Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Владимирский государственный университет

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»

Составители
Г.Ф. ДОЛГОВ
В.В. ЕВГРАФОВ

Владимир 2007

УДК 678.029.983
ББК 30.607
М42

Рецензент
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой конструирования
и производства электронной аппаратуры Московского государственного
технического университета им. Н.Э. Баумана
В.А. Шахнов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

М42 **Методические** указания к лабораторным работам по дисциплине «Управление качеством электронных средств» / Владим. гос. ун-т ; сост. : Г. Ф. Долгов, В. В. Евграфов. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 44 с.

Включают описание цикла, состоящего из пяти лабораторных работ, по статистическим методам управления качеством электронных средств.

Предназначены для студентов 3-го курса специальностей 210201 – проектирование и технология радиоэлектронных средств и 210202 – проектирование и технология электронно-вычислительных средств, очной и очно-заочной (дистанционной) форм обучения, изучающих дисциплину «Управление качеством электронных средств».

Табл. 9. Ил. 5. Библиогр. : 5 назв.

УДК 678.029.983
ББК 30.607

Цикл работ посвящен анализу стабильности технологического процесса изготовления продукции на трех производственных линиях и определению корреляционной связи параметров продукции, выпускаемой на различных линиях.

Предположим, что на трех аналогичных линиях выпускается одинаковая продукция (например конденсаторы постоянной емкости). На каждой линии периодически (через время Δt) берутся выборки объемом V и измеряется основной параметр качества продукции (например емкость конденсатора).

При стабильных техпроцессах распределение параметра качества в соответствии с центральной предельной теоремой должно подчиняться нормальному закону распределения. Если технологические линии и техпроцессы аналогичны, тогда одноименные параметры законов распределения (математическое ожидание и среднеквадратичная дисперсия) показателей качества продукции, выпускаемой на различных линиях, окажутся равными.

Лабораторная работа № 1

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О НОРМАЛЬНОМ ЗАКОНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРА РАДИОЭЛЕМЕНТА

Цель работы. Проверка гипотезы о нормальном законе распределения статистических данных на трех различных линиях.

Содержание работы

1. Оформить контрольный лист, построить интервальный ряд распределения, гистограмму и кумулятивную кривую по заданным статистическим данным на трех линиях.

2. Определить моду, медиану, среднеарифметическое, статистическую дисперсию и среднеквадратическое отклонение для каждой линии.

3. Аппроксимировать гистограмму теоретической кривой плотности распределения, проверить гипотезу о нормальном законе распределения, используя метод моментов либо метод сеток.

Методические указания

Для оформления контрольного листа необходимо:

- определить диапазон изменения параметра качества;
- разбить этот диапазон на 10 – 20 интервалов (интервалы могут быть различной ширины, хотя на практике чаще используют одинаковую ширину интервалов);
- оформить контрольный лист, который представляет упорядоченный статистический ряд наблюдений, представленный в форме таблицы (табл. 1).

Таблица 1

Контрольный лист

Интервал x	Отметка попадания параметра качества в данный интервал	Количество вхождений в данный интервал m
970 – 980	|	1
980 – 990	|||	3
...	...	...
	Сумма	100

Примечание. Цифры в таблице приведены для примера.

Промежуточные результаты обработки экспериментальных данных привести в табличной форме (табл. 2).

Относительную частоту определяют по формуле

$$P_i^* = \frac{m_i}{n}\ , \tag{1}$$

где m_i – абсолютная частота попадания параметра x в интервал;
n – общее число статистических данных.

Таблица 2

Промежуточные результаты обработки экспериментальных данных

Интервал	Середина интервала $\overline{x}_i$	Частота m_i	Относительная частота P_i^*	Накопленная частота $\sum m_i$	Относительная накопленная частота $F^*(x)$
970 – 980	975	1	0,012	1	0,012
980 – 990	985	3	0,036	4	0,048
…	…	…	…	…	…

Примечание. Цифры в таблице приведены для примера.

Примерные виды гистограммы, накопленного полигона и кумулятивной кривой изображены на рис. 1 и 2.

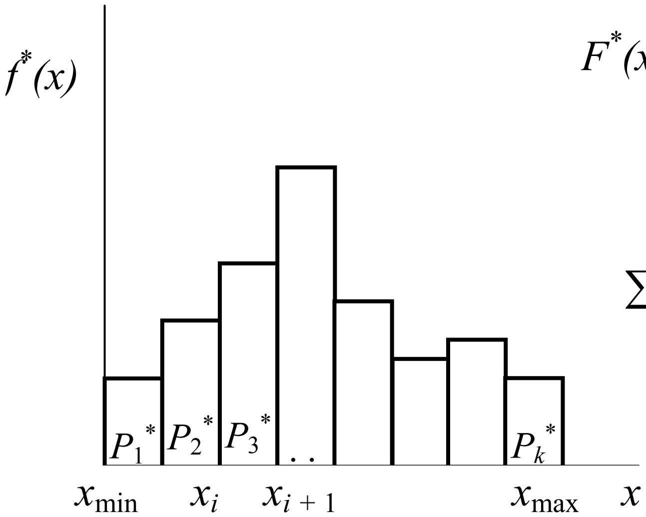


Рис. 1. Гистограмма

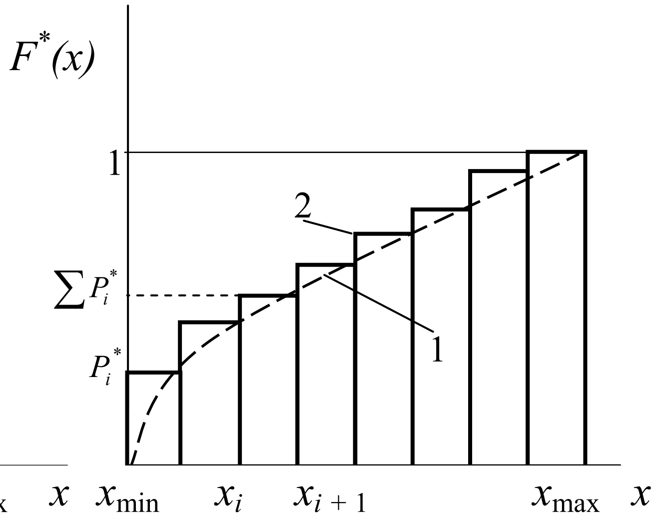


Рис. 2. Накопленный полигон (1) и кумулятивная кривая (2)

Высоту прямоугольника гистограммы находят по формуле

$$f_i^*(x) = \frac{P_i^*}{x_{i+1} - x_i}. \quad (2)$$

Высота прямоугольника кумулятивной кривой

$$F^*(x_i) = \sum_{i=1}^{m} P_i^* , \tag{3}$$

где m – число суммируемых частот до $x = x_i$.

Среднее арифметическое значение параметра рассчитывают по формуле

$$m_x^* = \sum_{j=1}^{n} x_i / n \tag{4}$$

или приближенно

$$m_x^* = \sum_{i=1}^{k} \overline{x}_i P_i^* , \tag{5}$$

где k – число разрядов; $\overline{x_i}$ – середина i-го интервала.

Статистическая дисперсия

$$D_x^* = \sum_{i=1}^{n} \left(x_i - m_x^*\right)^2 / \left(n-1\right) \tag{6}$$

или приближенно

$$D_x^* = \sum_{i=1}^{k} \left(\overline{x}_i - m_x^*\right)^2 P_i^* . \tag{7}$$

Метод моментов. При использовании метода моментов вид теоретической кривой плотности распределения подбирается по виду гистограммы, а числовые её характеристики (моменты) принимаются равными соответствующим статистическим характеристикам. Например, для нормального распределения $m_x = m_x^*$, $D_x = D_x^*$.

Для построения теоретической кривой плотности нормального распределения (на графике гистограммы) рассчитывают её значения в нескольких точках, обычно соответствующих границам интервалов, по формуле

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(x_i - m_x\right)^2}{2\sigma^2}} . \tag{8}$$

Проверяют гипотезу о нормальном законе распределения при помощи одного из критериев согласия. Наиболее распространенным является критерий Пирсона

$$\chi^2 = n\sum_{i=1}^{k}\frac{\left(P_i^* - P_i\right)^2}{P_i}, \tag{9}$$

где P_i – теоретическая вероятность попадания параметра x в i-й интервал. При нормальном законе распределения

$$P_i\left(x_{i-1} < x \le x_i\right) = F\left(\frac{x_i - m_x}{\sigma}\right) - F\left(\frac{x_{i-1} - m_x}{\sigma}\right), \tag{10}$$

где $F(\ldots)$ – табулированная нормальная функция распределения, определяемая по табл. П1 в зависимости от величины аргумента.

Результаты расчетов целесообразно оформить в виде табл. 3.

Таблица 3

Промежуточные параметры, используемые при расчете критерия Пирсона

Интервал	Относительная частота P_i^*	Вероятность P_i	$\nu_i = \frac{\left(P_i^* - P_i\right)^2}{P_i}$
970 – 980	P_1^*	P_1	ν_1
980 – 990	P_2^*	P_2	ν_2
…	…	…	…

Гипотеза о нормальном законе распределения не противоречит статистическим данным, если $\chi^2 < \chi^2_\alpha$. Величина χ^2_α берется из табл. П2 для заданного уровня значимости α и числа степеней свободы $\nu = k - m - 1$, где k – число интервалов, а $m = 2$.

Метод вероятностных сеток. В общем случае график функции распределения *F(x)* представляет собой кривую линию (рис. 3).

Соответствующим преобразованием величин *F(x)* или x или обеих вместе удается сделать график прямолинейным.

Прямоугольная сетка, на которой график функции распределения представляет прямую линию, получила название *вероятностной сетки.* На рис. 4 показан преобразованный в прямую линию график функции нормального распределения, причем ордината S_F соответствует значению функции F, а абсцисса S_x – значению аргумента x**.** Шкала по оси абсцисс равномерная и строится с использованием соотношений

$$S_x = K_x x,\ K_x = \frac{L}{\Delta x}, \tag{11}$$

где L – принятая нами ширина графика, мм;

$$\Delta x = x_{\max} - x_{\min}.$$

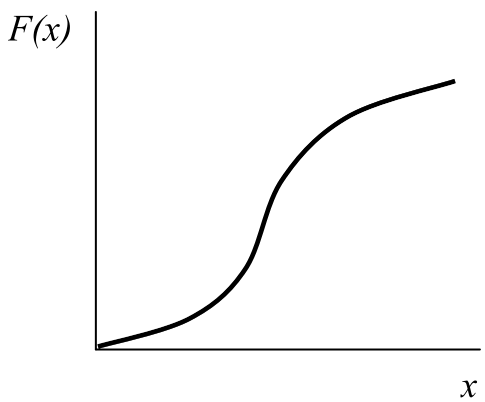


Рис. 3. График функции распределения

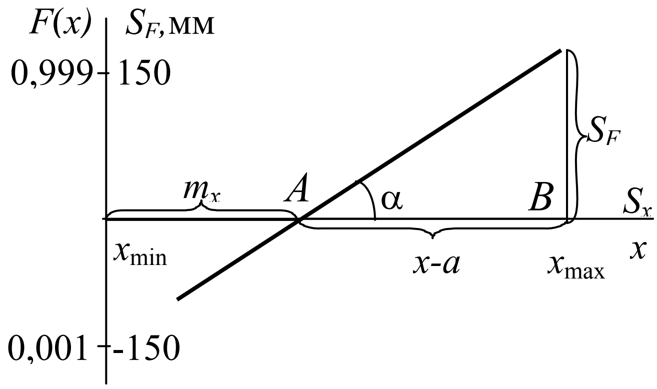


Рис. 4. График функции нормального распределения на вероятностной бумаге

Шкала на оси ординат неравномерная и строится с использованием соответствующей формулы или табл. П3, если длина шкалы равна 300 мм.

После построения шкал на вероятностную сетку наносят точки, соответствующие значениям функции распределения на границах разрядов.

Через точки проводят прямую таким образом, чтобы наибольшие отклонения точек от проведенной прямой были минимальными. Можно применить также метод наименьших квадратов.

Величина максимального ожидания m_x будет равна отрезку $x_{\min} A$ на оси абсцисс (см. рис. 4), а среднее квадратичное отклонение, если длина шкалы на оси ординат равна 300 мм, рассчитывают по формуле

$$\sigma = \frac{48{,}5}{K_x}\mathrm{ctg}\alpha\ . \qquad (12)$$

Гипотезу о нормальном законе распределения можно принять, если все точки лежат на проведенной прямой или если величина критерия Пирсона χ^2 будет малой, а соответствующая ей вероятность $\gamma > 0{,}8$ ($\alpha < 0{,}2$).

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя значения параметра качества, измеренные в каждом техпроцессе на трех линиях.
2. По данным измерений оформить контрольный лист (см. табл. 1) и свести в таблицу промежуточные результаты обработки экспериментальных данных (см. табл. 2).
3. Определить размах значений параметра, моду и медиану; рассчитать среднеарифметическое, статистическую дисперсию и среднеквадратическое отклонение.
4. Используя метод моментов или метод сеток, определить параметры нормального закона распределения.
5. Проверить согласованность гипотезы о нормальном законе распределения со статистическими данными, используя критерий χ^2 Пирсона.
6. Предварительно оценить стабильность техпроцессов, проходящих на различных линиях.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Три заданных ряда значений параметра качества.
3. Контрольный лист и таблица промежуточных результатов обработки экспериментальных данных для каждого ряда.

4. Значения размаха, моды и медианы.

5. Расчёт среднеарифметического, статистических дисперсий и среднеквадратического отклонения.

6. Графики гистограммы, теоретической кривой (совмещены) и кумулятивной вероятности.

7. Результаты проверки гипотезы о нормальном законе распределения.

8. Анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под законом распределения случайной величины?
2. Понятие о ряде, функции и плотности распределения случайной величины.
3. Как строят кумулятивную кривую, гистограмму?
4. Что понимается под методом моментов, методом вероятностных сеток?
5. В чем заключена основная идея критерия согласия Пирсона?

Лабораторная работа № 2

АНАЛИЗ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Цель работы. Изучение методов сравнения эквивалентности технологических процессов, происходящих на различных производственных линиях.

Содержание работы

1. Определение доверительного интервала для математического ожидания сопротивления партии резисторов по результатам контроля выборки (закон распределения нормальный).

2. То же для дисперсии.
3. Проверка гипотезы о равенстве дисперсий.
4. Проверка гипотезы о равенстве математических ожиданий.

Методические указания

В ряде случаев на производстве требуется знать, имеются ли различия в работе однотипного оборудования либо произошли ли изменения в работе оборудования с течением времени.

При одинаковой работе различных производственных линий, выпускающих однотипную продукцию, генеральные параметры качества продукции на различных линиях оказываются равными. Однако за счет случайных погрешностей выборочные параметры отличаются от генеральных.

Оценка этих отклонений носит вероятностный характер – можно лишь указать вероятность той или иной погрешности. Поэтому в математической статистике пользуются *доверительными интервалами и доверительными вероятностями.*

Пусть для генерального параметра C получена из опыта несмещенная оценка $\tilde{N}^*$. Требуется оценить возможную при этом ошибку. Назначим достаточно большую вероятность γ, такую, что событие с вероятностью γ можно считать *практически достоверным,* и найдем такое значение $\varepsilon = f(\gamma) = \varepsilon_\gamma$, для которого

$$P\left(\left|\tilde{N}^* - \tilde{N}\right| \le \varepsilon_\gamma\right) = \gamma. \qquad (1)$$

При этом интервал практически возможных значений ошибки, возникающей при замене C на $\tilde{N}^*$, будет $\pm\varepsilon_\gamma$. Вероятность того, что ошибка по абсолютной величине окажется большей чем $\pm\varepsilon_\gamma$, определяется по формуле $\alpha = 1 - \gamma$ и называется *уровнем значимости.* Выражение можно также интерпретировать как вероятность того, что истинное значение параметра α лежит в пределах

$$\tilde{N}^* - \varepsilon_\gamma \le \tilde{N} \le \tilde{N}^* + \varepsilon_\gamma.$$

Вероятность γ, называемая *доверительной вероятностью,* характеризует **надежность** полученной оценки и показывает вероятность попадания случайной величины в доверительный интервал $J_\gamma = \tilde{N}^* \pm \varepsilon_\gamma$. Границы интервала называются *доверительными границами.* Доверительный интервал определяет **точность** оценки.

Величина доверительного интервала зависит от доверительной вероятности, с которой гарантируется нахождение параметра C внутри доверительного интервала: чем больше величина γ, тем больше и величина ε_γ, т. е. чем с большей надежностью хотим гарантировать полученный результат, тем в большем интервале значений он может находиться.

Увеличение числа опытов проявляется в уменьшении доверительного интервала (повышении точности оценки) при постоянной доверительной вероятности или в повышении доверительной вероятности (повышении надежности) при сохранении доверительного интервала.

Доверительный интервал для математического ожидания m_R находят по неравенству

$$\overline{X} - \frac{S_X}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2} \le m_X \le \overline{X} + \frac{S_X}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2}, \qquad (2)$$

где $\overline{X}, S_X$ – среднеарифметическое и стандартное отклонение в выборке; n – объем выборки (задается преподавателем); α – уровень значимости; $t_{1-\alpha/2}$ – квантиль распределения Стьюдента, определяемый по уровню значимости α и числу степеней свободы $f = n - 1$ (табл. П4).

Доверительный интервал для дисперсии σ_X^2 при нормальном законе распределения

$$\frac{fS_X^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}} \le \sigma_X^2 \le \frac{fS_X^2}{\chi^2_{\alpha/2}}, \qquad (3)$$

где S_X^2 – выборочная дисперсия; $\chi^2_{1-\alpha/2}$, $\chi^2_{\alpha/2}$ – квантили распределения Пирсона, определяемые из табл. П2 по уровню значимости α и числу степеней свободы $f = n - 1$.

Сравнение дисперсий. При обработке наблюдений часто возникает необходимость сравнивать две выборочные дисперсии или несколько. Основная гипотеза, которая при этом проверяется: можно ли считать сравниваемые выборочные дисперсии оценками одной и той же генеральной дисперсии.

В качестве критерия значимости для сравнения двух дисперсий обычно используют критерий Фишера. Две дисперсии считаются равными с доверительной вероятностью γ, если выполняется неравенство

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(f_2, f_1)} \le \frac{S_{1X}^2}{S_{2X}^2} \le F_{1-\alpha/2}(f_1, f_2), \qquad (4)$$

где выборочные дисперсии определяются по формуле

$$S_{iX}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_i}\left(X_{ij} - \overline{X}_i\right)^2}{n_i - 1}, \quad i = 1, 2. \qquad (5)$$

$F_{1-\alpha/2}(f_1, f_2), F_{1-\alpha/2}(f_2, f_1)$ – квантили распределения Фишера, определяемые из табл. П5 в зависимости от уровня значимости α и чисел степеней свободы; n_1, n_2 – объемы выборок, задаваемые преподавателем.

При сравнении трех дисперсий выборок или более одинакового объема n используют критерий Кохрена. Расхождение между дисперсиями считается случайным при выбранном уровне значимости α, если

$$G < G_{1-\alpha}(m, f),$$

где $G_{1-\alpha}(m, f)$ – квантиль случайной величины G при числе суммируемых дисперсий m и числе степеней свободы $f = n - 1$.

Случайная величина

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^{m} S_i^2}. \qquad (6)$$

При сравнении трех дисперсий выборок или более различного объема обычно используют критерий Бартлета.

Сравнение двух средних. Для сравнения двух средних, полученных по выборкам из нормально распределенных генеральных совокупностей, применяют критерий Стьюдента (t-критерий).

Генеральные математические ожидания считаются равными, если выполняется неравенство

$$\left|\overline{X}_1 - \overline{X}_2\right| < t_{1-\alpha} S_X \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \tag{7}$$

при одностороннем критерии и

$$\left|\overline{X}_1 - \overline{X}_2\right| < t_{1-\alpha/2} S_X \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \tag{8}$$

при двустороннем критерии.

Средневзвешенная дисперсия

$$S_X^2 = \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{f}, \tag{9}$$

где $f = n_1 + n_2 - 2$ — число степеней свободы.

Порядок выполнения работы

1. Определить доверительные интервалы для математического ожидания и дисперсии при различных доверительных вероятностях γ, заданных преподавателем для трех линий. Результаты представить в графической форме.

2. Проверить однородность математических ожиданий и дисперсий параметра продукции, выпускаемой на линиях, при различных доверительных вероятностях, задаваемых преподавателем.

3. Дать анализ полученных результатов.

Содержание отчёта

1. Цель работы.

2. Результаты расчета доверительных интервалов для математического ожидания и дисперсии при различных доверительных вероятностях.

3. Графики зависимостей доверительных интервалов для математического ожидания и дисперсии от доверительных вероятностей.

4. Результаты оценки однородности математических ожиданий и дисперсий параметров продукции, выпускаемой на различных линиях.

5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под уровнем значимости, доверительной вероятностью, доверительным интервалом?
2. Чем определяется точность и надежность статистической оценки?
3. Как влияет доверительная вероятность на величину доверительного интервала, и наоборот?
4. Как влияет число опытов на доверительный интервал и доверительную вероятность?
5. Что понимается под квантилем распределения?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ ВЫПУСКАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Цель работы. Изучение методики дисперсионного анализа.

Содержание работы

1. Расчет внутригрупповой, межгрупповой и полной дисперсий.
2. Расчет критерия Фишера и определение эквивалентности технологических процессов, проходящих на различных линиях.

Методические указания

Задачей дисперсионного анализа является исследование влияния тех или иных факторов на изменчивость средних. *Факторами* обычно называются внешние условия, такие как температура, атмосферное давление, тип оборудования и т.п. Для оценки влияния производят разложение суммарной выборочной дисперсии на составляющие дисперсии, обусловленные действием независимых факторов. Чтобы решить, значимо ли влияние данного фактора, необходимо сравнить соответствующую выборочную дисперсию с дисперсией воспроизводимости, обусловленной действием случайных факторов. Сравнение проводится по критерию Фишера. Если расчётное значение критерия Фишера F_p меньше табличного F_T, определяемого по табл. П5 в зависимости от принятого уровня значимости P и чисел степеней свободы f_1 и f_2, то влияние фактора незначимо.

Для проведения дисперсионного анализа необходимо соблюдать следующие условия: результаты наблюдений должны быть независимыми случайными величинами, имеющими нормальное распределение и одинаковую дисперсию. Предположим, что мы ведём наблюдения за какой-то случайной величиной, например сопротивлением резисторов при разных температурах (разных условиях), которые будем называть уровнями. Все наблюдения можно представить в виде таблицы.

Для каждого уровня наблюдений вычисляем частную среднюю $\bar{x}_i$ и частную статистическую дисперсию S_i^2 ($i = 1, 2, \ldots, m$) и результаты заносим также в табл. 1.

Таблица 1

Результаты наблюдений и рассчитанные параметры выборок

Уровень	Наблюдение					Частная средняя	Частная дисперсия
	1	...	j	...	N		
1	x_{11}	...	x_{1j}	...	x_{1n}	$\bar{x}_1$	S_1^2
...	...	...	...	...	...	...	...
i	x_{i1}	...	x_{ij}	...	x_{in}	$\bar{x}_i$	S_i^2
...	...	...	...	...	...	...	...
m	x_{m1}	...	x_{mj}	...	x_{mn}	$\bar{x}_n$	S_n^2

Общая средняя арифметическая и общая статистическая дисперсия (СД), вычисленные по всем наблюдениям:

$$\overline{\overline{x}} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \overline{x_i}\,; \tag{1}$$

$$S^2 = \frac{1}{mn-1}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(x_{ij} - \overline{\overline{x}}\right)^2; \tag{2}$$

$$\overline{x_i} = \sum_{j=1}^{n} x_{ij} \big/ n\,. \tag{3}$$

При дисперсионном анализе общая статистическая дисперсия S^2 зависит от межгрупповой S_1^2 и внутригрупповой S_2^2 дисперсий.

Межгрупповая статистическая дисперсия S_1^2 характеризует разброс средних значений между уровнями; внутригрупповая статистическая дисперсия S_2^2 – разброс значений параметра внутри группы.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа удобно представить в виде таблицы.

Влияние внешнего фактора оценивают с помощью критерия Фишера. Расчетное значение критерия Фишера $F_p = \dfrac{S_1^2}{S_2^2}$. Табличное значение $F_{1-\frac{\alpha}{2}}$ находят по табл. П5 для заданного уровня значимости и степенях свободы $f_1 = m-1$ и $f_2 = m(n-1)$.

Если $F_p < F_{1-\frac{\alpha}{2}}$, то влияние фактора незначимо (исследуемый фактор не влияет на параметр продукции), и наоборот.

В табл. 2 записаны формулы, по которым ведут расчет числовых значений.

Таблица 2

Формулы для расчета дисперсий

Дисперсия	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат	Статистическая дисперсия
Межгрупповая	$n\sum\left(\overline{x}_i-\overline{\overline{x}}\right)^2$	$m-1$	$\frac{1}{m-1}\sum_i\left(\overline{x}_i-\overline{\overline{x}}\right)^2$	S_1^2
Внутригрупповая	$\sum_{ij}\left(x_{ij}-\overline{x}_i\right)^2$	$m(n-1)$	$\frac{1}{m(n-1)}\sum_{ij}\left(\overline{x}_i-x_{ij}\right)^2$	S_2^2
Полная (общая)	$\sum_{ij}\left(x_{ij}-\overline{\overline{x}}\right)^2$	$mn-1$	$\frac{1}{mn-1}\sum_{ij}\left(x_{ij}-\overline{\overline{x}}\right)^2$	—

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методом дисперсионного анализа.

2. Подготовить таблицы для записи результатов испытаний и расчетов.

3. Получить у преподавателя результаты измерений параметров продукции (сопротивления, емкости и т.п.) при различных значениях внешних факторов (температуры, концентрации раствора и т.п.).

4. Обработать полученные данные и провести дисперсионный анализ в соответствии с п. “Методические указания”.

Содержание отчёта

1. Цель и краткое содержание работы.

2. Таблица с исходными данными.

3. Расчеты среднеарифметических значений выборок.

4. Расчеты дисперсий.

5. Таблица с результатами расчетов.

6. Сравнение расчетного и табличного значений критерия Фишера (уровень значимости указывает преподаватель).

7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается цель дисперсионного анализа?
2. Какие условия необходимо соблюдать при проведении дисперсионного анализа?
3. Что понимается под внутригрупповой, межгрупповой и общей (полной) дисперсиями?
4. При каком условии влияние фактора считается значимым?
5. Когда применяется критерий Фишера?

Лабораторная работа № 4

АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ

Цель работы. Изучение методов анализа стабильности технологических процессов с помощью контрольных карт.

Содержание работы

1. Выявление грубых ошибок эксперимента по критерию Диксона.
2. Расчет границ регулирования контрольных карт $\bar{x}$, R, R_M и Me.
3. Построение контрольных карт $\bar{x}$, R, R_M и Me.
4. Анализ стабильности технологических процессов, проходящих на различных линиях.

Методические указания

Контрольная карта представляет собой отпечатанный на бумаге формуляр с сеткой из вертикальных и горизонтальных линий. По оси ординат откладывают измеренные значения признака качества (индивидуальные значения, среднеарифметическое, стандартное отклонение, размах и т.д.), а по оси абсцисс — порядковые номера выборок или время их отбора в ходе технологического процесса.

Измеренные значения и вычисленные по ним статистические характеристики отмечают в соответствующих местах контрольной карты точками или крестами. По совокупности точек и характеру их расположения относительно средней линии и границ судят о ходе технологического процесса.

Верхними и нижними границами контрольной карты могут быть статистические границы регулирования $K_{\text{В}}$ и $K_{\text{Н}}$ или установленные пределы контролируемого параметра качества. Обозначим верхний и нижний уровни через $T_{\text{В}}$ и $T_{\text{Н}}$ соответственно. Расстояние между ними $T_{\text{доп}} = 2\varepsilon$ является полем допуска. Середину поля допуска обозначим через $T_{\text{С}}$.

Существует два варианта *установления границ регулирования* контрольной карты.

Первый вариант применяется, когда технические нормы на параметр качества x неизвестны, т. е. неизвестны $M(x)$ и σ. В этом случае процесс анализируется и опытным путем устанавливаются номинальное значение параметра и допуск, в котором должен протекать процесс.

Второй вариант применяется в том случае, когда технические нормы $M(x)$ и σ известны. Поле допуска должно составлять $T_{\text{доп}} = T_{\text{В}} - T_{\text{Н}} = 6\sigma$. Такую ширину поля допуска называют *статистическим допуском*. При исследовании работы оборудования статистический допуск характеризует точность его работы (минимально допустимое изменение параметра изделия, которое может быть получено на данном оборудовании). Оборудование, имеющее статистический допуск, производит в среднем 0,27 % бракованных деталей.

Если технологический процесс отлажен и протекает стабильно, то, как правило, выполняются условия центральной предельной теоремы и контролируемые параметры распределены по гауссовскому закону или близкому к нему.

При контроле технологических процессов производства электронных средств (ЭС) широко применяются производственные контрольные карты (двойные карты), под которыми понимается $\bar{x}$-карта, действующая в совокупности с s- или R-картой. Ее часто называют *классической* контрольной картой. Преимущества двойных карт заключаются в наглядности изображения процесса, простоте принятия решения, достоверности вывода относительно величины рассеяния значений контролируемого параметра.

По двойной карте можно непрерывно следить за составляющими общей дисперсии – рассеянием внутри выборок (внутригрупповая дисперсия) с помощью R-карты (s-карты), рассеянием между значениями $\overline{x}$ различных выборок (межгрупповая дисперсия) с помощью $\overline{x}$-карты. Процесс считается лишь тогда статистически управляемым, когда об этом свидетельствуют оба типа карт. Вывод, сделанный по $\overline{x}$-карте, до тех пор не будет иметь значения, пока по R- или s-карте процесс не станет статистически управляемым.

Для выполнения вычислений, необходимых при ведении классической $\overline{x}$–R-карты (или $\overline{x}$–s-карты), наблюдаемые значения контролируемого параметра качества заносятся в табл. 1.

В соответствии с планом контроля производится n измерений признака x, которые заносятся в табл. 1. По суммам измеренных значений в каждой выборке $\sum_{i=1}^{n} x_i$ вычисляют $\overline{x}$ и R.

Значения $\overline{x}$ и R наносят на контрольную карту. Прежде чем подсчитывать значения средней линии и границ регулирования $\overline{x}$–R-карты, крайние значения ранжированных $\overline{x}$- и R-рядов проверяют на однородность по критерию, дополняющему контрольную карту. Только после того, как подтвердилось, что крайние значения принадлежат к данной совокупности, определяют границы регулирования и среднюю линию контрольной карты. Если какие-либо значения $\overline{x}$ или R из табл. 1 выходят за найденные границы регулирования, то эти значения исключают из общей совокупности. Затем заново вычисляют среднюю линию и границы регулирования. Аналогичную работу продолжают до тех пор, пока при сравнении данных табл. 1 с новыми границами регулирования не окажется, что все значения $\overline{x}$ и R находятся в пределах вычисленных границ. Значения средней линии и границ регулирования наносят на соответствующие контрольные карты.

Этим заканчивают предварительное исследование и определяют технические нормы на изготовление изделия.

Таблица 1

Первичные данные для построения $\overline{x}$ –R-карты

Цех____________Машина_____________Дата__________________________
Изделие________Операция____________Контролируемый размер_______
Рабочий________Вид контроля_________Контроллер___________________

Номер выборки	Время выборки	Значение контролируемого параметра в выборке							$\sum_{i=1}^{n} x_i$	$\overline{x}$	R	Замечания
		x_1	x_2	x_3	…	x_i	…	x_n				

Недостатки $\overline{x}$–R- и $\overline{x}$–s-карт – проведение большой предварительной работы по составлению таблиц типа табл. 1 и большое количество вычислительных операций для нанесения результатов контроля на карту.

Разработанные позже классической контрольной карты R_M–R- и Me–R-карты лишены указанного недостатка. Они практически не требуют вычислений. Однако они менее эффективны, потому что среднеарифметическая заменяется в них серединой размахов R_M или медианой Me, что снижает точность контрольных карт до 15 – 20 %. По чувствительности R_M-карта занимает среднее положение между $\overline{x}$-картой и картой медиан. Значения параметра качества x_i, минуя таблицу, непосредственно наносятся на контрольную карту. Средние линии на R_M-, Me-, R-картах несложно подсчитать. На практике, однако, их обычно проводят на глаз с помощью линейки и обозначают волнистой чертой над символами $\tilde{R}_M$, $\widetilde{Me}$, $\tilde{R}$. Вычисление границ регулирования для обоих видов контрольных карт производится так же, как и для R-карты.

При трехсигмовых границах регулирования и неизвестном δ для вычисления $K_В$ и $K_Н$ были предложены следующие формулы:

для $\overline{x}$-карты $K_В = \overline{\overline{x}} + A_2\tilde{R}$, $K_Н = \overline{\overline{x}} - A_2\tilde{R}$, (1)

где $\overline{\overline{x}} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\overline{x}_i$ – общее среднеарифметическое, а $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_j$ – выборочное среднее;

для R_M-карты $\quad K_В = \tilde{R}_M + A_3\tilde{R}$, $K_Н = \tilde{R}_M - A_3\tilde{R}$; (2)

для Me-карты $\quad K_В = \tilde{Me} + A_4\tilde{R}$, $K_Н = \tilde{Me} - A_4\tilde{R}$; (3)

для R-карты $\quad K_В = D_6\tilde{R}$, $K_Н = D_5\tilde{R}$, (4)

где A_2, A_3, A_4 и D_5, D_6 — значения коэффициентов для определения границ регулирования, которые находят по табл. 2 в зависимости от объема выборок n.

Если технические нормы на контролируемый параметр известны, то в (2) и (3) для подсчета верхней и нижней границ регулирования вместо $\tilde{R}_M$ и $\tilde{Me}$ можно использовать значение $T_С$.

После того как средние линии и границы регулирования нанесены на карты, анализ и контроль технологического процесса не представляют труда. Величины $\tilde{R}_M$ и $\tilde{Me}$ можно быстро определить на карте. При заданных технических нормах на изготовление можно тотчас приступить к настройке оборудования и управлению технологическим процессом.

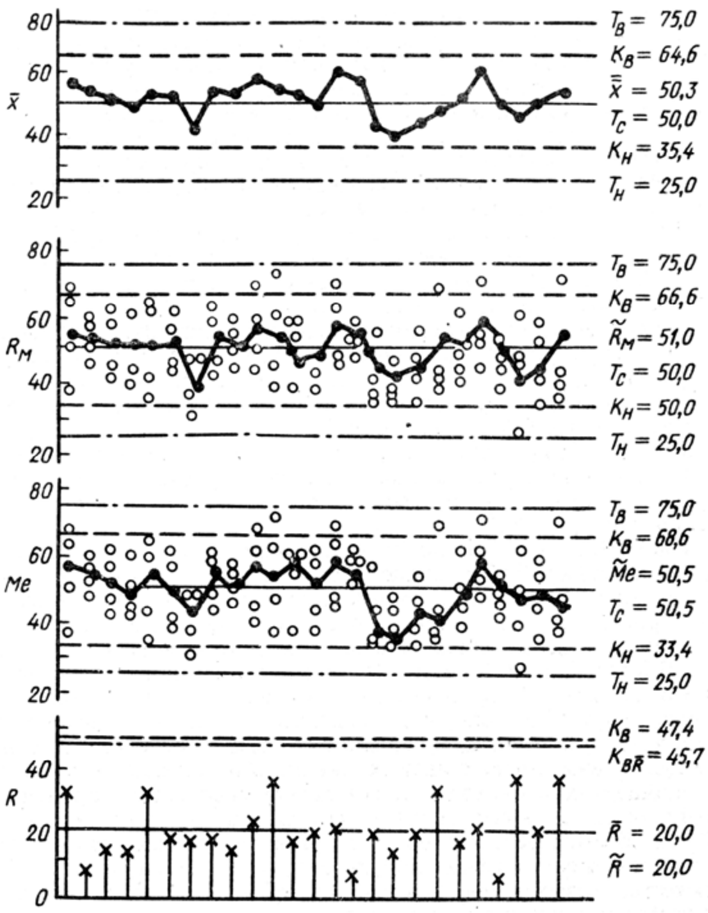
Таблица 2

Коэффициенты для определения границ регулирования RM–R- и Me–R-карт

n	A_2	A_3	A_4	D_5	D_6
2	1,180	2, 224	2, 232	0	3, 865
3	1,023	1, 137	1, 264	0	2, 745
4	0,729	0, 828	0, 828	0	2, 375
5	0,577	0, 679	0, 712	0	2, 179
6	0,483	0, 590	0, 562	0	2, 055
7	0,419	0, 530	0, 519	0, 078	1, 967
8	0,373	0, 486	0, 442	1, 139	1, 901
9	0,337	0, 453	0, 419	0, 187	1, 850
10	0,308	0, 427	0, 368	0, 227	1, 809

На рисунке для сравнения приведено изображение одного и того же процесса на двойных картах различного типа. Если значения x_i имеют гауссовское распределение, то при достаточно большом объеме выборки $\bar{x} = \tilde{R}_M = \tilde{Me}$.

Для повышения чувствительности карт вводят двухсигмовые предупредительные границы регулирования и наблюдение за смещением центра группирования.



Изображение одного и того же процесса на $\bar{x}$–R-, R_M– R- и Me–R-картах

При применении контрольных карт пользуются, как правило, текущими выборками постоянного объема *n*. В этом случае требование случайности отбора изделий из генеральной совокупности исключается, так как единицы продукции текущей выборки отбирают с соблюдением последовательности изготовления. При этом объем выборки *n* должен быть как можно меньше, чтобы выборка отражала только рассеяние, присущее процессу, а не его систематическую деградацию за счет, например, износа резца, загрязнения фильтра, насыщения химического раствора примесями и т.д. Период между выборками должен назначаться таким, чтобы можно было проследить характер изменения процесса. Самым приемлемым как с экономической, так и с технической точки зрения считается объем выборки $n = 4$. На практике чаще всего пользуются объемом $n = 5$. Для успешного внедрения на практике контрольных карт важно не только овладеть техникой их составления и ведения, но, что значительно важнее, научиться правильно «читать» карту.

Обычно на практике, если результаты последовательных выборок вышли за границы регулирования, технологический процесс считается отклонившимся от нормы. В таких случаях мастер, как правило, немедленно сообщает о необходимости поиска причин нарушения технологического процесса. Однако контрольные карты позволяют заблаговременно обнаружить эти нарушения.

Предположим, что среднее значение параметра, например 30-й выборки, вышло за контрольные пределы, но еще задолго до этой выборки мастер по падающему (или возрастающему) характеру расположения соседних значений точек выборок мог сделать вывод о начале нарушения нормального режима работы. Другим типом предупреждения может служить слишком длительный выброс точек от средней линии. Любое необычное расположение точек на графике позволяет предположить, что нарушился установленный режим работы. В ряде случаев этих предположений достаточно, чтобы предпринять поиск причин нарушения технологического процесса.

Отметим, что *контрольную карту следует рассматривать лишь как средство обнаружения отклонения, но при этом окончательные выводы о нарушении технологического процесса могут быть сделаны только с помощью специальных критериев,* которыми дополняются контрольные карты.

Приведем некоторые из предупреждающих сигналов нарушения технологического процесса:

- точка вне контрольных пределов;
- расположение двух последовательных (или двух из трех последовательных) точек за двухсигмовым пределом;
- выброс последовательных точек по одну сторону от средней линии или наличие группы точек, значительная часть которых находится по одну сторону от среднего значения.
- выход за двухсигмовый предел двух последовательных точек или, например, двух из трех последовательных точек является критерием возможного нарушения технологического процесса, даже если они расположены в контрольных пределах.

Вот почему на контрольные карты помимо верхнего и нижнего трехсигмовых контрольных пределов, как уже отмечалось, иногда наносят так называемые предупредительные двухсигмовые пределы.

Не во всех случаях специфические картины расположения контрольных точек свидетельствуют о нарушении технологического процесса. Каждый раз, прежде чем принять решение о поиске этих нарушений, экстремальные точки следует проверять с помощью специальных критериев, дополняющих контрольные карты.

Простым критерием, дополняющим $\bar{x}$-карту, является критерий Стьюдента. С помощью этого критерия можно выяснить, значительно ли отклоняется наибольшее среднее значение от наименьшего. Однако нельзя выяснить, является ли наибольшее значение слишком большим, а наименьшее слишком малым. Поэтому на практике чаще применяют *критерий Диксона.*

При использовании критерия Диксона необходимо выписать значения $\bar{x}$ для нескольких последовательных контрольных точек, находящихся рядом с исследуемой экстремальной точкой, и разложить их (включая экстремальное значение *x)* в ранжированный ряд. Затем вычисляется один из коэффициентов Диксона, приведенных в табл. 3, в зависимости от числа выборок k и от того, проверяется ли наибольшее или наименьшее экстремальное значение. В случае рассмотрения n изделий, а не k выборок в приведенных в табл. 3 формулах k заменяется на n. Полученный коэффициент Диксона сравнивают с его табличным значением, учитывающим экстремальные значения при заданной достоверности (табл. П6). Если расчетный коэффициент для экстремального значения меньше табличного, то значение исследуемой экстремальной точки не отличается от ожидаемого значения для гауссовского распределения. Следовательно, такая точка не указывает на нарушение технологического процесса. Все рассмотренное справедливо при условии, что имеется только одна экстремальная односторонняя точка (при одновременном наличии наибольшей и наименьшей экстремальных точек считается, что одностороннее экстремальное значение одно). При наличии двух (или более) односторонних экстремальных значений Диксон предложил использовать соответствующий коэффициент для проверки значимости экстремального значения (табл. 4). Таким образом, использование того или иного коэффициента зависит не только от количества выборок *k,* но и от числа подозрительных «чужеродных» точек на одном конце ряда (см. табл. 4).

Таблица 3

Выражения для подсчета экстремальных значений коэффициентов Диксона

Число выборок	Обозначение коэффициента Диксона	Формула экстремального значения	
		наименьшего	наибольшего
3 – 7	r_{10}	$\frac{x_2 - x_1}{x_k - x_1}$	$\frac{x_k - x_{k-1}}{x_k - x_1}$
8 – 10	r_{11}	$\frac{x_2 - x_1}{x_{k-1} - x_1}$	$\frac{x_k - x_{k-1}}{x_k - x_2}$
11 – 13	r_{21}	$\frac{x_3 - x_1}{x_{k-1} - x_1}$	$\frac{x_k - x_{k-2}}{x_k - x_2}$
14 – 30	r_{22}	$\frac{x_3 - x_1}{x_{k-2} - x_2}$	$\frac{x_k - x_{k-2}}{x_k - x_3}$
3 – 10 (для 2 точек и более)	r_{20}	$\frac{x_3 - x_1}{x_k - x_1}$	$\frac{x_k - x_{k-2}}{x_k - x_1}$

Таблица 4

Использование коэффициентов Диксона в зависимости от k (или n) и от числа «чужеродных» точек

k или *n*	Число «чужеродных» точек	
	1	2 или более
3 – 7	r_{10}	r_{20}
8 – 10	r_{11}	r_{20}
11 – 13	r_{21}	r_{21}
14 – 30	r_{22}	r_{22}

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя значения контролируемого параметра качества, измеренного в выборках объемом $n = 5$, получаемых через 20 мин на трех однотипных производственных линиях.

2. Расположить значения параметра качества в каждой выборке в ранжированном порядке. Проверить крайние значения на однородность, используя критерий Диксона. Если условия однородности для отдельных точек не выполняются, то эти точки необходимо исключить из дальнейшего рассмотрения.

3. Вычислить $\bar{x}$, R, R_M и Me в каждой выборке и рассчитать значение размаха по x_i и R_i для каждой из трех линий.

4. По формулам 1 – 4 рассчитать границы регулирования и средние линии контрольных карт.

5. Построить контрольные карты $\bar{x}$, R, R_M и Me для каждой из трех линий. Провести на картах двухсигмовые границы.

6. Проанализировать контрольные карты и дать заключение о стабильности технологического процесса на каждой из трех линий по среднему значению параметра качества и его размаху.

7. Сравнить карты $\bar{x}$, R, R_M и Me и сделать выводы.

Содержание отчета

1. Цель и краткое содержание работы.

2. Результаты измерения параметра качества продукции, выпускаемой на трех линиях (исходные данные для обработки).

3. Значения параметра качества, представленные в виде ранжированных рядов по выборкам, сведенные в таблицу (для трех линий).

Номер выборки	Параметр качества					Критерий Диксона	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	для x_1	для x_5
1							
2							
3							
…							

Примечание. $x_1 \le x_2 \le x_3 \le x_4 \le x_5$ – критические значения критерия Диксона.

4. Значения параметра качества продукции после исключения промахов и результаты расчетов, представленные в виде таблицы для трех линий.

Номер выборки	Параметр качества					$\bar{x}$	R	R_M	Me
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5				
1 2 3 …									

5. Расчёт $\bar{x}$, R и границ регулирования для контрольных карт.

6. Результат построения $\bar{x}$, R, R_M и Me контрольных карт (по 4 карты для каждой линии).

7. Анализ контрольных карт и выводы о стабильности технологических процессов, протекающих на каждой из трех линий.

Контрольные вопросы

1. Что такое контрольная карта? Зачем она нужна?
2. Для каких параметров строят контрольные карты? В чем отличие $\bar{x}$, R, R_M и Me контрольных карт?
3. Что такое границы регулирования? Как они определяются?
4. Критерии нарушения стабильности и точности технологического процесса.
5. Критерий Диксона и его использование.
6. Контрольные карты для качественных признаков.

Лабораторная работа № 5

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУКЦИИ, ВЫПУСКАЕМОЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЛИНИЯХ

Цель работы. Изучение методики корреляционного анализа. Определение наличия корреляционной связи.

Содержание работы

1. Расчет коэффициента корреляции параметров продукции, выпускаемой на различных линиях.

2. Установление корреляционной связи параметров продукции, выпускаемой на различных линиях, по коэффициенту корреляции.

3. Установление корреляционной связи параметров продукции, выпускаемой на различных линиях, по контрольным картам, построенным в предыдущей работе.

4. Сравнение результатов оценки корреляционной связи, полученных различными методами.

Методические указания

Корреляционная связь показывает наличие зависимости среднего значения одного параметра от другого параметра. При этом определенному значению одного параметра соответствует некоторое распределение другого параметра. Чем меньше оказывается разброс значений второго параметра при конкретном значении первого, тем выше корреляционная связь.

Степень корреляционной связи оценивают коэффициентом корреляции

$$r = \frac{K_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}, \qquad (1)$$

где K_{XY} – корреляционный момент; σ_X, σ_Y – средние квадратичные отклонения одного (X) и второго (Y) параметров.

Корреляционный момент K_{XY} представляет собой математическое ожидание произведения центрированных величин X и Y, т.е.

$$K_{XY} = M\left[(\dot{X})(\dot{Y})\right] = M\left[(X - m_X)(Y - m_Y)\right]. \qquad (2)$$

При известных значениях случайных величин коэффициент корреляции рассчитывают по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})(y_i - \overline{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \overline{x})^2 \cdot \sum_i (y_i - \overline{y})^2}}. \qquad (3)$$

Знак «минус» при коэффициенте корреляции показывает, что связь обратная, т.е. при увеличении одного параметра второй уменьшается.

Близость коэффициента корреляции к нулю указывает на отсутствие связи, а близость к ±1 – на функциональную связь между параметрами. Однако при отсутствии связи между параметрами за счет чисто случайных причин коэффициент корреляции почти всегда на какую-то величину отличается от нуля.

Чтобы с определенной вероятностью утверждать наличие корреляционной связи, пользуются критерием Стьюдента. Для этого вычисляют

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r}}\sqrt{n-2} \tag{4}$$

и оценивают полученное значение t при данном числе степеней свободы $v = n - 2$, сравнивая его с табличным значением критерия Стьюдента t_γ для заданной доверительной вероятности γ (табл. П7). Если $t < t_\gamma$, то корреляционная связь между рассматриваемыми параметрами отсутствует.

Порядок выполнения работы

1. Рассчитать коэффициент корреляции для линий 1 – 2, 2 – 3 и 1 – 3.
2. Оценить значения коэффициента корреляции с помощью критерия Стьюдента.
3. Дать заключение о наличии корреляционной связи. Сравнить контрольные карты для линий, между которыми выявлена корреляционная связь и между которыми корреляционная связь отсутствует (по картам, построенным в предыдущей работе).

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Исходные данные для анализа.

3. Рассчитанные значения коэффициентов корреляции и критериев Стьюдента.

4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается цель корреляционного анализа?
2. Что понимают под корреляционным моментом, коэффициентом корреляции?
3. Как рассчитывают коэффициент корреляции?
4. При каком значении коэффициента корреляции можно говорить о наличии корреляционной связи?
5. Как с помощью контрольных карт оценить корреляционную связь параметров?

ПРИЛОЖЕНИЕ

*Таблица П*1

Значение функции Лапласа $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-x2/2} dx$

x	Ф(*x*)	***x***	Ф(*x*)	***x***	Ф(*x*)	***x***	Ф(*x*)
0,00	0,0000	0,30	0,1179	0,60	0,2257	0,90	0,3159
0,01	0,0040	0,31	0,1217	0,61	0,2291	0,91	0,3186
0,02	0,0080	0,32	0,1255	0,62	0,2324	0,92	0,3212
0,03	0,0120	0,33	0,1293	0,63	0,2357	0,93	0,3238
0,04	0,0160	0,34	0,1331	0,64	0,2389	0,94	0,3264
0,05	0,0199	0,35	0,1368	0,65	0,2422	0,95	0,3289
0,06	0,0239	0,36	0,1406	0,66	0,2454	0,96	0,3315
0,07	0,0279	0,37	0,1443	0,67	0,2484	0,97	0,3340
0,08	0,0319	0,38	0,1480	0,68	0,2517	0,98	0,3365
0,09	0,0359	0,39	0,1517	0,69	0,2549	0,99	0,3389
0,10	0,0398	0,40	0,1554	0,70	0,2580	1,00	0,3413
0,11	0,0438	0,41	0,1591	0,71	0,2611	1,01	0,3438
0,12	0,0478	0,42	0,1628	0,72	0,2642	1,02	0,3461
0,13	0,0517	0,43	0,1664	0,73	0,2674	1,03	0,3485
0,14	0,0557	0,44	0,1700	0,74	0,2703	1,04	0,3508
0,15	0,0596	0,45	0,1736	0,75	0,2734	1,05	0,3531
0,16	0,0636	0,46	0,1772	0,76	0,2764	1,06	0,3554
0,17	0,0675	0,47	0,1808	0,77	0,2794	1,07	0,3577
0,18	0,0714	0,48	0,1844	0,78	0,2823	1,08	0,3599
0,19	0,0753	0,49	0,1879	0,79	0,2852	1,09	0,3621
0,20	0,0793	0,50	0,1915	0,80	0,2881	1,10	0,3643
0,21	0,0832	0,51	0,1950	0,81	0,2910	1,11	0,3665
0,22	0,0871	0,52	0,1985	0,82	0,2939	1,12	0,3686
0,23	0,0910	0,53	0,2019	0,83	0,2967	1,13	0,3708
0,24	0,0948	0,54	0,2054	0,84	0,2995	1,14	0,3729
0,25	0,0987	0,55	0,2088	0,85	0,3023	1,15	0,3749
0,26	0,1026	0,56	0,2123	0,86	0,3051	1,16	0,3770
0,27	0,1064	0,57	0,2157	0,87	0,3078	1,17	0,3790
0,28	0,1103	0,58	0,2190	0,88	0,3106	1,18	0,3810
0,29	0,1141	0,59	0,2224	0,89	0,3133	1,19	0,3830

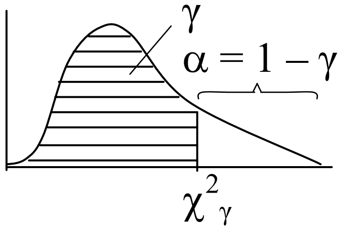
Примечание. Функция нормального закона распределения $F(x)$ находится по выражениям $F(-x) = 0,5 - \Phi(x)$, $F(x) = 0,5 + \Phi(x)$.

Окончание табл. П1

x	Ф(x)	x	Ф(x)	x	Ф(x)	x	Ф(x)
1,20	0,3849	1,55	0,4394	1,90	0,4713	2,50	0,4938
1,21	0,3869	1,56	0,4406	1,91	0,4719	2,52	0,4941
1,22	0,3883	1,57	0,4418	1,92	0,4729	2,54	0,4945
1,23	0,3907	1,58	0,4429	1,93	0,4732	2,56	0,4948
1,24	0,3925	1,59	0,4441	1,94	0,4738	2,58	0,4951
1,25	0,3944	1,60	0,4452	1,95	0,4744	2,60	0,4953
1,26	0,3962	1,61	0,4463	1,96	0,4750	2,62	0,4956
1,27	0,3980	1,62	0,4474	1,97	0,4756	2,64	0,4959
1,28	0,3997	1,63	0,4484	1,98	0,4761	2,66	0,4961
1,29	0,4015	1,64	0,4495	1,99	0,4767	2,68	0,4963
1,30	0,4032	1,65	0,4505	2,00	0,4772	2,70	0,4965
1,31	0,4049	1,66	0,4515	2,02	0,4783	2,72	0,4967
1,32	0,4066	1,67	0,4525	2,04	0,4793	2,74	0,4969
1,33	0,4082	1,68	0,4535	2,06	0,4803	2,76	0,4971
1,34	0,4099	1,69	0,4545	2,08	0,4812	2,78	0,4973
1,35	0,4115	1,70	0,4554	2,10	0,4821	2,80	0,4974
1,36	0,4131	1,71	0,4567	2,12	0,4830	2,82	0,4976
1,37	0,4147	1,72	0,4573	2,14	0,4838	2,84	0,4977
1,38	0,4162	1,73	0,4582	2,16	0,4846	2,86	0,4979
1,39	0,4177	1,74	0,4591	2,18	0,4854	2,88	0,4980
1,40	0,4192	1,75	0,4599	2,20	0,4861	2,90	0,4981
1,41	0,4207	1,76	0,4608	2,22	0,4868	2,92	0,4982
1,42	0,4222	1,77	0,4616	2,24	0,4875	2,94	0,4984
1,43	0,4236	1,78	0,4625	2,26	0,4881	2,96	0,49846
1,44	0,4251	1,79	0,4633	2,28	0,4887	2,98	0,49856
1,45	0,4265	1,80	0,4641	2,30	0,4893	3,00	0,49865
1,46	0,4279	1,81	0,4649	2,32	0,4898	3,20	0,49931
1,47	0,4292	1,82	0,4656	2,34	0,4904	3,40	0,49966
1,48	0,4306	1,83	0,4664	2,36	0,4909	3,60	0,49984
1,49	0,4319	1,84	0,4671	2,38	0,4913	3,80	0,499928
1,50	0,4332	1,85	0,4678	2,40	0,4918	4,00	0,499968
1,51	0,4345	1,86	0,4686	2,42	0,4922	5,00	0,499997
1,52	0,4357	1,87	0,4693	2,44	0,4927		
1,53	0,4370	1,88	0,4699	2,46	0,4931		
1,54	0,4382	1,89	0,4706	2,48	0,4934		

Таблица П2

Квантили χ^2_α распределения Пирсона



Число степеней свободы f	Квантиль при уровне значимости α						
	0,005	0,010	0,025	0,050	0,100	0,250	0,500
1	0,00004	0,00016	0,00098	0,00393	0,01579	0,1015	0,4549
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,1026	0,207	0,5754	1,386
3	0,0717	0,1148	0,2158	0,3518	0,5844	1,213	2,366
4	0,2070	0,2971	0,4844	0,7107	1,064	1,923	3,357
5	0,4117	0,5543	0,8312	1,145	1,610	2,675	4,351
6	0,6757	0,8721	1,2373	1,635	2,204	3,455	5,348
7	0,9893	1,239	1,690	2,167	2,833	4,255	6,346
8	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	5,071	7,344
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	5,899	8,343
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	6,737	9,342
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	7,584	10,34
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	8,438	11,34
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,041	9,299	12,34
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	10,17	13,34
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	11,04	14,34
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	11,91	15,34
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,09	12,79	16,34
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,86	13,68	17,34
19	6,844	7,633	8,907	10,12	11,65	14,56	18,34
20	7,434	8,260	9,591	10,85	12,44	15,45	19,34
21	8,034	8,897	10,28	11,59	13,24	16,34	20,34
22	8,643	9,542	10,98	12,34	14,04	17,24	21,34
23	9,260	10,20	11,69	13,09	14,85	18,14	22,34
24	9,886	10,86	12,40	13,85	15,66	19,04	23,34
25	10,52	11,52	13,12	14,61	16,47	19,94	24,34
30	13,79	14,95	16,79	18,49	20,60	24,48	29,34
40	20,71	22,16	24,43	26,51	29,05	33,66	39,34
50	27,99	29,71	32,36	34,76	37,69	42,94	49,33
60	35,53	37,48	40,48	43,19	46,46	52,29	59,33
80	51,17	53,54	57,15	60,39	64,28	71,14	79,33
100	67,33	70,06	74,22	77,93	82,36	90,13	99,33

Таблица П3

Вероятностная шкала для нормального распределения

F	S_F	F	S_F
0,50	0	0,94	75,4
0,52	2,4	0,95	79,8
0,54	4,8	0,955	82,3
0,56	7,3	0,960	85,0
0,58	9,8	0,965	88,0
0,60	12,3	0,970	91,2
0,62	14,8	0,975	95,0
0,64	17,4	0,980	99,6
0,66	20,0	0,985	106,2
0,68	22,7	0,990	112,9
0,70	25,4	0,991	114,8
0,72	28,3	0,992	116,9
0,74	31,2	0,993	119,0
0,76	34,2	0,994	121,9
0,78	37,4	0,995	124,9
0,80	40,8	0,9955	126,7
0,82	44,4	0,9960	128,7
0,84	48,2	0,9965	131,0
0,86	52,4	0,9970	133,2
0,88	57,0	0,9975	136,2
0,90	62,2	0,9980	139,5
0,91	65,0	0,9985	144,9
0,92	68,1	0,9990	150,0
0,93	71,5		

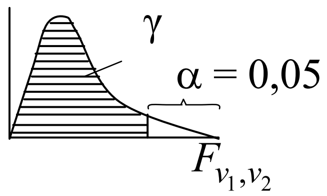
Примечание. Для $F < 0{,}50$. $S_F = -S_{1-F}$.

Таблица П4

Квантили распределения Стьюдента $t_{1\text{-}\alpha/2}$

Число степеней свободы f	Квантиль при уровне значимости α						
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,001
1	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66	127,32	636,62
2	1,89	2,92	4,30	6,97	9,93	14,90	31,60
3	1,64	2,35	3,18	4,54	5,85	7,45	12,94
4	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60	5,60	8,61
5	1,48	2,02	2,57	3,37	4,03	4,77	6,86
6	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71	4,32	5,96
7	1,42	1,90	2,37	3,00	3,50	4,03	5,41
8	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	3,83	5,04
9	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78
10	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17	3,58	4,59
11	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11	3,50	4,44
12	1,36	1,78	2,18	2,68	3,06	3,43	4,32
13	1,35	1,77	2,16	2,65	3,01	3,37	4,22
14	1,34	1,76	2,15	2,62	2,98	3,33	4,14
15	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95	3,29	4,07
16	1,34	1,75	2,12	2,58	2,92	3,25	4,02
17	1,33	1,74	2,11	2,57	2,90	3,22	3,97
18	1,33	1,73	2,10	2,55	2,88	3,20	3,92
19	1,33	1,73	2,09	2,54	2,86	3,17	3,88
20	1,33	1,73	2,09	2,53	2,85	3,15	3,85
21	1,32	1,72	2,08	2,52	2,83	3,14	3,82
22	1,32	1,72	2,07	2,51	2,82	3,12	3,79
23	1,32	1,71	2,07	2,50	2,81	3,10	3,77
24	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80	3,09	3,75
25	1,32	1,71	2,06	2,48	2,79	3,08	3,73
26	1,32	1,71	2,06	2,48	2,78	3,07	3,71
27	1,31	1,70	2,05	2,47	2,77	3,06	3,69
28	1,31	1,70	2,05	2,47	2,76	3,05	3,67
29	1,31	1,70	2,04	2,46	2,76	3,04	3,66
30	1,31	1,70	2,04	2,46	2,75	3,03	3,65
40	1,30	1,68	2,02	2,42	2,70	2,97	3,55
60	1,30	1,67	2,00	2,39	2,66	2,91	3,46
120	1,29	1,66	1,98	2,36	2,62	2,86	3,37

Таблица П5



Квантили $F_{1-\frac{\alpha}{2}}$ распределения Фишера

Число степеней свободы f_1	Квантиль при числе степеней свободы f_2														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	60	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	245,9	248,0	250,1	252,2	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,43	19,45	19,46	19,48	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,70	8,66	8,62	8,57	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,86	5,80	5,75	5,69	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,62	4,56	4,50	4,43	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	3,94	3,87	3,81	3,74	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,51	3,44	3,38	3,30	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,22	3,15	3,08	3,01	3,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,01	2,94	2,86	2,79	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,85	2,77	2,70	2,62	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,72	2,65	2,57	2,49	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,62	2,54	2,47	2,38	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,53	2,46	2,38	2,30	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,46	2,39	2,31	2,22	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,40	2,33	2,26	2,16	2,07
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,20	2,12	2,04	1,95	1,84
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,01	1,93	1,84	1,74	1,62
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,84	1,75	1,65	1,53	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,75	1,66	1,55	1,43	1,25
∞	3,64	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,67	1,57	1,46	1,32	1,00

Примечание. Значения в таблице приведены для доверительной вероятности γ = 0,95 (α = 0,05).

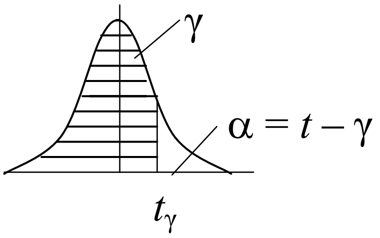
Таблица П6

Коэффициенты Диксона, учитывающие экстремальные значения x при заданных значениях коэффициента риска β

k	β				Обозначение коэффициента Диксона
	0,10	0,05	0,01	0,005	
3	0,889	0,941	0,988	0,994	r_{10}
4	0,679	0,765	0,899	0,926	
5	0,557	0,642	0,780	0,821	
6	0,482	0,560	0,698	0,740	
7	0,434	0,507	0,637	0,680	
8	0,479	0,554	0,683	0,725	r_{11}
9	0,441	0,512	0,635	0,677	
10	0,409	0,477	0,597	0,639	
4	0,935	0,967	0,992	0,996	r_{20}
5	0,782	0,845	0,929	0,950	
6	0,670	0,736	0,838	0,865	
7	0,596	0,661	0,778	0,814	
8	0,545	0,607	0,710	0,746	
9	0,505	0,565	0,667	0,700	
10	0,474	0,531	0,632	0,664	
11	0,517	0,576	0,679	0,713	r_{21}
12	0,490	0,546	0,642	0,675	
13	0,467	0,521	0,615	0,649	
14	0,492	0,546	0,641	0,674	r_{22}
15	0,472	0,525	0,616	0,647	
16	0,454	0,507	0,595	0,624	
17	0,438	0,490	0,577	0,605	
18	0,424	0,475	0,561	0,588	
19	0,412	0,462	0,547	0,575	
20	0,401	0,450	0,535	0,562	
21	0,391	0,440	0,524	0,551	
22	0,382	0,430	0,514	0,541	
23	0,374	0,421	0,505	0,532	
24	0,367	0,413	0,497	0,524	
25	0,360	0,406	0,489	0,516	
26	0,354	0,399	0,486	0,508	
27	0,348	0,393	0,475	0,501	
28	0,342	0,387	0,469	0,495	
29	0,337	0,381	0,463	0,489	
30	0,332	0,376	0,457	0,483	

Таблица П7

Квантили t_γ распределения Стьюдента



Число степеней свободы f	Квантиль при доверительной вероятности γ							
	0,750	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995	0,999	0,9995
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	318,31	636,62
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,326	31,598
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,213	12,924
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,869
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,996	3,499	4,785	5,408
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610	3,922
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646
60	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460
120	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,160	3,373
∞	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,291

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Глудкин, О. П.* Управление качеством электронных средств : учеб. для вузов / О. П. Глудкин, А. И. Гуров, А. И. Коробов [и др.] ; под ред. О. П. Глудкина. – М. : Высш. шк., 1994. – 416 с.

2. *Смирнов, Н. В.* Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М. : Наука, 1969. – 512 с.

3. *Огвоздин, В. Ю.* Управление качеством : Основы теории и практики : учеб. пособие / В. Ю. Огвоздин. – Изд. 4-е, испр. и доп. – М. : Дело и Сервис, 2002. – 159 с. – ISBN 5-8013-0059-X.

4. *Шор, Я.Б.* Таблицы для анализа и контроля надежности / Я. Б. Шор, Ф. И. Кузьмин. – М. : Сов. радио, 1968. – 288 с.

5. *Николаева, Э. К.* Семь инструментов качества в японской экономике / Э. К. Николаева. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 88 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»

Составители
ДОЛГОВ Геннадий Филиппович
ЕВГРАФОВ Владимир Викторович

Ответственный за выпуск – зав кафедрой профессор М.В. Руфицкий

Подписано в печать 19.04.07.
Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 2,56. Тираж 100 экз.
Заказ
Издательство
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.