблицы последовательно выписывают числа, лежащие в интервале от 1 до 8, при этом отбрасывают уже выписанные и числа больше восьми.

Например, начиная с числа 87 (1-я строка таблицы), получаем следующую последовательность реализации опытов из матрицы плана:

Номер опыта в матрице 1 2 3 4 5 6 7 8

Порядок реализации опытов 7 2 8 3 1 4 5 6

Рандомизация позволяет устранить действие систематических погрешностей и перевести их в случайные. В крайнем случае, при отсутствии таблиц и датчиков случайных чисел рандомизацию можно не проводить, а



эксперименты выполнять в том порядке, как они записаны в матрице планирования.

1.2.2 Повторяемость опытов

После этого следует задать повторяемость опытов: каждый эксперимент необходимо проводить M раз при одних и тех же значениях факторов. Относительно числа M нет специальных рекомендаций. Чем больше разброс значений в результате эксперимента, тем больше должно быть M . Следует учесть, что с ростом числа повторных опытов увеличивается вероятность случайных ошибок. Часто рекомендуют выбирать M нечетным, однако это является скорее традицией, но никак не обосновано.

1.2.3 Определение интервала варьирования уровней факторов и центра плана

На следующем этапе задают верхние и нижние уровни значений факторов, тем самым определяя интервал варьирования уровней факторов (разность между верхним и нижним значением уровней) и центр плана (среднее значение для заданных уровней факторов).

При этом необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Чем больше интервал варьирования, тем шире область применения модели, но ниже ее точность в средних точках.
2. Все сочетания факторов должны быть реализуемы.
3. При малом интервале варьирования влияние изменения факторов может быть меньше, чем действие случайных факторов.

Таким образом, слишком большой интервал варьирования факторов равно как и слишком малый может привести к низкой точности модели. **ВЫБИРАЙТЕ ЗОЛОТУЮ СЕРЕДИНУ!**

Интервал варьирования должен быть больше ошибки определения уровня фактора. Для упрощения записи условий эксперимента в матрице плана и обработки результатов опытов производят кодирование факторов.

1.2.4 Кодирование уровней факторов

Масштабы уровней факторов при двухуровневом планировании выбирают так, чтобы верхний уровень соответствовал +1, нижний -1, а нулевой - 0.

Для факторов с непрерывной областью определения это можно сделать с

помощью преобразования вида $x_i = \frac{\bar{X}_i^B + \bar{X}_{0i}}{d\bar{X}_i}$ где x_i - кодированное

значение уровня фактора, $\bar{X}_i$ - натуральное значение уровня фактора.

Формальные модели точны только для заданных точек пространства, для которых определены поведения объекта моделирования.

2.2.2 Порядок разработки имитационных математических моделей.

Имитационные математические модели создаются с целью исследования поведения объекта в условиях, натуральное создание которых невозможно или трудоемко.

Разработка имитационных моделей выполняется за 4 этапа.

- 1 этап. Изучение физических свойств объекта моделирования. Постановка задачи моделирования.
- 2 этап. Формулирование теоретической основы алгоритма математических расчетов.
- 3 этап. Формализация выходных данных моделирования, обеспечивающая наибольшую наглядность.
- 4 этап. Построение алгоритма имитационного моделирования и проверка его работоспособности.

2.3 Описание объекта моделирования. Путь: D:\OMM\IMIT.txt

"Имитационное моделирование процесса формирования поверхности при обработке хрупкого материала"

2.3.1 Обрабатываемый материал.

Плазменное керамическое покрытие является своеобразным материалом, полученным в результате наложения друг на друга большого количества расплавленных частиц напыляемого порошка. В результате формируется чешуйчатый, пористый материал, обладающий своеобразными эксплуатационными свойствами. Так, например, плазменное покрытие на основе оксида алюминия имеет высокую износостойкость, не корродирует, легко переносит тепловые нагрузки и временное отсутствие смазки в паре трения. Эти свойства позволяют повысить долговечность рабочих поверхностей деталей по сравнению со сталью в 1.5-3.0 раза.

Технологический процесс получения деталей с напыленными покрытиями включает в себя три основных этапа, а именно, подготовку поверхности заготовки, нанесение покрытия и его окончательную механическую обработку с целью создания заданных размеров, формы и шероховатости рабочей поверхности детали.



2 Лабораторная работа № 3 «Имитационное моделирование»

Цель: оказание помощи студентам в выполнении лабораторной работы по тематике математического моделирования производственных процессов, ознакомление студентов с практикой применения метода имитационного моделирования при исследовании сложных многофакторных технологических процессов.

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

После изучения материалов лабораторной работы по данным методическим указаниям студент приступает к выполнению работы на ПЭВМ.

Путь D:\OMM\IMIT.txt (описание);

Путь D:\OMM\IMIT1.exe (эксперименты);

Путь D:\OMM\PLAN.exe (расчеты).

2.1 Введение. Понятие имитационной модели.

Имитационными называют математические модели, которые в качестве входных воздействий используют наборы чисел, а сам процесс расчета напоминает физический эксперимент.

При использовании имитационных моделей текущее функционирование технологической системы воспроизводится в некотором масштабе времени. Достоинствами имитационных моделей является наглядность результатов моделирования и возможность оптимизации системы.

Структурные модели отображают только структуру объекта без описания физических процессов в нем (матрицы, графы, списки векторов в пространстве и т.д.). Функциональные модели отображают как структуру, так и физические процессы, протекающие в объекте. Получили свое название от необходимости разбиения сложных моделей на функциональные блоки.

2.2. Теоретическая часть

2.2.1 Общие положения.

Теоретические (функциональные) модели получают на основе физических закономерностей, структура управлений и параметры моделей имеют определенное физическое толкование. Данные модели, как правило, справедливы для широких диапазонов изменения внешних параметров. Формальные (функциональные) модели получают на основе проявления свойств моделируемого объекта во внешней среде.

$\bar{X}_{0i} = \frac{X_i^B + X_i^H}{2}$ - натуральное значение основного уровня.

$dx_{0i} = \frac{\bar{X}_i^B - \bar{X}_i^H}{2}$ - интервал варьирования уровней факторов.

Итак, все готово к проведению эксперимента. При выполнении эксперимента регистрируют значения показателя Y. Результаты записывают с правой стороны матрицы планирования.

Например, для ПФЭ 2^2 при повторяемости M=3 результаты имеют вид: (см. таблица 1.9)

Таблица 1.9 Матрица планирования ПФЭ 2^2 и результаты опытов

N	x0	x1	x2	Y1	Y2	Y3
1	+	+	+	42.3	42.1	41.7
2	+	+	-	23.8	24.2	34.1
3	+	-	+	31.7	31.9	32.4
4	+	-	-	14.3	14.1	13.8

1.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1.3.1 Определение математических ожиданий показателей модели

Для каждой строки матрицы планирования рассчитывается среднее значение (математическое ожидание) и дисперсия параметра оптимизации:

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M Y_{ij}$$

$$S_i^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^M (\bar{Y}_i - Y_{ij})^2$$

где $\bar{Y}_i$, S_i^2 - соответственно, среднее значение и дисперсия параметра оптимизации для i-й строки матрицы планирования,

Y_{ij} - значение показателя модели для i-й строки j-го параллельного опыта.



1.3.2 Определение критерия Кохрена

Из всех дисперсий показателя модели выбирают максимальную:

$$S_{\max}^2 = \max \{S_i^2\}$$

Проверка однородности дисперсий:

- рассчитывают значение критерия Кохрена:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2};$$

- задаются уровнем значимости - вероятностью ошибочного решения. В технике обычно принимают, что уровень значимости $q = 5\%$, то есть все принимаемые решения (выводы) имеют вероятность 95%;

- для заданного уровня значимости и степеней свободы $\nu_1 = N - L$ и $\nu_2 = N(M - 1)$ находят табличное значение критерия Кохрена - G_T ; в программе оно определяется расчетным путем по приближенным зависимостям;

- если $G < G_T$, то полагают, что дисперсии однородны; в противном случае рекомендуется увеличить число параллельных опытов (решение об однородности дисперсий имеет уровень значимости $q = 5\%$).

Определение дисперсии параметра оптимизации (средней дисперсии):

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2$$

1.3.3 Определение критерия Стьюдента

Расчет коэффициентов модели в безразмерной форме:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_k x_k$$

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{Y}_j \quad b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} \bar{Y}_j$$

В связи с тем, что x_{ij} в процессе эксперимента равен ± 1 , расчеты по

Коэффициенты размерной модели

1034.4375 32.1875 212.3125 0.0000

Таким образом получаем четыре модели:

- линейную и степенную для ПФЭ 2^3
- линейную и степенную для ДФЭ 2^{3-1}

1.7.4 Раздел 4 Выбор модели и корректировка

Завершающий этап моделирования по программе «Планирование эксперимента»

Выбрать лучшую модель по критериям Фишера, Кохрена и Стьюдента (см. параграф 1.3.7 настоящих методических указаний).

Выписать полный вид модели

$$P_y = 1034.4375 + 32.1875t + 212.3125S + 0.0V \quad (5)$$

Остальные модели исправить, используя алгоритмы, изложенные в конспекте лекций, параграф «Планирование эксперимента» (см. параграф 1.3.8 настоящих методических указаний)

Вывод.

Получили навыки работы с программой «План.exe» на ПЭВМ, что позволяет решать задачу моделирования сложных технологических многофакторных процессов быстро и точно. В данной лабораторной работе мы изучили метод планирования экспериментов, научились составлять технические условия по заданной задаче и определять математическую модель с системой статистических оценок по критериям Фишера, Кохрена и Стьюдента.

Перечень вопросов для самоконтроля

1. Определите понятия «модель», «план эксперимента», «фактор», «уровень», «интервал», «центр плана», «кодированный уровень»
2. Назовите критерии оценки полученной модели и сформулируйте их назначение.
3. Расскажите порядок действий при проведении методики планирования эксперимента.
4. Укажите источники, используемые для расчета критериев Кохрена и Фишера.
5. Опишите порядок действий при кодировании уровней факторов.
6. Укажите принципы выбора «хорошей модели».
7. Укажите порядок действий в решении задачи исправления «плохой модели»



Оценка однородности дисперсий по критерию Кохрена

МАХ.ДИСПЕРСИЯ=6160.5000 КРИТЕРИЙ КОХРЕНА РАСЧЕТНЫЙ= 0.3813

СТЕПЕНИ СВОБОДЫ: 1, 8 КРИТЕРИЙ КОХРЕНА ТАБЛИЧНЫЙ= 0.6798

РАЗНОСТЬ= -0.2985 ДИСПЕРСИИ ОДНОРОДНЫ

Оценка значимости коэффициентов по критерию Стьюдента

834.4375-ЗНАЧИМ

96.1875-ЗНАЧИМ

95.3125-ЗНАЧИМ

-13.3125-НЕ ЗНАЧИМ

КОЭФФИЦИЕНТЫ РЕГРЕССИИ:

834.4375 96.1875 95.3125 0.0000

ДЛЯ ПРОДОЛЖЕНИЯ РАБОТЫ НАЖМИТЕ "ВВОД"

Оценка адекватности модели по критерию Фишера

МАТ ОЖИДАН НЕВЯЗКА

1025.93750 : 579.00391

1025.93750 : 672.75391

835.31250 : 3562.59766

835.31250 : 3342.28516

833.56250 : 19199.56641

833.56250 : 19722.69141

642.93750 : 2.44141

642.93750 : 11.81641

ОЦЕНКА ДИСПЕРСИИ АДЕКВАТНОСТИ: 18837.2625

КРИТЕРИЙ ФИШЕРА РАСЧЕТНЫЙ: 9.3268

КРИТЕРИЙ ФИШЕРА ТАБЛИЧНЫЙ: 3.6875

РАЗНОСТЬ: 5.6393

МОДЕЛЬ НЕ АДЕКВАТНА

Расчет коэффициентов размерной модели обратной кодировкой

ФАКТОР 1

НИЖНИЙ УРОВЕНЬ=1

ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ=4

ФАКТОР 2

НИЖНИЙ УРОВЕНЬ=0.1

ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ=0.5

ФАКТОР 3

НИЖНИЙ УРОВЕНЬ=50

ВЕРХНИЙ УРОВЕНЬ=200

последней формуле сводятся фактически к суммированию Y_j со знаками соответствующих столбцов матрицы. Например, для матрицы ПФЭ² (см. таблица 1.9).

формулы принимают вид:

$$b_0 = \frac{1}{4}(\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 + \bar{Y}_4)$$

$$b_1 = \frac{1}{4}(\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 - \bar{Y}_3 - \bar{Y}_4) \quad b_2 = \frac{1}{4}(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 - \bar{Y}_4)$$

1.3.4 Проверка значимости коэффициентов модели:

- рассчитывается дисперсия ошибки определения коэффициентов

$$S^2 = \frac{S^2}{(MN)}$$

- рассчитывается значение критерия Стьюдента по формуле

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S_b}$$

- для заданного уровня значимости q и степени свободы $\nu_2 = N(M-1)$ по таблицам находят табличное значение критерия Стьюдента t_{iT} ;

если $t_{ip} > t_{iT}$, то коэффициент b_i значим, в противном случае он полагается равным нулю, так как его влияние на параметр оптимизации меньше влияния случайных факторов.

Незначимость коэффициентов может быть вызвана следующими причинами:

- действительным отсутствием связи между данным фактором и показателем модели;
- большими ошибками эксперимента вследствие влияния неучтенных факторов процесса;
- малой величиной интервала варьирования фактора.

1.3.5 Определение критерия Фишера

Проверка адекватности модели:

- рассчитывают $Y_{\text{расч}}$ по полученной модели для каждой строки плана



эксперимента;

- определяют дисперсию адекватности модели:

$$S_{AD}^2 = \frac{M}{N-L} \sum_{i=1}^N (\bar{Y}_{ij} - Y_{ij})^2;$$

где L - количество значимых коэффициентов, включая b_0 ; $\bar{Y}_{ij}$ - математическое ожидание показателя модели Y по строкам матрицы плана.

- рассчитывают значение критерия Фишера:

$$F_p = \frac{S_{AD}^2}{S^2};$$

- определяют для заданного уровня значимости q и степеней свободы

$\nu_1 = N - L$ и $\nu_2 = N(M - 1)$ по таблицам значение критерия Фишера F_T ;

если $F_p < F_T$, то модель адекватна реальному процессу. В противном случае необходим тщательный анализ процесса для устранения или снижения действия случайных ошибок и уменьшения количества незначимых факторов.

1.3.6 Идентификация размерной модели

Расчет коэффициентов размерной модели. Он осуществляется по формулам:

$$a_0 = b_0 - \sum \frac{b_i x_{i0}}{dx_i},$$

$$a_i = \frac{b_i}{dx_i}; (i = 1 \dots k).$$

На этом идентификация модели считается законченной.

Если в процессе обработки экспериментов были получены ошибки (неоднородность дисперсий, незначимость всех коэффициентов или неадекватность модели), то необходимо прекратить дальнейшую обработку и принять меры по устранению ошибок. После этого - вновь повторить весь описанный процесс. Из учебных соображений в предлагаемом программном обеспечении прерывание обработки не производится, а только выдается сообщение об обнаруженной ошибке.

$P_y = 1108.27$ н

Еще?

Задайте глубину резания (мм) $t=1$

Задайте подачу (мм/об) $S=0.5$

Задайте скорость резания (м/мин) $V=200$

$P_y = 589.27$ н

Еще?

Задайте глубину резания (мм) $t=1$

Задайте подачу (мм/об) $S=0.1$

Задайте скорость резания (м/мин) $V=50$

$P_y = 358.27$ н

Еще?

Проводим повторную серию опытов ($M=2$).

Выполняем 16 опытов (с учетом повторных) в соответствии с матрицей плана, используя случайный порядок (рандомизацию).

1.7.3 Раздел 3 Построение математической модели

Вводим массив результатов опытов в соответствующие строки матрицы плана и выполняем процедуру построения модели и определения статистических показателей.

ВВЕДИТЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА (см. таблица 1.12)

ПОВТОРЯЕМОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТА - $M=2$

Таблица 1.12 Матрица плана с результатами опытов

N	X1	X2	X3	Yi
1	1	1	1	:1000 1100
2	1	1	-1	:990 1010
3	1	-1	1	:890 900
4	1	-1	-1	:789 766
5	-1	1	1	:690 700
6	-1	1	-1	:998 950
7	-1	-1	1	:589 700
8	-1	-1	-1	:599 680

Результаты расчета математических ожиданий и дисперсий по опытам

I= 1 СРЕДНЕЕ=1050.0000 ДИСПЕРСИЯ=5000.0000

I= 2 СРЕДНЕЕ=1000.0000 ДИСПЕРСИЯ= 200.0000

I= 3 СРЕДНЕЕ= 895.0000 ДИСПЕРСИЯ= 50.0000

I= 4 СРЕДНЕЕ= 777.5000 ДИСПЕРСИЯ= 264.5000

I= 5 СРЕДНЕЕ= 695.0000 ДИСПЕРСИЯ= 50.0000

I= 6 СРЕДНЕЕ= 974.0000 ДИСПЕРСИЯ=1152.0000

I= 7 СРЕДНЕЕ= 644.5000 ДИСПЕРСИЯ=6160.5000

I= 8 СРЕДНЕЕ= 639.5000 ДИСПЕРСИЯ=3280.5000



**Построение модели
ЗАВИСИМОСТЬ:
Линейная**

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots$$

ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ФАКТОРОВ: 3

Вид эксперимента:

ПФЭ

Выписать сгенерированную матрицу плана, приведенную ниже (см. таблица 1.11).

Таблица 1.11 МАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПФЭ 2³

N X1 X2 X3 Yi

1 1 1 1 :
2 1 1 -1 :
3 1 -1 1 :
4 1 -1 -1 :
5 -1 1 1 :
6 -1 1 -1 :
7 -1 -1 1 :
8 -1 -1 -1 :

1.7.2 Раздел 2 Проведение эксперимента

В соответствии с матрицей плана проводим предварительные опыты для определения выполнимости предельных комбинаций уровней факторов, указанных в таблице исходных данных (см. таблицу 1.11).

Например.

Определяем значение силы резания при максимальных значениях факторов, т.е. для строки №1 матрицы плана

Определяем значение силы резания при минимальных значениях факторов, т.е. для строки №8 матрицы плана

Определяем значение силы резания при максимальных значениях факторов S и V и минимальных значениях фактора t, т.е. для строки №5 матрицы плана.

Если установлена невыполнимость некоторых комбинаций уровней факторов, то производим корректировку исходных условий.

Выполняем всю программу экспериментов в соответствии с матрицей плана (см. таблица 1.11), используя рандомизацию, т.е. случайный порядок проведения опытов.

Например.

Задайте глубину резания (мм) $t=4$

Задайте подачу (мм/об) $S=0.1$

Задайте скорость резания (м/мин) $V=50$

1.3.7 Алгоритм принятия решения по выбору «хорошей» модели

Хорошую модель выбирают по совокупности критериев Фишера, Кохрена, Стьюдента.

При этом наиболее важным является критерий полноты модели, который формально можно оценить по факту значимости коэффициентов модели или по оценке критерия Стьюдента.

Следующим по значимости является критерий адекватности модели или критерий Фишера.

Немаловажной является также оценка модели по однородности дисперсий в выполненных опытах или оценка по критерию Кохрена.

Соответственно в указанной последовательности следует проводить анализ качества полученной модели.

1.3.8 Алгоритм принятия решения по исправлению «плохой» модели.

По полученному промежуточному результату построения модели после проверки по критерию Фишера применяем алгоритмы исправления моделей по направлениям:

При $F_p < F_T$ – модель адекватна.

Следует проверить значимость коэффициентов модели.

A1 Если коэффициенты значимы, то следует оптимизировать полученный результат методом крутого восхождения или другим способом.

A2 Если коэффициенты незначимы, имеются три гипотезы о причинах этого:

Гипотеза 1 – неверно выбраны интервалы варьирования факторов – изменить интервалы и провести новую серию опытов.

Гипотеза 2 – в модель включены лишние факторы или их комбинации – исключить эти факторы и поставить новую серию опытов.

Гипотеза 3 – большие ошибки опытов – увеличить число дублирующих опытов, повысить точность измерений результатов.

При $F_p > F_T$ – модель неадекватна.

Следует рассмотреть три варианта:

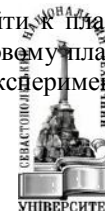
Вариант 1 – изучить структуру ошибок.

Изучить структуру ошибок (невязок) и при обнаружении периодического изменения знаков ошибок: а) произвести замену аргумента и построить новую линейную модель, б) построить периодическую модель.

Если обнаружено периодическое изменение знаков ошибок – построить периодическую модель или произвести замену аргумента для построения линейной модели.

Вариант 2 – уменьшить интервалы варьирования факторов – поставить новую серию опытов. Уменьшить интервалы варьирования факторов и поставить новый эксперимент по линейной модели.

Вариант 3 – перейти к планам более высокого порядка – поставить новый эксперимент по новому плану. Перейти к планам более высокого порядка и поставить новый эксперимент по нелинейной модели.



Время выполнения работы - 4 часа

1.4 Принадлежности. Программное обеспечение

Программа обработки данных при планировании эксперимента обладает следующими возможностями:

1. Получение линейной и степенной модели.
2. Возможность построения матрицы планирования и обработки результатов для ПФЭ и ДФЭ (дробность реплики 1...3).
3. Вывод результатов на экран или принтер.

Программа работает в режиме диалога в соответствии с описанным ранее алгоритмом.

1.5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1.5.1. Сформулировать условия проведения экспериментов. Заполнить таблицу исходных данных.
- 1.5.2. Сгенерировать матрицы планов ПФЭ и ДФЭ ("ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ").
- 1.5.3. Провести поисковый эксперимент для уточнения интервалов варьирования факторов и проверки выполнимости комбинаций уровней ("ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ").
- 1.5.4. Выбрать вид эксперимента: ПФЭ или ДФЭ.
- 1.5.5. Получить матрицу планирования ("ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ").
- 1.5.6. Выполнить эксперимент, задавшись повторяемостью опытов и используя рандомизацию ("ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ").
- 1.5.7. Обработать эксперимент и получить модели ("ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ").
- 1.5.8. Выбрать наилучшую модель и обосновать сделанный выбор (см. раздел 1.3.7 настоящих методических указаний).
- 1.5.9. Исправить плохие модели по соответствующим алгоритмам (см. конспект лекций или раздел 1.3.8. настоящих методических указаний)
- 1.5.10. Оформить отчет по лабораторной работе

ПРИМЕЧАНИЕ: В скобках указаны пункты меню программы, необходимые для выполнения соответствующего задания.

1.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать краткое изложение теории метода планирования эксперимента, формулировку условий проведения эксперимента, результаты опытов, результаты построения моделей с комплектом статистических оценок, обоснование выбора наилучшей модели, примеры исправления плохих моделей по соответствующим алгоритмам

1.7 Пример выполнения отчета по лабораторной работе №2

Общие замечания

Цель проведения эксперимента: построение математической модели зависимости силы резания от параметров режима резания: глубины резания - t , подачи - S и скорости резания - V . Математическая модель в общем виде может быть представлена выражением $P_y = f(t, S, V)$

Таким образом имеется система с тремя факторами, для каждого из которых устанавливается 2 уровня: верхний и нижний. Поскольку факторы неоднородны и имеют различные единицы измерения, их следует привести к безразмерной форме. Для этого производят переход от действительных значений факторов X_i к кодированным x_i :

Величина кодированного значения фактора для верхнего уровня принимает значение +1, для нижнего -1. При построении матрицы единицу опускают, а записывают только знаки "+" и "-".

1.7.1 Раздел 1 Формулировка исходных данных

Определение уровней факторов t , S , V , студент выполняет, исходя из собственных представлений о количественном уровне параметров режима резания при исследовании силы резания. Как правило, задача определения силы резания возникает при проведении чернового этапа обработки. Следовательно, параметры режима резания должны соответствовать черновому этапу обработки заготовки. Составляем таблицу исходных условий (см. таблица 1.10).

Таблица 1.10 Исходные условия

Параметр Показатель	Усл. обознач. Размерность	Фактор Критерий	Уровни	
			макс	мин
Глубина рез.	t , мм	X_1	4	1
подача	S , мм/об	X_2	0,5	0,1
Скорость рез.	V , м/мин	X_3	200	50
Сила рез	P_y , Н	Y	-	-

