МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА “СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ”

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН И КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания

РПК «Политехник»

Волгоград 2003

УДК 620.171.2: 519

Статистическая обработка результатов механических испытаний элементов машин и конструкций: Методические указания / Сост. А. С. Столярчук; ВолгГТУ, Волгоград, 2003. – 20 с.

Методические указания составлены для организации и проведения студентами учебно-исследовательской работы. Приводятся методики расчетов, а также основные справочные сведения, что позволяет не прибегать к дополнительной литературе. Предполагается знание студентами основных положений раздела математики: теория вероятностей и математическая статистика. (При выполнении работы в сокращенном объеме набранную курсивом информацию можно опустить).

Применение полученных знаний и навыков позволит студентам самостоятельно решать практические задачи по контролю качества заводской продукции

Табл. 6. Библиогр.: 3 назв.
Рецензент В. И. Водопьянов

Печатается по решению редакционно-издательского совета Волгоградского государственного технического университета

I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ, ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оптимизации процесса производства машин или конструкций и контроля качества на этапах изготовления и сборки, например, двигателя трактора, а также для оценки их несущей способности при эксплуатации, возникает необходимость экспериментального определения в заводских условиях комплекса механических свойств готовых элементов (деталей). В ряде случаев нужна оперативная косвенная оценка механических свойств методами неразрушающего контроля, поскольку непосредственное определение этих свойств связано с большой трудоемкостью, энергоемкостью, использованием специального оборудования, разрушением деталей и, таким образом, с дополнительными финансовыми затратами. Возможность косвенной оценки одних характеристик через другие (например, прочностных параметров по твердости) объясняется следующим обстоятельством. Те и другие, являясь в принципе **случайными величинами**, зависят от совместного влияния некоторых общих факторов (физических, технологических и пр.), поэтому являются **взаимозависимыми**.

Таким образом, большой класс практических задач анализа эмпирических результатов, получаемых обычно для ограниченного числа опытов (говорят: для выборки), предусматривает изучение взаимосвязи между случайными величинами. Подобные задачи решаются на основании корреляционного и регрессионного методов статистического анализа. Эти методы по результатам испытаний ограниченной выборки, составляющей несколько деталей (или несколько десятков деталей), позволяют с определенной вероятностью прогнозировать качество и служебные свойства продукции в целом, то есть для генеральной совокупности. Корреляционный и регрессионный методы исследования дают возможность оценить влияние технологических факторов на различные механические свойства, а в частном случае установить зависимость прочностных свойств от твердости детали или элемента конструкции, не разрушая эти элементы.

К этому классу задач относится и проблема оценки прочностных параметров, в частности: предела пропорциональности ($\sigma_{ПР}$), предела текучести ($\sigma_{0,2}$) и временного сопротивления ($\sigma_В$) стяжных болтов бугеля тракторного двигателя (выпускается, например, Волгоградским моторным заводом), которые можно определить косвенно – по значениям твердости небольшой экспериментальной серии болтов. Серия в массовом производстве может достигать нескольких тысяч (и более!) деталей в год, что позволяет рассматривать ее практически как генеральную совокупность. Таким образом, выбранные для исследования корреляционный и регрессионный методы статистического анализа позволяют **с определенной вероятностью** решать важнейшую практическую проблему оперативной и недорогостоящей проверки качества выпускаемой предприятием продукции.

В настоящей работе необходимо решить следующие конкретные задачи:

1) экспериментально определить параметры прочности ($\sigma_{ПР}$, $\sigma_{0,2}$, $\sigma_В$) и твердость по Роквеллу ($HRC_Э$) материала стяжного болта;
2) рассчитать выборочные коэффициенты корреляции прочностных параметров с указанной твердостью;
3) установить характер выборочных эмпирических линий регрессии: $\sigma_{ПР} = \sigma_{ПР}(HRC_Э)$, $\sigma_{0.2} = \sigma_{0,2}(HRC_Э)$, $\sigma_В = \sigma_В(HRC_Э)$ и построить их;
4) оценить основную ошибку определения линий регрессии;
5) на основе построенных эмпирических линий регрессии определить диапазон каждого параметра прочности, соответствующий требованиям к твердости (32...37 $HRC_Э$) стяжного болта;
6) *с заданной вероятностью вычислить и построить на графиках границы доверительного интервала линии регрессии для изучаемых параметров прочности;*
7) *определить выборочные ошибки в нахождении границ диапазона каждого параметра прочности.*

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Корреляционный анализ. Коэффициент корреляции при нормальном законе распределения случайных величин. *Проверка нулевой гипотезы*

При функциональной (**детерминированной**) зависимости между некоторыми величинами (x, y) каждому значению аргумента x соответствует определенное значение функции y, то есть $y = f(x)$. Для экспериментальных (в общем, случайных) величин такого однозначного соответствия между ними нет, поэтому будем обозначать их по-другому: X, Y. В этом случае необходимо выявлять зависимости особого вида (стохастические), при наличии которых одна величина реагирует на изменение другой изменением некоторых параметров своего закона распределения (например, закона Гаусса при нормальном распределении).

Изменение любой экспериментальной величины, например Y, в связи с изменением другой экспериментальной величины X, может рассматриваться в виде двух составляющих: **стохастической** (обусловлена действием общих факторов, имеющих единую физическую природу, и, благодаря этому, формирующих зависимость изучаемых величин друг от друга) и **случайной** (для каждой величины ее индивидуальная случайная компонента зависит от случайных факторов любой природы, индивидуально присущих только этой величине). В случайную компоненту, естественно, входят и экспериментальные погрешности измерения самой величины. В пределе, если случайная составляющая стремится к нулю (то есть обе ее случайные компоненты отсутствуют), между опытными величинами наблюдается практически детерминированная зависимость: $y = f(x)$. Напротив, если стохастическая составляющая равна нулю, то рассматриваемые величины, во-первых, являются независимыми друг от друга и отсюда однозначно следует вывод, что не существует общих физических факторов обусловливающих их взаимосвязь. Во-вторых, каждая из величин при этом условии остается зависимой только от индивидуальных случайных факторов, то есть является случайной.

На практике обычно отличны от нуля обе составляющие. В этом случае тесноту взаимосвязи между двумя величинами для генеральной совокупности оценивают **генеральным коэффициентом корреляции** ρ (для генеральной совокупности число опытов стремится к бесконечности, что возможно только теоретически). Генеральный коэффициент корреляции, таким образом, теоретически характеризует тесноту взаимосвязи между экспериментальными случайными величинами. Коэффициент корреляции изменяется в пределах $-1 \le \rho \le 1$. Для независимых случайных величин он равен нулю (говорят: величины не коррелируют) При положительном значении коэффициента корреляции ($\rho > 0$), с возрастанием одной случайной величины, в среднем, возрастает и другая. При $\rho < 0$, с возрастанием одной величины другая, в среднем, убывает. Коэффициент корреляции может быть близок к нулю и для случая коррелированных величин, если зависимость между ними нелинейная, то есть коэффициента корреляции в этом случае недостаточно для оценки их взаимосвязи.

Принято считать [1], что в случае линейной зависимости между исследуемыми экспериментальными случайными величинами уровень их взаимосвязи определяется значениями ρ (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Уровни взаимосвязи между случайными величинами

Модуль коэффициента корреляции	Взаимосвязь между исследуемыми величинами
$0{,}00 \le /\rho/ < 0{,}20$	Связи практически нет
$0{,}20 \le /\rho/ < 0{,}50$	Существует слабая связь
$0{,}50 \le /\rho/ < 0{,}75$	Существует средняя связь
$0{,}75 \le /\rho/ < 0{,}95$	Существует сильная связь
$0{,}95 \le /\rho/ \le 1{,}00$	Связь практически функциональная

При анализе результатов механических испытаний, в случае малой выборки (число испытаний $n \le 50$) и линейной зависимости между нормально распределенными случайными величинами, в качестве экспериментально получаемой количественной оценки тесноты связи между этими величинами используют [2] **выборочный коэффициент корреляции**

$$r_0 = \frac{m}{S_x S_y}. \qquad (2.1)$$

Выборочный смешанный центральный момент

$$m = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \qquad (2.2)$$

где $\bar{x}$, $\bar{y}$ – выборочные средние случайных величин X, Y:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} x_i,$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} y_i. \qquad (2.3)$$

Выборочные среднеквадратичные отклонения:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}{n-1}}. \qquad (2.4)$$

При малом объеме выборки n значение выборочного коэффициента корреляции (2.1) целесообразно корректировать [3] по формуле:

$$r = r_0\left[1+\frac{1-r_0^2}{2(n-3)}\right]. \tag{2.5}$$

Выборочный коэффициент корреляции, как и другие выборочные характеристики, является случайным статистическим параметром (ввиду ограниченности и случайности самой выборки) и может принимать различные значения, но при увеличении числа опытов его средняя величина, в пределе, стремится к генеральному коэффициенту корреляции ρ.

При рассмотрении независимых величин, для которых генеральный коэффициент корреляции ρ равен нулю, выборочный коэффициент r может заметно отличаться от нуля. В связи с этим, возникает важная практическая задача: ***проверка нулевой гипотезы****, то есть гипотезы о равенстве нулю генерального коэффициента корреляции на основании эмпирических данных выборки, что эквивалентно признанию изучаемых величин независимыми для генеральной совокупности. Для решения поставленной задачи необходимо, прежде всего, установить закон распределения выборочного коэффициента корреляции, потому что при ограниченных объемах выборки распределение выборочного коэффициента может существенно отличаться от нормального закона*

Для проверки гипотезы об отсутствии корреляции между исследуемыми величинами X, Y (нулевой гипотезы) используют преобразование Фишера, который показал, что распределение случайной величины

$$u = \frac{1}{2}\ln\frac{1+r}{1-r} \tag{2.6}$$

хорошо аппроксимируется нормальным законом с математическим ожиданием

$$a_u \cong \frac{1}{2}\ln\frac{1+\rho}{1-\rho} \tag{2.7}$$

и дисперсией

$$\sigma_u^2 = \frac{1}{n-3} \tag{2.8}$$

Проверка нулевой гипотезы, то есть $\rho = 0$ (при альтернативной $\rho \neq 0$), заключается в вычислении по формулам (2.6), (2 8) значений u, σ_u и сопоставлении выборочного значения u с критическим, найденным с помощью таблицы 2 2 для вероятности $P = 1 - \alpha/2$ *(α – уровень значимости). Если выполняется условие*

$$|u| \le z_p \sigma_u , \qquad (2\ 9)$$

нулевую гипотезу ($\rho = 0$) принимают. В том случае, когда $|u| > z_p \sigma_u$, *нулевую гипотезу отвергают.*

Таблица 2 2

Значения квантили z_p нормированного нормального распределения величины u в зависимости от вероятности P [2, с 207]

P	Тысячные доли P				
	0	2	4	6	8
0,80	0,842	0,849	0,856	0,863	0,871
0,81	0,879	0,885	0,893	0,900	0,908
0,82	0,915	0,922	0,931	0,938	0,946
0,83	0,954	0,962	0,970	0,978	0,986
0,84	0,994	1,003	1,011	1,019	1,028
0,85	1,036	1,045	1,054	1,063	1,071
0,86	1,080	1,089	1,098	1,108	1,117
0,87	1,126	1,136	1,146	1,155	1,165
0,88	1,175	1,185	1,195	1,206	1,216
0,89	1,227	1,237	1,248	1,259	1,270
0,90	1,282	1,293	1,305	1,317	1,329
0,91	1,341	1,353	1,366	1,379	1,392
0,92	1,405	1,419	1,433	1,447	1,461
0,93	1,476	1,491	1,506	1,522	1,538
0,94	1,555	1,572	1,589	1,607	1,626
0,95	1,645	1,665	1,685	1,706	1,728
0,96	1,751	1,774	1,799	1,825	1,852
0,97	1,881	1,911	1,943	1,977	2,014
0,98	2,054	2,097	2,144	2,197	2,257
0,99	2,326	2,409	2,512	2,652	2,878

2.2. Линейный регрессионный анализ. Эмпирическая линия регрессии. Оценка основной ошибки определения линии регрессии *и нахождение её вероятного расположения (доверительного интервала)*

Если исследуемые случайные величины подчиняются закону Гаусса и, кроме того, являются зависимыми (то есть между ними имеются стохастические связи), то с изменением одной величины, в общем случае, могут меняться оба статистических параметра (математическое ожидание $a_{y/x}$ и дисперсия $\sigma^2_{y/x}$) нормального распределения другой случайной величины. Например, в частном случае, принимая за переменную величину x, можно записать:

$$a_{y/x} = f_1(x), \tag{2.10}$$

$$\sigma^2_{y/x} = f_2(x). \tag{2.11}$$

Первую зависимость называют уравнением **теоретической линии регрессии**, а вторую – **скедастической зависимостью** (здесь и далее для упрощения исследования рассматривается только один частный случай, то есть только регрессия Y по X при нормальном законе распределения случайных величин).

Регрессионный анализ результатов испытаний выборки предусматривает оценку параметров уравнения **эмпирической линии регрессии** и ее графическое построение с учетом скедастической зависимости, а также проверку гипотезы о соответствии принятой исследователем функции (2.10) данным опыта, то есть гипотезы адекватности выбранной математической модели (нами принимается простейшая математическая модель – линейная функция). Эмпирическая линия регрессии при этом, естественно, служит лишь некоторым приближением к теоретической линии регрессии (тем лучшим, чем больше объем выборки). Для разных выборок параметры принятой функции, очевидно, будут отличаться. Таким образом, экспериментально можно получить серию эмпирических линий (число которых равно числу выборок), образующих некоторую область вокруг теоретической линии регрессии.

Обычно регрессионному анализу предшествует корреляционный, на основании которого производят оценку выборочных средних значений изучаемых величин, а также их выборочных среднеквадратичных отклонений и выборочного коэффициента корреляции ($\bar{x}$, $\bar{y}$, S_x, S_y, r). Тогда, с учетом упрощений, уравнение эмпирической линии регрессии, являющейся, как указано, лишь некоторым случайным приближением (зависимым от объема выборки) к теоретической линии регрессии (2.10), можно записать [2] для линейной модели в виде:

$$a_{y/x} = y(x) = \bar{y} + r\frac{S_y}{S_x}(x - \bar{x}) = (\bar{y} - r\frac{S_y}{S_x}\bar{x}) + (r\frac{S_y}{S_x})x\,. \qquad (2.12)$$

При малом объеме выборки (число пар экспериментальных величин $n \leq 50$) примерно можно принять, что дисперсия случайной величины Y не зависит от переменной x, то есть скедастическая зависимость (2.11) имеет вид:

$$\sigma^2_{y/x} = \mathrm{Const}\,. \qquad (2.13)$$

Только при всех вышеуказанных условиях, параметры уравнения (2.12) могут быть определены по формулам (2.1)...(2.5). Кроме того, если имеется n пар экспериментальных величин, то в качестве оценки дисперсии для всего интервала изменения переменной x вместо $\sigma^2_{y/x}$ может быть использована выборочная дисперсия

$$S^2_{y/x} = \frac{1}{n-2}\sum_{1}^{n}(y_i - Y_i)^2 \cong S^2_y\,(1 - r_o^2)\frac{n-1}{n-2}\,. \qquad (2.14)$$

Величина $$\delta_y = \sqrt{S^2_{y/x}} \qquad (2.15)$$

используется в качестве меры индивидуального рассеяния экспериментальных значений Y_i вокруг линии регрессии, то есть в качестве **основной ошибки** определения положения линии регрессии по уравнению (2.12).

Для оценки области расположения линии регрессии с заданной вероятностью, которая определяется выбранным уровнем значимости α, строится ***доверительный интервал*** *С этой целью для ряда значений x по формуле (2 12), в случае линейной гипотезы, находят величину Y, а также при фиксированном x её выборочную дисперсию:*

$$S^2_{Y/x} = S^2_{y/x}\left[\frac{1}{n} + \frac{(x-\bar{x})^2}{(n-1)S^2_x}\right] \qquad (2\ 16)$$

Далее составляют доверительный интервал для $a_{y/x}$ ·

$$Y - S_{Y/x}\, t_{\alpha,k} \le a_{y/x} \le Y + S_{Y/x}\, t_{\alpha,k}\,, \qquad (2\ 17)$$

где $t_{\alpha,k}$ *– значение квантили статистики t распределения Стьюдента для вероятности P. Значения* $t_{\alpha,k}$ *приведены в таблице 2 3, где число степеней свободы* $k = n - 2$.

Используя полученные таким образом значения отклонений, на графики эмпирических линий регрессии (поля регрессии) наносят границы доверительного интервала, которые и определяют с заданной вероятностью область расположения теоретической линии регрессии Из выражения (2 17) очевидно, что вычисленные отклонения найдены для случайной величины Y; поэтому они откладываются от эмпирической линии регрессии по вертикали, то есть в направлении оси y, принятой системы координат (x, y).

Таблица 2 3

Значения $t_{\alpha,k}$ распределения Стьюдента [2, с. 208] в зависимости от числа степеней свободы k (при $k > 30$ $t_{\alpha,k} = z_p$, см. таблицу 2.2)

k	*α*			
	0,100	*0,050*	*0,025*	*0,010*
1	6,314	12,706	25,452	63,657
2	2,920	4,303	6,205	9,925
3	2,353	3,182	4,177	5,841
4	2,132	2,776	3,495	4,604
5	2,015	2,571	3,163	4,032
6	1,943	2,447	2,969	3,707
7	1,895	2,365	2,841	3,499
8	1,860	2,306	2,752	3,355
9	1,833	2,262	2,685	3,250
10	1,812	2,228	2,634	3,169
12	1,782	2,179	2,550	3,055
14	1,761	2,145	2,510	2,977
16	1,746	2,120	2,473	2,921
18	1,734	2,101	2,445	2,878
20	1,725	2,086	2,423	2,845
22	1,717	2,074	2,405	2,819
24	1,711	2,064	2,391	2,797
26	1,706	2,056	2,379	2,779
28	1,701	2,048	2,369	2,763
30	1,697	2,042	2,360	2,750

2.3. Метод линеаризации экспериментальных кривых

При малом объеме эмпирических данных, полученных в опыте, линейность кривой регрессии предварительно проверяют графически, то есть путем нанесения экспериментальных точек на график в координатах x^0, y^0 (индекс "0" обозначает в данном случае – "опытный результат", а не показатель степени). Если визуальная оценка подтверждает линейность ожидаемой зависимости, то в качестве изучаемых величин X, Y оставляют экспериментальные значения, непосредственно определенные в опытах, то есть $X = X^0$, $Y = Y^0$. В качестве координатных осей в этом случае используют оси x, y.

Если экспериментальные точки по визуальной оценке лучше группируются не вокруг прямой, а около некоторой воображаемой кривой, то следует произвести предварительную линеаризацию ожидаемой кривой. В простейшем случае такая процедура заключается в следующем. Под изучаемыми случайными величинами теперь понимают величины: $X = \lg X^0$, $X = X^0$, $Y = \lg Y^0$, $Y = Y^0$; выбранные в нужной комбинации. Система координат при этом может получиться как логарифмическая, так и полулогарифмическая (последняя – двух видов). Очевидно, что возможны только три варианта системы координатных осей: $\lg x - \lg y$ ($X = \lg X^0$, $Y = \lg Y^0$); $x - \lg y$ ($X = X^0$, $Y = \lg Y^0$); $\lg x - y$ ($X = \lg X^0$, $Y = Y^0$) Исследователь визуально выбирает наиболее оптимальный вариант.

3. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ

3.1. Проведение механических испытаний и использование корреляционного анализа

В сводной таблице 3.1 приведены результаты экспериментального определения прочностных параметров и твердости опытной серии стяжных болтов тракторного двигателя. Дополните таблицу результатами, полученными вами, и установите окончательный объем выборки, то есть число n.

Нанесите экспериментальные значения, полученные в опытах (таблица 3.1), на графики, принимая за аргумент x^0 твердость, за функцию y^0 – конкретный параметр прочности, то есть графики в координатах ($\sigma_{пр}$, $HRC_э$), ($\sigma_{0,2}$, $HRC_э$) и

(σ_B , $HRC_Э$). Визуально оцените, в каких случаях в принятых осях координат результаты можно аппроксимировать линейными зависимостями, в каких – нет.

Таблица 3.1

Прочностные параметры и твердость стяжного болта

Номер образца	Предел пропорциональности		Предел текучести		Временное сопротивление		Твердость (Роквелл)	
	$\sigma_{ПР}$	$\lg \sigma_{ПР}$	$\sigma_{0.2}$	$\lg \sigma_{0.2}$	σ_B	$\lg \sigma_B$	$HRC_Э$	$\lg HRC_Э$
	МПа	–	МПа	–	Мпа	–	–	
1	640		740		880		24	
2	890		960		990		28	
3	820		910		940		27	
4	1000		1020		1050		30	
5	780		880		920		26	
6	960		1010		1040		29	
7	710		840		890		25	
8	782		882		923		26	
9	882		912		942		27	
10	891		961		991		28	
11	962		1012		1042		29	
12	710		810		875		29	
13	830		963		992		28	
14	822		910		940		27	

При необходимости, воспользуйтесь рекомендациями, изложенными в пункте 2.3. Приведите в отчете поля разброса экспериментальных точек на полученных таким образом графиках (поля регрессии).

С целью определения выборочных коэффициентов корреляции прочностных параметров с твердостью, используйте формулы (2.1)...(2.5) из пункта 2.1. Результаты расчетов удобно свести в таблицу (для примера, рекомендуемая форма представлена в виде таблицы 3.2).

Таблица 3.2

Пример таблицы для оформления результатов корреляционного анализа

x	y	$\bar{x}$	$\bar{y}$	S_x	S_y	m	r_o	r
$HRC_Э$	$\lg \sigma_{ПР}$							
$\lg HRC_Э$	$\lg \sigma_{0.2}$							
$HRC_Э$	$\sigma_В$							

На основании проведенного корреляционного анализа сделайте выводы об уровнях взаимосвязи (см. таблицу 2.1) между каждым из исследуемых прочностных параметров и твердостью стяжного болта.

Для проверки нулевой гипотезы (см пункт 2 1) используйте преобразование Фишера и его анализ согласно выражениям (2.6)...(2 9). Уровень значимости (α) задается преподавателем. Сделайте выводы для каждого исследованного параметра прочности Обоснуйте правомерность своих выводов и дайте им вероятностную трактовку (на основании проверки нулевой гипотезы).

3.2. Применение регрессионного анализа

Для построения эмпирической линии регрессии (после визуальной проверки линейности ожидаемой зависимости, см. пункт 2.3) воспользуйтесь уравнением (2.12). Значения статистических параметров: $\bar{x}$, $\bar{y}$, S_x, S_y, r вычислены ранее (см. таблицу 3.2). На основании полученных результатов, постройте все три эмпирические линии регрессии в координатах x, y или в логарифмических (полулогарифмических) системах координат.

Выборочную дисперсию и меру индивидуального рассеяния результатов наблюдений вокруг линии регрессии, то есть основную ошибку определения положения линии регрессии, рассчитайте по формулам (2.14), (2.15).

На основании построенных эмпирических линий регрессии установите выборочные (случайные) диапазоны изменения основных параметров прочности (σ_{HP}, $\sigma_{0,2}$, σ_B), соответствующие интервалу допустимых по требованиям к качеству детали значений твердости $HRC_э$(см раздел 1, задачи исследования, позиция 5) стяжного болта. Сделайте выводы по полученным результатам расчетов и графического построения эмпирических линий регрессии.

Для вычисления и дополнительного построения на полученных графиках доверительных интервалов расположения линии регрессии используйте выражения (2 16) и (2 17), а также таблицу 2 3, которые приведены в пункте 2 2 Результаты расчетов удобно свести в таблицу (рекомендуемая форма приведена в виде таблицы 3 3) Найденные границы доверительных интервалов изобразите на графиках пунктиром

Вероятность расположения линии регрессии внутри найденного доверительного интервала определяется уровнем значимости (α), который задан вам ранее преподавателем Сделайте выводы о вероятности попадания теоретической линии регрессии внутрь доверительного интервала для каждого из трех изученных случаев

Используя построенные доверительные интервалы, оцените, с какими выборочными ошибками по напряжению (МПа) вами установлены верхняя и нижняя границы найденного случайного диапазона параметра прочности в заданном интервале изменения твердости Оценку проведите для каждого параметра прочности в отдельности. Дайте вероятностную трактовку выборочных ошибок Полученные при этом анализе результаты также отразите в выводах

Таблица 3 3

Пример таблицы для оформления результатов регрессионного анализа (таблицы выполняются отдельно для каждой линии регрессии)

Номер по порядку	x (твердость)	Y	$S_{Y/x}$	$S_{Y/x}t_{\alpha,k}$	$Y-S_{Y/x}t_{\alpha,k}$	$Y+S_{Y/x}t_{\alpha,k}$
1 2 3 4 5						

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ЗАЩИТЕ РАБОТЫ

1. Чем обусловлено применение корреляционного и регрессионного методов статистического анализа при обработке результатов механических испытаний элементов машин и конструкций?
2. Сформулируйте основные задачи данного исследования.
3. Что определяет генеральный коэффициент корреляции; в каких пределах он изменяется?
4. Приведите характерные уровни взаимосвязи между случайными величинами и генеральные коэффициенты корреляции, соответствующие этим уровням.
5. В каких случаях и для чего используют выборочный коэффициент корреляции?

6. Какой из параметров прочности, по вашим данным, лучше коррелирует с твердостью? Наблюдается прямая или обратная корреляция?
7. Какие зависимости называют уравнением линии регрессии и скедастической зависимостью?
8. Изобразите график эмпирической линии регрессии, принимая линейную гипотезу, в осях ($x-\overline{x}$), ($y-\overline{y}$).
9. Какие задачи решает регрессионный анализ?
10. Какая мера используется в качестве основной ошибки определения положения линии регрессии? Проиллюстрируйте ответ на полученных результатах
11 *В чем заключается проверка нулевой гипотезы? Покажите на примере собственных расчетов*
12 *Как оценивается область вероятного расположения теоретической линии регрессии?*
13 *Сделайте сравнительную оценку доверительных интервалов для изученных прочностных параметров*
14 *Что такое выборочные ошибки при определении границ диапазона параметра прочности?*
15 *По полученным выборочным результатам дайте вероятностную трактовку качества промышленной серии исследованных стяжных болтов*

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиндовский Э., Шюрц О. Статистические методы управления качеством. Контрольные карты и планы контроля: Пер. с нем. – М.. Мир, 1976. – 597 с.
2. Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. - М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
3 Закс Л. Статистические оценивание: Пер с нем. / Под ред. Ю. П. Адлера, Б. Г. Горского. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.

Составитель Александр Станиславович Столярчук

Статистическая обработка результатов механических испытаний элементов машин и конструкций

Методические указания

Темплан 2003 г. Поз. № 88

Подписано в печать 03.04.04 Формат 60 x 84 1/16.

Бумага газетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 1,09

Уч. изд. л. 1,16. Тираж 300 экз. Заказ 270.

Волгоградский государственный технический университет
400131 Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28

РПК "Политехник"
Волгоградского государственного технического университета
400131 Волгоград, ул. Советская, 35.