МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БРЕСТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра машиноведения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам
по дисциплине «Основы научных исследований» для студентов
специальности Т.03.01 «Технология, оборудование и автоматизация
машиностроения»

БРЕСТ 1999

УДК 621.002

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Основы научных исследований» для студентов специальности Т.03.01 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроения» содержат руководство для выполнения лабораторных работ с использованием электронных таблиц Суперкалк.

Составили: С.В. Монтик, доцент, к.т.н.
О.В. Мартиновская, ассистент

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В методических указаниях представлены семь лабораторных работ, в которых рассматривается методика обработки экспериментальных данных, примеры использования дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов, планирования эксперимента применительно к задачам машиностроения. Для выполнения работ необходимо использовать ПЭВМ и пакет программ Суперкалк 5.

Каждая лабораторная работа выполнена в виде электронной таблицы, что освобождает от рутинных вычислений и позволяет просматривать результаты расчетов в виде графиков и таблиц.

После запуска пакета Суперкалк необходимо загрузить требуемую лабораторную работу (файлы ONI1.CAL, ONI2.CAL, ... , ONI7.CAL). Загрузка электронной таблицы осуществляется по команде: /LOAD, затем на запрос «Enter File Name»: ввести имя файла с указанием диска и каталога, например «F:\ONI\ONI1.CAL» и после появления списка опций выбрать опцию «All». Электронная таблица будет загружена. Необходимо ввести вариант, требуемые исходные данные, критические значения критериев, которые выбираются из таблиц приложения. Информация, которую необходимо вводить, выделяется другим цветом (в методичке – курсивом). Для выполнения расчета нажмите клавишу F9,просмотра диаграмм – F10. Для очистки электронной таблицы нужно дать команду: /ZAP. Вся информация будет стерта. Вывод результатов расчета на принтер (или в текстовой файл) осуществляется командой: /Output, Printer (File), All , Go. Завершение работы с Суперкалком по команде:/Quit, Yes.

В конце методических указаний даны варианты индивидуальных заданий.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Тема: Обработка результатов измерений. Определение грубых погрешностей и нахождение необходимого количества параллельных измерений.

Исходные данные

Вариант № *5*

ЗАДАНИЕ

Измерено 10 деталей, обработанных на токарном автомате

$D_{ном}$= *20* мм

Результаты измерений

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
$D_{изм.}$, мм	*20.47*	*20.8*	*20.88*	*20.41*	*20.96*	*19.2*	*19.17*	*19.62*	*19.74*	*19.04*

Требуется определить:

1. Среднее значение измеренного диаметра $D_{измер}$ ($X_{ср}$).

$$X_{cp} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} X_i \text{ ,где}$$

m-число измерений.

$X_{сред}$=20.029 мм

2. Дисперсию S^2 (т.е. разброс значений относительно среднего значения) результатов измерений.

$$S^2 = \frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}\left(X_i - X_{cp}\right)^2$$

S^2=0.517909 мм^2

3. Существуют ли грубые погрешности в выборке.

Если в полученной группе измерений одно-два резко отличаются от остальных, то необходимо установить, являются ли они грубыми погрешностями, подлежащими исключению. Грубые погрешности возникают при случайном резком изменении условий измерения. В качестве грубых погрешностей принимают min или max значения из данной группы.

Проверяем, являются ли грубыми погрешностями

X_{min}=19.04
X_{max}=20.96
Наблюдаемые значения критерия $V_н$

$$V_н = \frac{1}{S}\left|X_{ср} - X_1\right|, \text{ где}$$

$X_1=X_{min}$ или $X_1=X_{max}$
$V_н$=1.374262
$V_н$=1.293668

Сравнив наблюдаемое значение критерия и критическое значение критерия ($V_к$), сделайте заключение, следует ли исключать данные числа из рассмотрения.

Если $V_н>V_к$, то результат следует исключить из дальнейшего рассмотрения.

Значение $V_к$ определяют по таблице табл. 2 (см. приложение), P=0.95, m=10, $V_к$=*2.294*

где P – доверительная вероятность.

Данные числа не нужно исключать из рассмотрения

4. Доверительный интервал, т.е. интервал в который с доверительной вероятностью P=0.95 попадает истинное значение измеренной величины.

Определите по табл. 3 значение критерия Стьюдента для m=10, P=0.95 и введите его t(P,m)=*2.262*.

Доверительный интервал определяется:

$$X_{ср} - t(P,m)\frac{S}{\sqrt{m}} < X_{истин} < X_{ср} + t(P,m)\frac{S}{\sqrt{m}}$$

$$19.51422 < X_{истин} < 20.54378$$

5. Необходимое количество параллельных измерений m_1 для достижения требуемой точности измерений. Ошибка измерений Δ_0 принимаем 5% от $X_{ср}$, т.е.

$\Delta_0=0.05\,X_{ср}$

$$m_1 \geq t^2(P,m)\frac{S^2}{\Delta_0^2}$$

t(P,m)-критерий Стьюдента, см. табл.3, P=0.95, m=10

m1≥20.46658

Вывод: Для достижения требуемой точности необходимо выполнить не менее 21 параллельного измерения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что характеризует дисперсия случайной величины?
2. Когда возникают и как определяются грубые погрешности измерений?
3. Что называется доверительным интервалом случайной величины?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Обработка результатов измерений. Проверка случайности и независимости результатов измерений в выборке.

Для статистической обработки результатов измерения отклика необходима уверенность, что эти данные стохастически независимы. Альтернативной гипотезой наличие смещения (дрейфа) значения отклика, вызванного некоторым неконтролируемым фактором. Это имеет место при анализе размеров деталей, обрабатываемых на настроенном станке, когда вследствие изнашивания инструмента или нагрева станка центр группировки размеров постепенно смещается при неизменной стандартной погрешности S.

ЗАДАНИЕ

По результатам измерения деталей, обработанных на токарно-револьверном автомате, необходимо проверить наличие или отсутствие дрейфа размеров.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Вариант № *20* Р=*0.95*

Результаты измерений

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
$D_{изм.}$ мм	*87.14*	*87.47*	*87.55*	*87.07*	*87.63*	*87.47*	*87.49*	*87.04*	*86.92*	*87.62*

Для определения наличия или отсутствия дрейфа используется критерий последовательных разностей $\tau_н$. Наблюдаемое значение критерия $\tau_н$:

$$\tau_н = \frac{C^2}{S^2}, \text{ где}$$

$$C^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m-1}(Y_{i+1} - Y_i)^2}{2(m-1)}, \text{ где}$$

m-число измерений,
Y_i-результаты измерений,
S^2-дисперсия ($мм^2$)

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m}\left(Y_i - Y_{ср}\right)^2}{m-1}$$

S^2=0.0642200 $мм^2$

Разности Y_{i+1}-Y_i	0.33	0.08	-0.48	0.56	-0.16	0.02	-0.45	-0.12
$(Y_{i+1}-Y_i)^2$	0.1089	0.0064	0.2304	0.3136	0.0256	0.0004	0.2025	0.0144

C^2=0.0501222 $мм^2$
$\tau_н$=0.7804768

Критическое значение критерия последовательных разностей $\tau_к$ определяется по таб.4 m=10, P=0.95.
$\tau_к$ =*0.531*
Если $\tau_н < \tau_к$, то дрейф существует
Сделайте вывод о наличии дрейфа измеренных значений.
Вывод: Дрейф отсутствует

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких случаях при обработке деталей возможен дрейф размеров?
2. Какой критерий используется для определения дрейфа?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Тема: Проверка гипотезы о равенстве дисперсий.

ЗАДАНИЕ

Деталь «втулка» обрабатывается на четырёх токарно-револьверных автоматах. Необходимо определить, имеют ли автоматы одинаковую точность. Для этого с каждого из автоматов возьмем по одной выборке обработанных деталей, каждая по 10 штук.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Вариант № *3* **P=*0.95***

Автомат N1

Размеры обработанных деталей

$D_{изм}$, мм	*35.4*	*35.7*	*35.2*	*35.7*	*35.1*	*35.4*	*35.8*	*35.8*	*35.2*	*35.4*

Автомат N2

Размеры обработанных деталей

$D_{изм}$, мм	*35.3*	*35*	*35.4*	*35.9*	*35.8*	*35.4*	*35.5*	*35.9*	*35.3*	*35.4*

Автомат N3

Размеры обработанных деталей

$D_{изм}$, мм	*35.7*	*35.1*	*35.6*	*35.2*	*35.5*	*35.6*	*35.3*	*35.1*	*35.9*	*35.8*

Автомат N4

Размеры обработанных деталей

$D_{изм}$, мм	*35.4*	*35.6*	*35.2*	*35.6*	*35.1*	*35.1*	*35.6*	*35.1*	*35.7*	*35.3*

Точность обработки можно оценить с помощью дисперсии размеров деталей обработанных на автомате. Проверяется гипотеза о равенстве дисперсий. Если дисперсии однородны, то точность автоматов одинакова.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Определите дисперсию размеров S^2 ($мм^2$) для каждого автомата

$$S^2 = \frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}\left(X_i - X_{ср}\right)^2,$$

где m-количество деталей в выборке (m=10),

X_i –результат i-го измерения

Автомат №1	Автомат №2	Автомат №3	Автомат №4
S^2=0.0621000	S^2=0.0769000	S^2=0.0756000	S^2=0.0521000

2. Определите наблюдаемое значение критерия Кохрена $G_н$. Оно определяется по формуле

$$G_н = \frac{S^2_{i\max}}{\sum\limits_{i=1}^{n} S_i^2}, \text{ где}$$

n=4 – число выборок.

$S^2_{i\,max} = S_2^2$

$G_н$=0.2883390

3.Сравните критическое G_k и наблюдаемое $G_н$ значения критерия Кохрена, если $G_н<G_k$,то дисперсии однородны и точность автоматов одинакова.

Значение G_k определяется по табл.5 для P=0.95, m=10, n=4 (см. Приложение)

G_k=*0.502*

Сделайте вывод о точности автоматов

Вывод: Точность автоматов одинакова

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой метод можно применить для сравнения точности обработки на одинаковых станках?
2. Для чего используется критерий Кохрена ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема: Дисперсионный анализ.

Дисперсионный анализ предназначен для выявления степени влияния контролируемых факторов на отклик. При однофакторном дисперсионном анализе выявляется степень влияния одного фактора X на математическое ожидание отклика M(Y). Фактор может быть количественным (скорость резания, размер заготовки) или качественным (модель станка, марка СОЖ).

ЗАДАНИЕ

Определить, влияет ли марка СОЖ на шероховатость поверхности деталей, шлифованных при одинаковых режимах. Исследовались 5 марок СОЖ.

Вариант № *2*, R_a, мкм=*1.6*

Результаты наблюдений

Номер фактора (марка СОЖ)	Уровень фактора	Значение R_a мкм					
		1	2	3	4	5	6
1	X1	*1.6*	*2.22*	*1.97*	*2.47*	*2.52*	*2.11*
2	X2	*2.5*	*3.45*	*2.66*	*3.05*	*2.65*	*2.71*
3	X3	*1.7*	*2.1*	*2.44*	*1.81*	*2.24*	*1.86*
4	X4	*1.7*	*2.61*	*2.55*	*1.87*	*2.69*	*2.13*
5	X5	*1.9*	*2.6*	*2.02*	*2.54*	*2.31*	*2.35*

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

1.Определите средние $Y_{ср}$ и дисперсии S^2_i для каждой серии опытов

Номер фактора (марка СОЖ)	Уровень фактора	$Y_{срi}$	S^2_i
1	X1	2.148333	0.0967806
2	X2	2.836667	0.1028556
3	X3	2.025	0.0671917
4	X4	2.258333	0.1456806
5	X5	2.286667	0.0645889
среднее		2.311	0.0954194

2.Оцените влияние неконтролируемых факторов

Влияние неконтролируемых факторов оценивается средней дисперсией воспроизводимости $S_в^2$, а общее рассеивание значений отклика оценивается общей дисперсией $S_о^2$.

Средняя дисперсия воспроизводимости $S_в^2$ и общая дисперсия $S_о^2$ определяются:

$$S_в^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{1}{m_i-1}\sum_{j=1}^{m_i}\left(y_{ij}-Y_{i_{ср}}\right)^2\right], \text{ где}$$

n=5 – число факторов,

m=6 – число дублирующих опытов,

y_{ij} – наблюдаемое значение Ra.

$$S_о^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m_i}\left(y_{ij}-\mu\right)^2, \text{ где}$$

$$N = \sum_{i=1}^{n} m_i;$$

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_{i_{ср}},$$

N – число всех значений шероховатостей.

$S_в^2$=2.311 мм^2

$S_о^2$=0.173009 мм^2

3.Оцените рассеивание значений отклика, вызванное контролируемым фактором

Рассеивание значений отклика, вызванное контролируемым фактором, оценивается дисперсией $S^2(X)$:

$$S^2(X) = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} m_i(Y_{iср}-\mu)^2.$$

$S^2(X)$=0.3879478

4. Проверьте однородность дисперсий S^2 с помощью критерия Кохрена

$$G_н = \frac{S^2_{i\,max}}{\sum_{i=1}^{n} S_i^2},$$

$$S^2_{i\,max} = S^2_4.$$

$G_н$=0.3053477

Критическое значение критерия G_k (табл.5 P=0.95, m=6, n=5)

G_k=*0.507*

Если $G_н<G_k$, то дисперсии однородны и проводят дальнейшие расчеты. Сделайте вывод.

Вывод: Дисперсии однородны.

5.Определите влияние фактора X. Для этого проверяют однородность дисперсий S_o^2 и $S^2(X)$ путем определения наблюдаемого критерия Фишера.

$$F_н = \frac{S^2(X)}{S_в^2}$$

$F_н$=0.1678701

Критическое значение критерия Фишера F_k по табл.6 при P=0.95, m_1=5, m_2=26, где m_1 и m_2 определяются в зависимости от степеней свободы $f_в$ и f_x.:

f_x=n-1, f_x=5-1=4

$f_в$=N-n, $f_в$=30-5=25

m_1= f_x+1, m_1=4+1=5

m_2= $f_в$+1, m_2=25+1=26

F_k=2.74

Если $F_н$>F_k ,то марка СОЖ влияет на изменение шероховатости детали.

Сделайте заключение о влиянии марки СОЖ

Вывод: Данные марки СОЖ несущественно влияют на шероховатость детали.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1.Для чего применяют дисперсионный анализ?

2.Что выявляется при однофакторном дисперсионном анализе?

3.Какие виды факторов могут использоваться при дисперсионном анализе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N5

Тема: Корреляционный анализ

Задача корреляционного анализа – выявление значимости связи между значениями различных случайных величин. Зависимость между величинами, при которой каждому значению одной величины отвечает с соответствующей вероятностью множество возможных значений другой величины, называют вероятностной.

Если при наличии вероятностной зависимости между двумя величинами с изменением значения одной величины изменяется только математическое ожидания второй и наоборот, а дисперсия и тип закона распределения остаются неизменными, то для таких величин характерна корреляционная зависимость.

Примеры корреляционной связи:

1. между пределом прочности и пределом текучести стали;
2. между твердостью и износостойкостью стали.

Силу линейной статистической связи между случайным величинами X и Y можно оценить коэффициентом корреляции r, который принимает значения в интервале от -1 до +1 и не зависит от единиц величин X и Y. Чем больше по абсолютной величине коэффициент корреляции, тем сильнее зависимость между величинами X и Y. Однако обратное не всегда верно.

ЗАДАНИЕ

Определить, существует ли линейная корреляционная зависимость между прогибом переднего конца шпинделя и углом поворота шпинделя в передней опоре.

Исходные данные (см. табл.1 Приложения):

Вариант №1

Вылет переднего конца шпинделя, мм	A=	*30*
Межопорное расстояние, мм	L=	*600*
Диаметры шпинделя, мм вылета межопорной части отверстия	 d_1= d_2= d_0=	 *34* *80* *30*
Жесткость опор, Н/мм Передней задней	 j_a= j_b=	 *3000* *2000*
Сила резания, Н	P=	*2000*

Шпиндель разгружен от приводного элемента

Момент инерции сечений шпинделя, мм^4:

на консоли $I_к=$ 25836.46

между опорами $I_п=$ 1970859

Результаты измерений

N п/п	L, мм	Прогиб переднего конца шпинделя, мм	Угол поворота шпинделя, рад
		(X)	(Y)
1	600	0.7416874	0.0000290
2	580	0.7442496	0.0000285
3	570	0.7456028	0.0000275
4	560	0.7470078	0.0000271
5	550	0.7484675	0.0000263
6	540	0.7499852	0.0000261
7	530	0.7515643	0.0000256
8	520	0.7532085	0.0000252
9	510	0.7549220	0.0000239
10	500	0.7567091	0.0000242

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

1.Определите коэффициент корреляции

$$r=\frac{\sum_{i=1}^{m}(x_i-x_{cp})(Y_i-Y_{cp})}{(m-1)S(X)S(Y)},$$

где $X_i.Y_i$ – i-е значение случайных величин X иY,

Xcp ,Ycp,S(X),S(Y) – соответственно средние значения и средние квадратические отклонения случайных величин,

m – количество измерений.

r = -0.984377

2.Проверьте значимость коэффициента корреляции. Для этого определяют наблюдаемое значение критерия Стьюдента.

$$t_н=r\sqrt{\frac{m-2}{1-r^2}}\text{ , где}$$

m - число измерений.

$t_н$=-15.8131

Критическое значение критерия – по табл.3 при P=0.95, m_1=9, где m_1 принимают в зависимости от степеней свободы f=m-2, m_1=f+1.

f=10-2=8

$m_1=8+1=9$
$t_k=1.859$

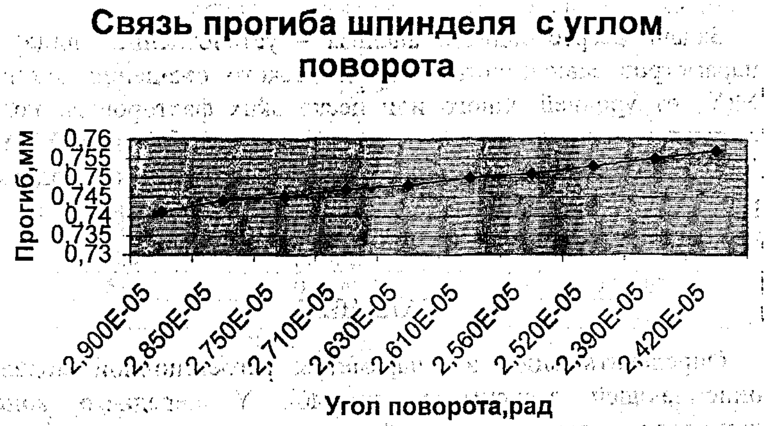

Рисунок 1

Если $|t_н|<t_k$, то $r = 0$ и связи между величинами нет.

Для просмотра графической зависимости между X и Y нажмите F10.

Сделайте вывод о наличии зависимости между X и Y:
Вывод: Между X и Y существует корреляционная зависимость.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите задачи корреляционного анализа?
2. Какая зависимость называется вероятностной?
3. Какая зависимость называется корреляционной?
4. Привести примеры корреляционной зависимости.
5. Что характеризует коэффициент корреляции, его возможные значения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Тема: Регрессионный анализ

Задача регрессионного анализа – установление вида и параметров зависимости математического ожидания отклика M(Y) от уровней одного или нескольких факторов X, когда результаты эксперимента представлены в виде пар X1-Y1, X2-Y2 и т.д. Искомая функция называется моделью регрессионного анализа (регрессионной моделью), а ее параметры – коэффициентами регрессии.

ЗАДАНИЕ

Определить вид и параметры регрессионной модели, описывающей зависимость прогиба Y переднего конца шпинделя под нагрузкой от величины межопорного расстояния L.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

Вариант № *1*

Вылет переднего конца шпинделя, мм	A=	*30*
Межопорное расстояние, мм	L=	*600*
Диаметры шпинделя, мм вылета межопорной части отверстия	 d_1= d_2= d_0=	 *34* *80* *30*
Жесткость опор, Н/мм передней задней	 j_a= j_b=	 *3000* *2000*
Сила резания, Н	P=	*2000*

Шпиндель разгружен от приводного элемента

Момент инерции сечений шпинделя, мм^4

на консоли	$I_к$=	25836.46
между опорами	$I_п$=	1970859

Результаты измерений			Результаты расчетов по полученной модели
N п/п	L, мм	Прогиб переднего конца шпинделя, мм	Прогиб переднего конца шпинделя, мм
(i)	(X)	($Y_{изм}$)	($Y_{расч}$)
1	600	0.7416874	0.108
2	580	0.7442496	0.10092
3	570	0.7456028	0.09747
4	560	0.7470078	0.09408
5	550	0.7484675	0.09075
6	540	0.7499852	0.08748
7	530	0.7515643	0.08427
8	520	0.7532085	0.08112
9	510	0.7549220	0.07803
10	500	0.7567091	0.075
Число измерений n=10			

Для определения дисперсии воспроизводимости проводились 10 дублирующих опытов (m=10)
при L=600 мм

$Y_{изм\ i}$, мм	0.741687	0.865302	0.752812	0.716964	0.618072
	0.741687	0.865302	0.756521	0.719436	0.723145

Дисперсия воспроизводимости $S_в^2$ определялась по формуле

$$S_в^2 = \frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(Y_{изм\,i} - \overline{Y}_{изм})^2, \text{ где}$$

$\overline{Y}_{изм}$ -среднее значение измеренных величин (мм)

$S_в^2$=0.0046929 (мм^2)

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

Предполагаем, что регрессионная модель имеет вид

$$Y_{расч} = b_0 + b_1 X + b_2 X^2, \text{ где}$$

b_0, b_1, b_2-коэффициенты регрессии.

Для определения коэффициентов регрессии составляем систему уравнений

$$\begin{cases} b_0 n + b_1 \sum X_i + b_2 \sum X_i^2 = \sum Y_i \\ b_0 \sum X_i + b_1 \sum X_i^2 + b_2 \sum X_i^3 = \sum (YX)_i \\ b_0 \sum X_i^2 + b_1 \sum X_i^3 + b_2 \sum X_i^4 = \sum (YX^2)_i \end{cases}$$

$$\begin{cases} 10\, b_0 + 5460\, b_1 + 2990400\, b_2 = 7.493404 \\ 5460\, b_0 + 2990400\, b_1 + 1.6429 * 10^9 b_2 = 4090.006 \\ 2990400\, b_0 + 1.6429 * 10^9 b_1 + 9.054 * 10^{11}\, b_2 = 2239303 \end{cases}.$$

Решая систему уравнений определяем значения коэффициентов

b_0=0.9191910

b_1=-0.000471

b_2=0.0000003

Определяем дисперсию оценок коэффициентов регрессии. Для j-го коэффициента регрессии

$$S^2(b_j) = S_в^2 C_{jj}, \text{ где}$$

$S_в^2$ – дисперсия воспроизводимости;

C_{jj} – элемент матрицы $Ф^{-1}$, обратной информационной.

Информационная матрица

$$\Phi = \begin{pmatrix} n & \sum X_i & \sum X_i^2 \\ \sum X_i & \sum X_i^2 & \sum X_i^3 \\ \sum X_i^2 & \sum X_i^3 & \sum X_i^4 \end{pmatrix}.$$

Обратная матрица определяется по формуле

$$\Phi^{-1} = \frac{1}{\det \Phi} \begin{pmatrix} D_{00} & D_{10} & D_{20} \\ D_{01} & D_{11} & D_{21} \\ D_{02} & D_{12} & D_{22} \end{pmatrix}, \text{ где}$$

detΦ – детерминант матрицы Φ,

D_{jk} – алгебраическое дополнение элемента матрицы в j–ой строке и k–ом столбце.

C_{00}=	11131.73
C_{11}=	0.1485588
C_{22}=	0.0000001
$S^2(b_1)$=	52.24015
$S^2(b_2)$=	0.00069725
$S^2(b_2)$=	$0.79*10^{-10}$

Проверяем значимость полученных коэффициентов регрессии. Для этого определяем наблюдаемые значения критерия Стьюдента для каждого b_i по формуле

$$t_{Hj} = \frac{|b_j|}{S(b_j)}$$

$t_{н0}$=0.0175955
$t_{н1}$=0.6755687
$t_{н2}$=504.4654

Критическое значение критерия по табл.3 для P=0.90, m=10
t_k=*1.833*

Если $tн_i > t_k$, то коэффициент b_i значим, в противном случае – b_i=0

Введите принятые значения b_i и число параметров модели (равно количеству значимых коэффициентов регрессии)
Принятые значения b_i
b_0=*0*
b_1=*0*
b_2=*0.0000003*
Число параметров модели d=*1*

Рассчитанные по модели значения прогиба смотри в таблице с результатами измерений. Для просмотра графика зависимости измеренного (зеленый цвет) и рассчитанного по модели (красный цвет) прогиба шпинделя от межопорного расстояния нажмите F10.

Проверяем адекватность полученной регрессионной модели. Для этого вычисляем остаточную дисперсию S_o^2 и сопоставляем ее с дисперсией воспроизводимости $S_в^2$ с помощью критерия Фишера.

$$S_o^2 = \frac{1}{n-(d+1)} \sum_{g=1}^{n} (Y_{измер_g} - Y_{расч_g})^2$$

S_o^2=0.5441529 мм^2

Наблюдаемое значение критерия Фишера

$$F_н = \frac{S_o^2}{S_в^2}$$

$F_н$=115.9523

Критическое значение критерия Фишера - табл.6

P=0.90, f_1 и f_2 – степени свободы.

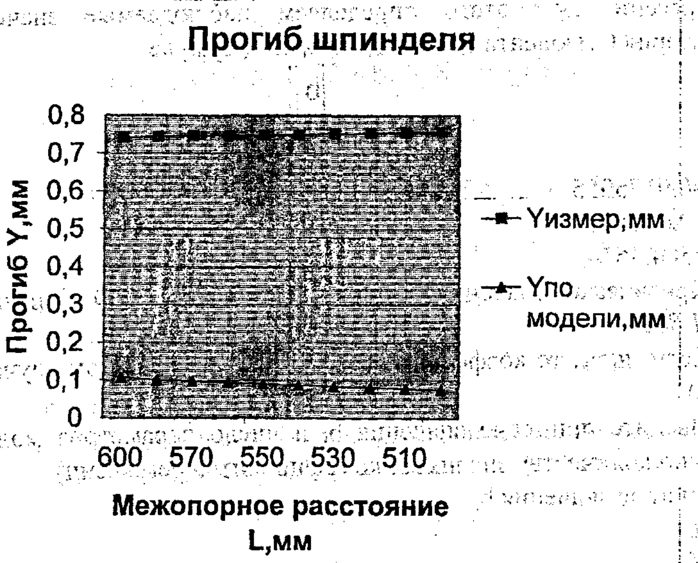

Рисунок 2

f_1=n-d,f_2=m-1, где m - количество дублирующих опытов при определении S_B^2; n – число измерений.

f_1=9

f_2=9

F_k=*2.44*

Если $F_н<F_k$, то модель адекватна. В противном случае – не адекватна. Сделайте заключение об адекватности модели.

Вывод: Модель не адекватна

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Задачи регрессионного анализа?
2. Что такое регрессионная модель?
3. Как проверяют адекватность регрессионной модели?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N7

Тема: Планирование эксперимента. Определение вида линейной по параметрам многофакторной модели (последовательное планирование).

Основной принцип теории планирования эксперимента – получение максимум информации при минимальных затратах времени и средств на эксперимент.

При последовательном планировании порядок модели до опыта неизвестен. На первом этапе предполагается, что модель линейна

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \text{, где}$$

X_1 и X_2-два контролируемых фактора.

Проводят эксперимент, определяют параметры b_0, b_1, b_2 и проверяют адекватность модели. Если модель адекватна, то заканчивают эксперимент, в противном случае модель предполагается в виде

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2$$

и проводят недостающие опыты, вычисляют параметры модели и проверяют ее адекватность. Если модель не адекватна, то модель предполагается квадратичной и проводятся недостающие опыты для определения ее параметров и проверяется ее адекватность.

Для обработки результатов эксперимента факторы нормализуют. Для определения параметров модели достаточно каждый фактор фиксировать на одном из двух уровней: верхнем и нижнем (верхний уровень – большее значение, нижний – меньшее). Верхний уровень нормализованного фактора обозначают «+1», нижний «-1».

Эксперимент, в котором используются все возможные сочетания уровней факторов называется полным факторным экспериментом (ПФЭ).

План проведения эксперимента и его результаты записываются в виде таблицы, которая называется матрицей планирования. Если результаты эксперимента в таблицу не записываются, то такая таблица называется факторным планом.

ЗАДАНИЕ

Определить вид и параметры модели зависимости угла поворота шпинделя (отклик Y) от вылета переднего конца шпинделя A (фактор X_1) и межопорного расстояния L (фактор X_2).

Модель ищем в виде

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2$$

Исходные данные:

Вариант № *1*

Вылет переднего конца шпинделя, мм	A=	*60*
Межопорное расстояние, мм	L=	*600*
Диаметры шпинделя, мм вылета межопорной части отверстия	 d_1= d_2= d_0=	 *34* *80* *20*
Жесткость опор, Н/мм передней задней	 j_a= j_b=	 *3000* *2000*
Сила резания, Н	P=	*2000*

Шпиндель разгружен от приводного элемента

Момент инерции сечений шпинделя, мм^4:

на консоли $I_к$= 57743.26

между опорами $I_п$= 2002765

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Определите область экспериментирования

№ фактора	обозна-чение	Xmax		Xmin	
		натуральное значение.	нормализ. значение	натуральное значение	нормализ. значение
1	A, мм	*60*	1	*20*	-1
2	L, мм	*600*	1	*150*	-1

№ фактора	Обозначение	Xmax-Xmin	Xсред	
		натуральное значение.	натуральное значение	нормализован. значение
1	A, мм	40	40	0
2	L, мм	450	375	0

Минимальное значение межопорного расстояния L принимаем равным 3.5*A (для обеспечения требуемой жесткости шпиндельного узла), а значение A=20мм исходя из конструктивных соображений.

2. Составьте расширенную матрицу полного факторного эксперимента.

Введите в таблицу нормализованные и натуральные значения уровней факторов, при этом обеспечьте все возможные сочетания уровней факторов.

№ опыта u	X_1		X_2		$X_1 \cdot X_2$	$Y_{измер}$ рад ($Y_и$)	Y по модели
	натур. значение A, мм	нормализованное значение	натуральн значение L, мм	Нормализованное значение	нормализ. значение		
1	*60*	*1*	*600*	*1*	*1*	0.0000571	0.0000571
2	*60*	*1*	*150*	*-1*	*-1*	0.0000143	0.0000143
3	*20*	*-1*	*600*	*1*	*-1*	0.0000190	0.0000190
4	*20*	*-1*	*150*	*-1*	*1*	0.0000048	0.0000048

3. Определяем параметры нормализованной модели

$$b_o = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^{N} Y_u$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^{N} (x_i Y)_u$$

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum (x_i x_j Y)_u,$$

где N – число опытов (N=4);

i, j – номера факторов;

x_i, x_j – нормализованные значения факторов;

Y_u – измеренное значение отклика в u – м опыте.

b_0=0.0000238

b_1=0.0000119

b_2=0.0000143

b_{12}=0.0000071.

4. Для определения дисперсии воспроизводимости $S_в^2$ в центре плана (нормализованные координаты X_1=0 и X_2=0) проводим 10 дублирующих опытов (m=10).

X1		X2	
натуральное значение A, мм	Нормализованное значение	натуральное значение L,мм	Нормализованное значение
40	0	375	0

Y_o, рад	0.0000238	0.0000258	0.0000288	0.0000278	0.000032
	0.0000268	0.0000318	0.0000238	0.0000298	0.000025

$$S_B^2 = \frac{\sum_{j=1}^{m}(Y_{oj} - \overline{Y_o})^2}{m-1}, \text{ где}$$

m=10;

$\overline{Y_o}$ - среднее значение отклика.

$S_в^2 = 8.69 \cdot 10^{-12}$

5. Проверьте значимость параметров модели. Для этого для каждого параметра b_i определяем доверительный интервал Δb_i. Если $|\Delta b_i| < |b_i|$, то параметр значим, иначе $b_i = 0$.

$$\Delta b_i = \pm t(P, mN)\frac{S_b}{\sqrt{mN}}, \text{ где}$$

m=10

N – число серий опытов в плане(N=4).

Значения доверительных интервалов при P=0.95:

$\Delta b_0 = 2.78 \cdot 10^{-12}$

$\Delta b_1 = 2.78 \cdot 10^{-12}$

$\Delta b_2 = 2.78 \cdot 10^{-12}$

$\Delta b_{12} = 2.78 \cdot 10^{-12}$

Введите значение параметров модели (если параметр не значим, то вводится 0)

$b_0 = 0.0000238$

$b_1 = 0.0000119$

$b_2 = 0.0000143$

$b_{12} = 0.0000071$

Затем вычисляется остаточная дисперсия S_o^2 и проверяется адекватность модели с помощью критерия Фишера. В лабораторной работе из-за совпадения $Y_{\text{по модели}}$ и $Y_{\text{измеренного}}$ адекватность модели не рассчитывается.

Значения прогиба, рассчитанные по модели, представлены в матрице планирования.

Нормализованная модель имеет вид

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2,$$

где вместо x_i подставляют их нормализованные значения.

Запишите нормализованная модель:

$Y = 0.0000238 + 0.0000119x_1 + 0.0000143x_2 + 0.0000071x_1x_2$

6. Перейдите к натуральной модели, подставляя вместо x_i формулу

$$x_i = \frac{X_i - X_{cp}}{X_{max} - X_{min}}$$

В натуральной модели при расчетах подставляем вместо X_i натуральные значения. Запишите натуральную модель:

$$Y = 0.0000238 + 0.0000119\frac{X_1 - 40}{40} + 0.0000143\frac{X_2 - 375}{450} +$$

$$+ 0.0000071 \cdot \frac{X_1 - 40}{40} \cdot \frac{X_2 - 375}{450}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основной принцип при планировании эксперимента?
2. В чем заключается последовательное планирование?
3. Сколько и какие уровни факторов используются для определения параметров модели?
4. Нормализованные значения уровней факторов?
5. Что называется полным факторным экспериментом?
6. Что представляет собой матрица планирования и факторный план, их отличие?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 - Варианты заданий для практических работ № 5,6,7

№ варианта	L, мм	a, мм	d_1, мм	d_2, мм	d_o, мм	P, кН	J_B, Н/мкм	J_A, Н/мкм
01	500	60	70	75	30	8,0	200	150
02	600	70	75	85	35	4,5	250	200
03	700	80	75	90	40	8,0	200	200
04	600	80	80	100	45	10,0	200	200
05	500	40	60	80	30	9,0	150	200
06	600	50	80	90	35	7,0	150	250
07	500	60	70	80	30	10,0	250	150
08	700	70	80	95	40	5,0	150	100
09	600	60	70	90	35	7,0	150	150
10	500	50	65	45	30	6,0	100	200
11	550	50	65	85	35	7,0	100	200
12	650	60	75	90	40	6,0	260	300
13	750	65	80	100	40	12,5	250	150
14	800	70	90	110	45	7,5	200	200
15	650	75	100	120	50	15,0	300	150
16	600	65	65	80	35	9,5	250	150
17	400	50	65	75	30	4,0	200	100
18	450	45	50	70	25	5,0	150	200
19	350	45	60	70	30	4,5	150	100
20	700	60	95	110	45	10	200	300

Таблица 2 - Критические значения критерия v(P,m)

m	Доверительная вероятность P			
	0.90	0.95	0.975	0.99
3	1.406	1.412	1.414	1.414
4	1.645	1.689	1.710	1.723
5	1.791	1.869	1.917	1.955
6	1.894	1.996	2.067	2.130
7	1.947	2.093	2.182	2.265
8	2.041	2.172	2.273	2.374
9	2.097	2.238	2.349	2.464
10	2.146	2.294	2.414	2.540
11	2.190	2.343	2.470	2.606
12	2.229	2.387	2.519	2.663
13	2.264	2.426	2.563	2.713
14	2.297	2.461	2.602	2.759
16	2.354	2.523	2.670	2.837
18	2.404	2.577	2.728	2.903
20	2.447	2.623	2.779	2.959
22	2.486	2.664	2.823	3.008
24	2.521	2.701	2.862	3.051
26	2.553	2.734	2.897	3.089
28	2.582	2.764	2.929	3.124
30	2.609	2.792	2.958	3.156
35	2.668	2.853	3.022	3.224
40	2.718	2.904	3.075	3.281
45	2.762	2.948	3.120	3.329
50	2.800	2.987	3.160	3.370

Таблица 3 – Критические значения критерия Стьюдента t(P,m)

m	Доверительная вероятность P			
	0.90	0.95	0.975	0.99
3	2.920	4.303	6.205	9.925
4	2.353	3.183	4.177	5.841
5	2.132	2.776	3.495	4.604
6	2.015	2.571	3.163	4.032
7	1.943	2.447	2.969	3.707
8	1.895	2.365	2.841	3.500
9	1.859	2.306	2.752	3.355
10	1.833	2.262	2.685	3.250
11	1.813	2.228	2.634	3.169
12	1.796	2.201	2.593	3.106
13	1.782	2.179	2.560	3.055
14	1.771	2.160	2.533	3.012
15	1.761	2.145	2.510	2.977
16	1.753	2.132	2.490	2.947
18	1.739	2.110	2.458	2.898
20	1.729	2.093	2.433	2.861
22	1.721	2.080	2.414	2.831
24	1.714	2.069	2.398	2.807
25	1.711	2.064	2.391	2.797
30	1.699	2.045	2.364	2.756
40	1.684	2.021	2.329	2.705
60	1.671	2.000	2.299	2.660
120	1.658	1.980	2.270	2.617
∞	1.645	1.960	2.241	2.576

Таблица 4 - Значения критерия $\tau_к$

m	P 0.95	P 0.99
4	0.390	0.256
5	0.410	0.269
6	0.445	0.281
7	0.468	0.307
8	0.491	0.331
9	0.514	0.354
10	0.531	0.376
11	0.548	0.397
12	0.564	0.414
13	0.578	0.431
14	0.591	0.447
15	0.603	0.461
16	0.614	0.475
17	0.624	0.487
18	0.633	0.499

m	P 0.95	P 0.99
19	0.642	0.510
20	0.650	0.520
25	0.676	0.542
30	0.704	0.508
35	0.725	0.611
40	0.742	0.636
45	0.757	0.658
50	0.769	0.674
60	0.789	0.702
70	0.804	0.724
80	0.817	0.741
90	0.827	0.756
100	0.836	0.767
110	0.843	0.778
120	0.850	0.788

Таблица 5 - Критическое значение критерия Кохрена $G_к$

n	m							
	4	5	6	7	8	9	10	17
P=0.95								
3	0.798	0.746	0.707	0.677	0.653	0.633	0.617	0.547
4	0.684	0.629	0.589	0.560	0.537	0.518	0.502	0.437
5	0.589	0.544	0.507	0.478	0.456	0.439	0.424	0.365
6	0.532	0.480	0.445	0.418	0.398	0.382	0.368	0.312
7	0.480	0.431	0.397	0373	0.354	0.338	0.326	0.276
8	0.438	0.391	0.359	0.336	0.319	0.304	0.293	0.246
10	0.373	0.331	0.303	0.282	0.267	0.254	0.244	0.203
12	0.326	0.288	0.262	0.244	0.230	0.219	0.210	0.174
15	0.276	0.242	0.219	0.203	0.191	0.182	0.144	0.143
20	0.220	0.192	0.174	0160	0.150	0.142	5.136	0.111
P=0.99								
3	0.883	0.834	0.793	0.761	0.734	0.711	0.691	0.606
4	0.781	0.721	0.676	0.641	0.613	0.590	0.570	0.488
5	0.696	0.633	0.588	0.553	0.526	0.504	0.485	0.409
6	0.626	0.564	0.520	0.487	0.461	0.440	0.423	0.353
7	0.569	0.508	0.466	0.435	0.411	0.391	0.375	0.310
8	0.521	0.463	0.423	0.393	0.370	0.352	0.337	0.278
10	0.447	0.393	0.357	0.331	0.311	0.295	0.281	0.230
12	0.392	0.343	0.310	0.286	0.268	0.254	0.242	0.196
15	0.332	0.288	0.259	0.239	0.223	0.210	0.200	0.161
20	0.265	0.229	0.205	0.188	0.175	0.165	0.157	0.125

Таблица 6 - Критические значения критерия Фишера F

P	m_2	m_1								
		4	6	8	10	15	20	30	40	60
0.90	4	5.39	5.31	5.27	5.24	5.20	5.18	5.17	5.14	5.15
0.95		9.28	9.10	8.89	8.81	8.70	8.66	8.62	8.59	8.57
0.99		29.5	28.2	27.7	27.3	26.9	26.7	26.5	26.4	26.3
0.90	6	3.62	3.45	3.37	3.32	3.24	3.21	3.17	3.16	3.14
0.95		5.41	5.05	4.88	4.77	4.62	4.56	4.50	4.46	4.43
0.99		12.1	11.0	10.5	10.2	9.72	9.55	9.38	9.29	9.20
0.90	8	3.07	2.83	2.78	2.70	2.63	2.59	2.56	2.54	2.52
0.95		4.35	3.87	3.79	3.64	3.51	3.44	3.38	3.34	3.32
0.99		8.45	7.19	6.99	6.62	6.31	6.16	5.99	5.91	5.86
0.90	10	2.81	2.61	2.51	2.44	2.34	2.30	2.25	2.23	2.21
0.95		3.86	3.48	3.29	2.18	3.01	2.94	2.86	2.83	2.79
0.99		6.99	6.06	5.61	5.35	4.96	4.81	4.65	4.57	4.48
0.90	15	2.52	2.24	2.19	2.12	2.01	1.96	1.91	1.89	1.86
0.95		3.34	2.85	2.76	2.65	2.46	2.39	2.31	2.27	2.22
0.99		5.56	4.46	4.28	4.03	3.66	3.51	3.35	3.27	3.18
0.90	20	2.40	2.18	2.06	1.98	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70
0.95		3,13	2.74	2.54	2.42	2.23	2.16	2.07	2.03	1.98
0.99		5.01	4.17	3.77	3.52	3.15	3.00	2.84	2.76	2.67
0.90	30	2.28	2.05	1.93	1.85	1.72	1.67	1.61	1.57	1.54
0.95		2.92	2.53	2.33	2.21	2.01	1.93	1.84	1.79	1.74
0.99		4.51	3.70	3.30	3.07	2.70	2.55	2.39	2.30	2.21
0.90	40	2.23	2.00	1.87	1.79	1.66	1.61	1.54	1.51	1.47
0.95		2.84	2.45	2.25	2.12	1.92	1.84	1.74	1.69	1.64
0.99		4.31	3.51	3.12	2.82	2.52	2.37	2.20	2.11	2.02
0.90	60	2.18	1.95	1.82	1.74	1.60	1.54	1.48	1.44	1.40
0.95		2.76	2.37	2.17	2.04	1.84	1.75	1.65	1.59	1.53
0.99		4.13	3.34	2.95	2.72	2.35	2.20	2.03	1.94	1.84
0.90	120	2.13	1.90	1.77	1.68	1.55	1.48	1.41	1.37	1.32
0.95		2.68	2.29	2.09	1.96	1.75	1.66	1.55	1.50	1.43
0.99		3.95	3.17	2.79	2.56	2.19	2.03	1.86	1.76	1.66

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П. И., Махаринский Е. И. Планирование эксперимента в машиностроении: [Справ. Пособие]. – Мн.: Выш. шк., 1985 – 286 с., ил.
2. Персональный компьютер для всех: в 4 книгах. Кн. 4. Вычислительные и графические возможности: Практ. пособие / А.Я. Савельев и др. Под ред. А. Я. Савельева. – М .: Высш. шк. 1991. –207 с.: ил.

Учебное издание

Составители: Монтик Сергей Владимирович
Мартиновская Оксана Владимировна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам
по дисциплине «Основы научных исследований» для студентов специальности Т.03.01 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроения»

Ответственный за выпуск Монтик С.В.
Редактор Строкач Т.В.

Подписано к печати 2.09.98 г. Формат 60x84/16 Бумага писчая N 1. Усл. п.л. 1,86. Уч. изд. л. 2,0. Заказ N 156. Тираж 100 экз. Бесплатно. Отпечатано на ротапринте Брестского политехнического института. 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.