

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра системного анализа и управления

Н.А. ШУМИЛИНА, В.В. ТУГОВ, Т.В. ГАИБОВА

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Управление качеством»
для студентов направления 220100

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 330.101.52(076.5)
ББК 65.051.110 я 73
Ш 96

Рецензент кандидат технических наук, доцент О.Г. Габдулина

Ш 96 **Шумилина, Н.А.**
Применение статистических методов в системах управления
качеством: методические указания / Н.А.Шумилина, В.В. Тугов,
Т.В. Гаибова. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009.- 78 с.

Методические указания предназначены для студентов по направлению 220100.Лабораторные работы предусмотрены учебным планом. Цель – закрепить основные теоретические положения курса и привить студентам навыки практического использования статистических методов для принятия обоснованных решений в системе управления качеством.

ББК 65.051.110 я 73

© Шумилина Н.А.,
Тугов В.В.,
Гаибова Т.В.
© ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа 1. Статистические методы в среде электронных таблиц Excel. Методы описательной статистики.....	6
2 Лабораторная работа 2. Статистические методы в среде электронных таблиц Excel. Проверка статистических гипотез.....	18
3 Лабораторная работа 3. Статистические методы в среде электронных таблиц Excel. Регрессионный анализ.....	23
4 Лабораторная работа 4. Статистические методы в среде электронных таблиц Excel. Контрольные карты Шухарта.....	30
5 Лабораторная работа 5. Управление качеством с использованием системы Statistica. Основы работы в системе Statistica.....	36
6 Лабораторная работа 6. Управление качеством с использованием системы Statistica. Методы оценки качества.....	40
7 Лабораторная работа 7. Управление качеством с использованием системы Statistica. Контроль технологического процесса.....	47
8 Лабораторная работа 8. Управление качеством с использованием системы Statistica. Приемочный контроль.....	65
9 Лабораторная работа 9. Управление качеством с использованием системы Statistica. Планирование эксперимента и метод Тагути.....	68
Список использованных источников.....	73
Приложение А.....	74

Введение

Важнейшее требование к системам качества - активное использование статистических методов для принятия обоснованных решений на всех этапах жизненного цикла продукции: при исследовании рынка, проектировании, материально-техническом снабжении, подготовке производства и производстве и т.д.

Статистические методы по мнению видного специалиста в области качества Каэру Исикавы можно разделить на три категории. Первая, так называемые, элементарные статистические методы включают:

- карта Парето;
- причинно-следственный анализ;
- группировка данных по общим признакам;
- контрольный лист;
- гистограмма;
- диаграмма разброса (анализ корреляции через определение медианы);
- график и контрольная карта.

Вторая категория, промежуточные статистические методы включает:

- теорию выборочных исследований;
- статистический выборочный контроль;
- различные методы проведения статистических оценок и определения критериев;

- метод применения сенсорных проверок;
- метод расчета экспериментов.

Третья категория, передовые методы (с использованием ЭВМ) включает:

- передовые методы расчета экспериментов;
- многофакторный анализ;
- различные методы исследования операций.

Применение статистических методов в задачах управления качеством позволяет выявить проблемы и их причины, решение этих проблем – задача специалистов в конкретной области: пищевая промышленность, химическая промышленность, автомобилестроение, торговля, сфера услуг и т.д.

До недавнего времени широкое применение статистических методов сдерживалось низким уровнем автоматизации сбора и хранения информации в системах управления качеством, но за последние годы произошел существенный сдвиг в проектировании и управлении качеством производственных процессов. Появился широкий спектр программных продуктов автоматизации систем управления качеством.

Компьютерные технологии статистических методов необходимый компонент в подготовке бакалавра техники и технологии по направлению «Системный анализ и управление». Во-первых, как пользователя этих методов, во-вторых, как постановщика задач по разработке программного обеспечения.

Настоящие методические указания предназначены для выполнения

лабораторных работ по дисциплине «Управление качеством», предусмотренной учебным планом по направлению 210100 - Системный анализ и управление. Полный курс дисциплины «Управление качеством» предусматривает 17 часов лабораторного практикума. Лабораторные работы должны быть выполнены согласно установленного графика выполнения и защиты работ. По каждой работе студент должен представить отчёт, содержащий название работы, цель работы и распечатку результатов выполнения заданий. Отчеты по лабораторным работам оформляются каждым студентом в электронном и печатном виде. Распечатанные отчеты подшиваются в папку и сдаются преподавателю на итоговой аттестации. На первой странице оформляется график выполнения и сдачи лабораторных работ. Обязательными являются ответы на контрольные вопросы.

Лабораторный практикум разработан для освоения компьютерных технологий статистических методов. В него включены лабораторные работы, предполагающие использование процессора электронных таблиц Microsoft Excel и системы Statistica фирмы Statsoft.

Электронные таблицы Excel – один из самых распространенных программных продуктов, используемых для решения прикладных задач управления в экономике, промышленности, финансах. Для использования Excel при работе со статистическими методами в задачах управления качеством могут применяться как обычные средства, такие как вставка функций, мастер диаграмм, и другие, так и специальные, в частности, надстройка «Пакет анализа». Совместное использование этих инструментов позволяет решать многие задачи управления качеством: строить гистограммы и диаграммы Парето, исследовать корреляции и проводить регрессионный анализ, оценивать воспроизводимость процесса и его статистическую управляемость с помощью контрольных карт Шухарта.

Система Statistica – один из специализированных статистических пакетов. Эта система наряду с множеством модулей по статистическим методам общего применения (Множественная регрессия, Временные ряды, Кластерный анализ, Факторный анализ и т.д.) имеет модули промышленной статистики, ориентированные на специалистов по управлению качеством, предназначенные для построения контрольных карт, анализа процессов, планирования эксперимента.

1 Лабораторная работа 1. Статистические методы в среде электронных таблиц Excel. Методы описательной статистики

Цель работы: Освоить основные возможности пакета анализа данных.

Ход работы:

Моделирование данных.

Загрузите электронные таблицы Excel и проверьте наличие команды **Анализ данных** в меню **Сервис**. При ее отсутствии выберите в этом же меню команду **Надстройки** и поставьте флажок у надстройки «Пакет анализа».

В пакет анализа данных включены основные инструменты статистического анализа на рисунке 1.

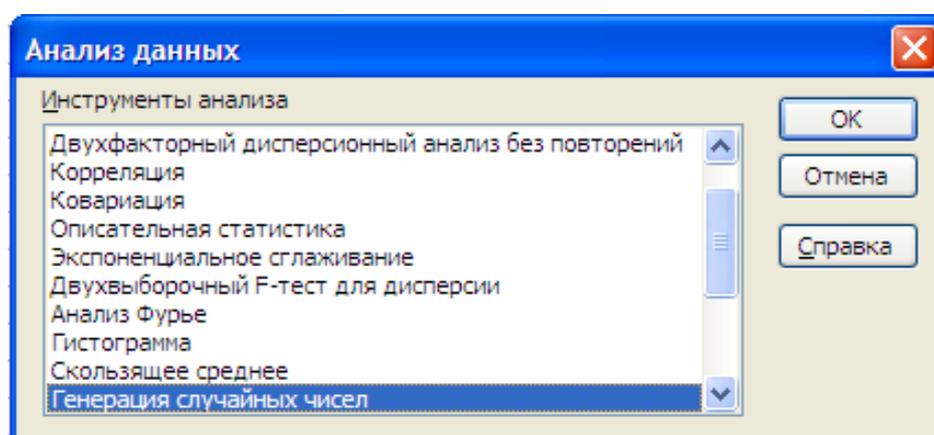


Рисунок 1 - Окно пакета анализа данных

Для моделирования данных используется инструмент **Генерация случайных чисел**, позволяющий моделировать данные с различными распределениями: нормальным, равномерным, биномиальным и другими.

Смоделируйте два столбца по 500 нормально распределенных чисел со средним значением 40 и стандартным отклонением 2. Для этого введите данные в диалоговое окно так, как показано на рисунке 2. Результат расчета может быть выведен как на выходной интервал данного рабочего листа (как на рисунке 2), так и на новый рабочий лист или в новую рабочую книгу.

Поле **Случайное рассеивание** используется для фиксации определенной совокупности случайных чисел: если оно не заполнено, каждый раз будет моделироваться разный набор случайных чисел. Если же в этом поле стоит какое-то число, то этому числу будет соответствовать вполне определенная последовательность случайных чисел.

Рассматривая смоделированные данные как генеральную совокупность, сделайте из них две случайные выборки (по одной из каждого столбца) по 70 чисел (рисунок 3).

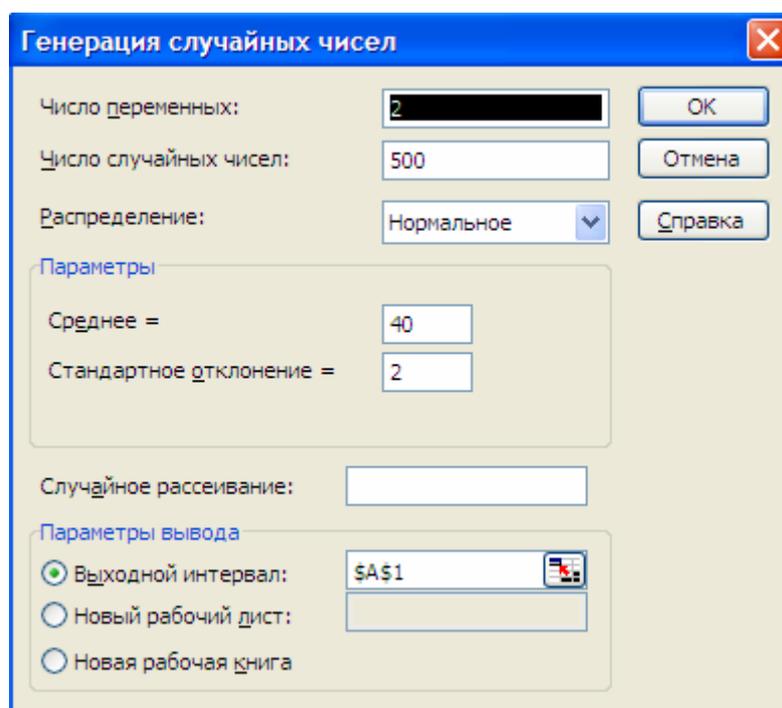


Рисунок 2 - Диалоговое окно генерации случайных чисел

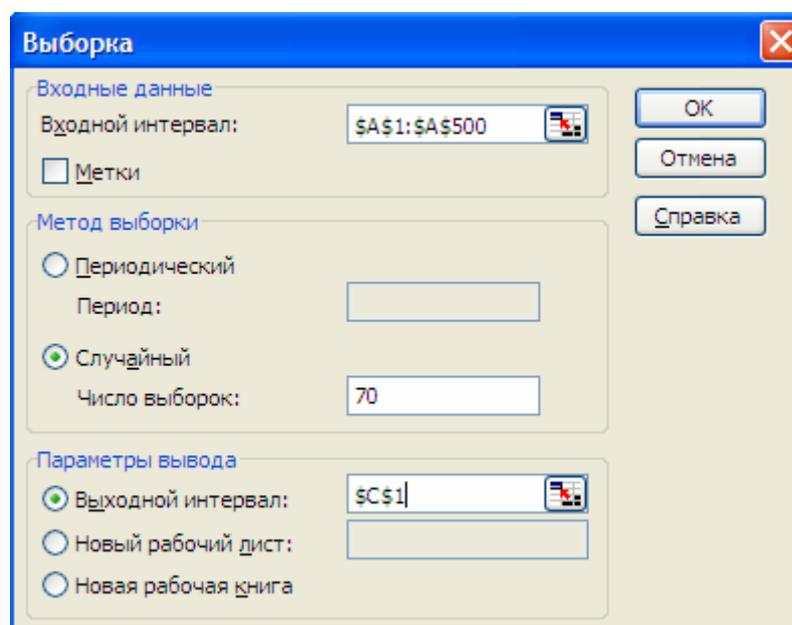


Рисунок 3 - Диалоговое окно выборки

Определение характеристик выборки.

Для определения числовых характеристик выборки можно воспользоваться статистическими функциями, однако большинство характеристик можно получить проще, используя инструмент **Описательная статистика** того же пакета анализа. На рисунке 4 показано заполнение диалогового окна, а на рисунке 5 — результаты расчета.

При необходимости расчета других числовых характеристик используйте кнопку **Вставка функций**. Например, для расчета среднего геометрического значения по первой выборке введите =СРГЕОМ(А1:А70) (**Вставка функций / Категория - статистические / Функция: СРГЕОМ / ОК / Число1: А1:А70** — протаскиванием мышью / **ОК**). В дальнейшем мы воспользуемся и другими статистическими функциями.

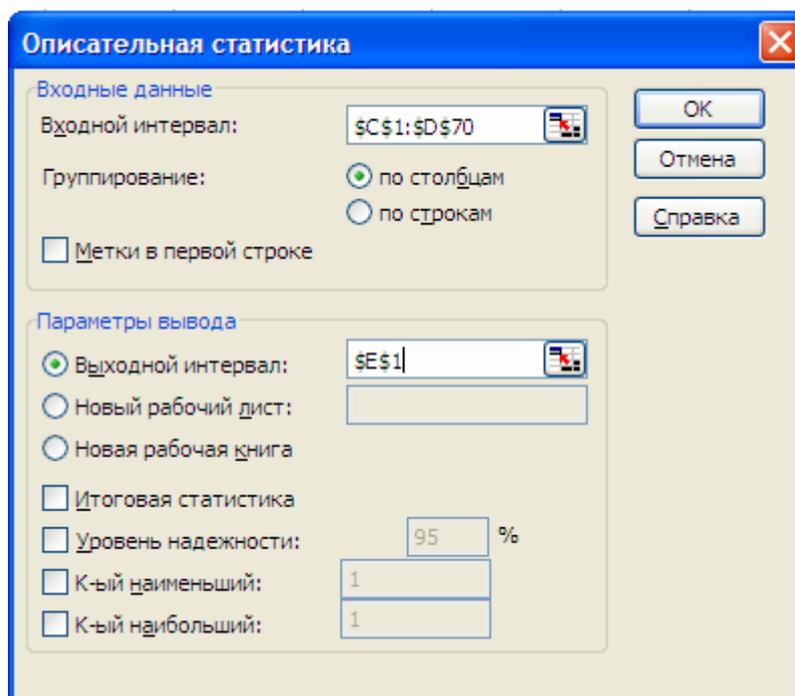


Рисунок 4 - Диалоговое окно описательной статистики

Столбец1		Столбец2	
Среднее	39,6216477	Среднее	40,24622393
Стандартная ош	0,213395741	Стандартная ош	0,245370211
Медиана	39,51263476	Медиана	40,06250957
Мода	37,44047273	Мода	37,66852397
Стандартное отк	1,785396867	Стандартное отк	2,052914475
Дисперсия выбо	3,187641972	Дисперсия выбо	4,214457842
Эксцесс	-0,695599281	Эксцесс	-0,961427572
Асимметричност	0,184038214	Асимметричност	0,008565882
Интервал	7,890084817	Интервал	8,538154361
Минимум	36,52129191	Минимум	35,85084879
Максимум	44,41137672	Максимум	44,38900315
Сумма	2773,515339	Сумма	2817,235675
Счет	70	Счет	70

Рисунок 5 - Результаты расчета числовых характеристик

Гистограмма.

Гистограмма отображает распределение исследуемого показателя. Гистограмма позволяет оценить характер рассеивания показателя и разобраться

в том, на чём следует сосредоточить усилия по улучшению.

На примере выявить характер рассеяния показателя качества изделий из металлического материала.

Для определения характера рассеяния показателя строим гистограмму.

Порядок построения гистограммы:

1 Намечаем исследуемый показатель качества. В данном случае это коэффициент деформации материала.

2 Проводим измерения. Должно быть не менее 30...50 данных, оптимально – около 100.

Результаты измерений коэффициента деформации представлены в таблице 1.

Результаты измерений вводим в электронную таблицу. В ячейку A1 вводим заголовок работы. Начиная с ячейки A3 вводим в столбец порядковые номера измерений с 1 по 100, например при помощи команды **Правка/Заполнить/Прогрессия...** . В ячейки B3:B102 вводим значения коэффициента деформации из таблица 1.

3 Вводим единицу измерений. Единица измерений равна точности, с которой проводились измерения, в данном случае 0,1. Вводим единицу измерений в ячейку E2.

Таблица 1

0,9	1,5	0,9	1,1	1,0	0,9	1,1	1,1	1,2	1,0
0,6	0,1	0,7	0,8	0,7	0,8	0,5	0,8	1,2	0,6
0,5	0,8	0,3	0,4	0,5	1,0	1,1	0,6	1,2	0,4
0,6	0,7	0,5	0,2	0,3	0,5	0,4	1,0	0,5	0,8
0,7	0,8	0,3	0,4	0,6	0,7	1,1	0,7	1,2	0,8
0,8	1,0	0,6	1,0	0,7	0,6	0,3	1,2	1,4	1,0
1,0	0,9	1,0	1,2	1,3	0,9	1,3	1,2	1,4	1,0
1,4	1,4	0,9	1,1	0,9	1,4	0,9	1,8	0,9	1,4
1,1	1,4	1,4	1,4	0,9	1,1	1,4	1,1	1,3	1,1
1,5	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8	1,5

4 Находим минимальное и максимальное значения выборки. Минимальное и максимальное значения выборки находим с помощью статистических функций МИН и МАКС соответственно в ячейках E3 и E4. При этом интервал для этих функций указываем от ячейки B3 до ячейки B102.

5 Находим размах выборки в ячейке E5 как разность между максимальным и минимальным значениями выборки.

6 Определяем предварительное количество интервалов $K_{предв}$ как квадратный корень из объёма выборки N. Количество интервалов находим в ячейке E6. Поскольку количество интервалов должно быть целым числом, т.е. полученный квадратный корень следует округлить до целого значения, то сначала в ячейку E6 вводим математическую функцию ОКРУГЛ. В строке **Количество цифр** этой функции указываем 0, т.к. необходимо округление до

целого числа. Затем переводим курсор в строку **Число** и в качестве аргумента функции ОКРУГЛ встраиваем функцию КОРЕНЬ. Для этого в строке формул открываем список функций, выбираем **Другие функции** и открываем математическую функцию КОРЕНЬ. В качестве аргумента функции КОРЕНЬ опять при помощи списка в строке формул выбираем статистическую функцию СЧЁТ, в качестве аргумента которой вводим диапазон ячеек от B3 до B102. Поскольку функция СЧЁТ подсчитывает количество чисел в указанном диапазоне, т.е. в данном случае объём выборки, то будет получено значение 100. Затем функция КОРЕНЬ пересчитает это значение в 10, а функция ОКРУГЛ округлит его до целых, т.е. до 10. В целом формула в ячейке E6 будет выглядеть примерно так: =ОКРУГЛ(КОРЕНЬ(СЧЁТ(B3:B102));0)

7 Определяем ширину интервала в ячейке E7 по формуле $h = R/K_{\text{предв}}$ с округлением до единицы измерения, т.е. в нашем случае до десятых долей. Формула в ячейке E7 будет выглядеть так: =ОКРУГЛ(E5/E6;1).

8 Вводим номера интервалов. Для этого в ячейку D9 вводим заголовок столбца **№ инт.** Начиная с ячейки D10 вводим номера интервалов с 1 примерно до 25.

9 Рассчитываем границы и середины интервалов. В ячейке E10 рассчитываем нижнюю границу первого интервала по формуле

$$X_{\min} - \text{ед.изм.}/2$$

Для этого в ячейку E10 вводим формулу =E3-E2/2 и получаем значение нижней границы первого интервала 0,05.

В ячейке E11 рассчитываем нижнюю границу второго интервала, прибавляя к нижней границе первого интервала значение шага. Формула в ячейке E11 будет выглядеть =E10+E7. После указания необходимой абсолютной адресации копирует эту формулу в диапазон E12:E34.

В ячейке F10 рассчитываем верхнюю границу первого интервала, прибавляя к его нижней границе значение шага. После указания необходимой абсолютной адресации полученную формулу копируем в диапазон F11:F34.

В ячейке G10 рассчитываем среднее значение первого интервала, например, по статистической формуле СРЗНАЧ. Полученную формулу копируем в диапазон G11:G34.

Поскольку уже в десятом интервале нижняя граница равна 1,85. что больше X_{\max} , то необходимое количество интервалов равно 9. Поэтому содержимое ячеек диапазона D19:F34 следует очистить.

10 Подсчитываем частоты появления результатов измерений в интервалах. В ячейке H10 рассчитываем частоту для первого интервала при помощи статистической функции СЧЁТЕСЛИ. Функция СЧЁТЕСЛИ подсчитывает количество непустых ячеек в указанном диапазоне, удовлетворяющих заданному условию. Следует подсчитать, сколько раз в диапазоне B3:B102 встречаются ячейки, значения которых находятся в границах первого интервала, т.е. больше 0,05, но меньше 0,25. Таким образом, надо подсчитать ячейки, значения которых удовлетворяют двойному условию. Однако функция СЧЁТЕСЛИ использует только одинарное условие. Поэтому в формуле, записываемой в ячейке H10, функцию СЧЁТЕСЛИ используем

дважды. Сначала в функции СЧЁТЕСЛИ вводим диапазон В3:В102 и условие “>0,05”. (к сожалению, нельзя указать условие “>Е10”, ссылаясь на значение нижней границы интервала, поскольку функция СЧЁТЕСЛИ использует условие критерий в форме числа, выражения или текста, но не в форме ссылки на ячейку). Затем переводим курсор в строку формул, ставим знак минус, вновь вводим функцию СЧЁТЕСЛИ, указываем в ней диапазон В3:В102 и условие “>0,25”. В результате получаем расчётную формулу =СЧЁТЕСЛИ(В3:В102;">0,05")-СЧЁТЕСЛИ(В3:В102;">0,25"), по которой рассчитывается частота для первого интервала. После указания абсолютной адресации для интервалов копируем эту формулу в диапазон Н11:Н18. Поскольку в копируемой формуле границы интервалов были указаны численными значениями, то в формулах ячеек диапазона Н11:Н18 следует исправить численные значения границ на соответствующие тому или иному диапазону. Например, в ячейке Н11 формула будет выглядеть так: =СЧЁТЕСЛИ(\$В\$3:\$В\$102;">0,25")-СЧЁТЕСЛИ(\$В\$3:\$В\$102;">0,45"). Результаты расчётов показаны на рисунке 6.

11 Строим гистограмму распределения. Открываем мастер диаграмм, выбираем тип **Гистограмма** и вид **Обычная гистограмма отображает значения различных категорий**. На втором шаге на вкладке **Диапазон данных** указываем диапазон Н10:Н18. На вкладке **Ряд** в строке **Подписи по X** указываем диапазон G10:G18 (возможно указание диапазона E10:F18). На третьем шаге вводим заголовки по осям, а также убираем легенду и линии сетки. После создания диаграммы редактируем её, используя контекстное меню. В частности, открыв контекстное меню на одном из столбцов диаграммы, выбираем команду **Формат рядов данных**, вкладку **Параметры**, и устанавливаем ширину зазора 0.

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
1	Лаб. работа 6. Гистограммы							
2	№	Козф. деформ.	Ед. изм.=	0,1				
3	1	0,9	Хмин =	0,1				
4	2	0,6	Хмах =	1,8				
5	3	0,5	R =	1,7				
6	4	0,6	Кпредв =	10				
7	5	0,7	h =	0,2				
8	6	0,8						
9	7	1	№ инт.	Ниж. гр.	Верх. гр.	Середина	Частота f	
10	8	1,4	1	0,05	0,25	0,15	2	
11	9	1,1	2	0,25	0,45	0,35	8	
12	10	1,5	3	0,45	0,65	0,55	13	
13	11	1,5	4	0,65	0,85	0,75	15	
14	12	0,1	5	0,85	1,05	0,95	20	
15	13	0,8	6	1,05	1,25	1,15	17	

Рисунок 6 - Расчёт данных для построения гистограммы

Готовая гистограмма показана на рисунке 7

Возможно представление гистограммы в виде непрерывной кривой или

ломаной линии. Для этого надо в области гистограммы открыть контекстное меню, выбрать команду **Тип диаграммы**, выбрать диаграмму **Точечная** и соответствующий её вид (рисунок 7).

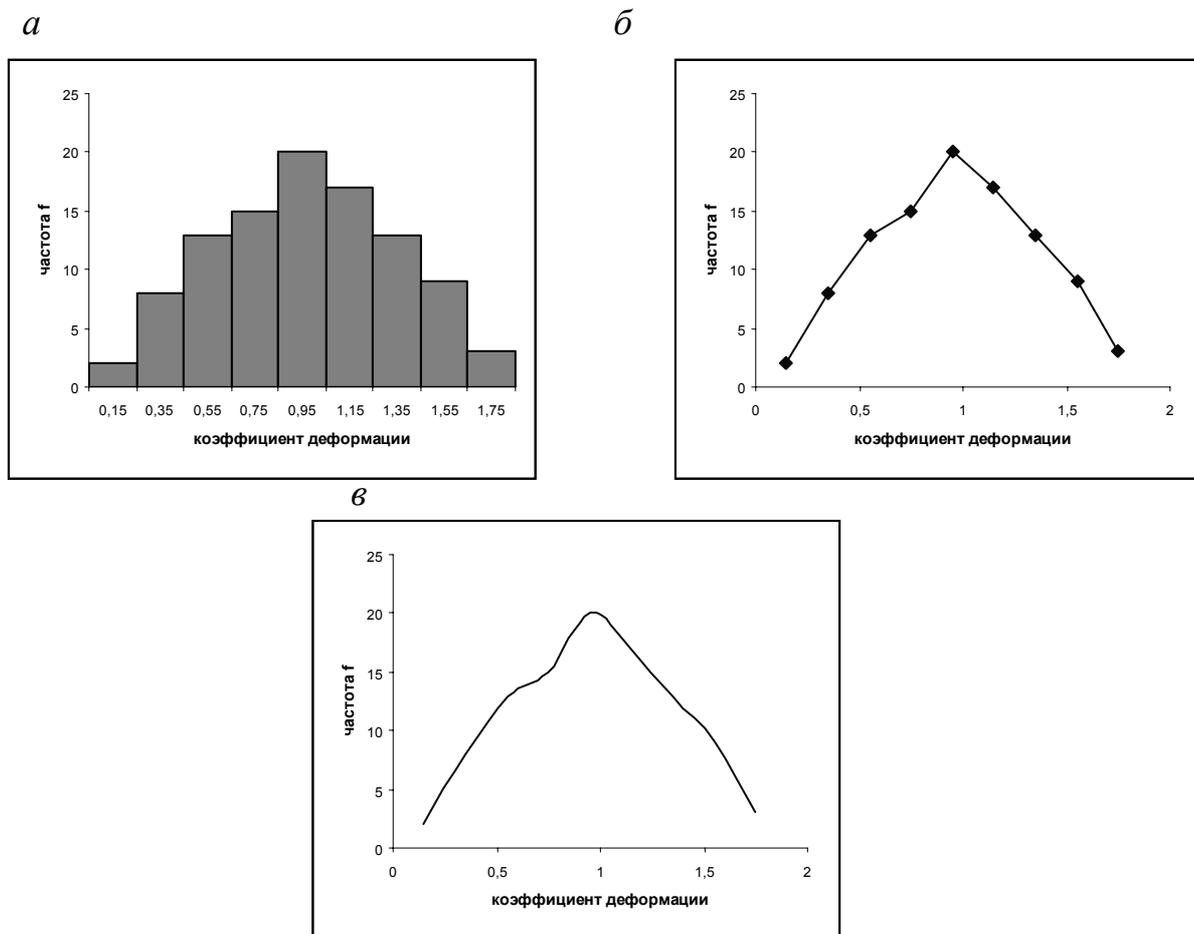


Рисунок 7 - Гистограмма в виде столбиковой диаграммы (а), ломаной линии (б) и непрерывной кривой (в).

Полученная гистограмма близка к обычной гистограмме с двусторонней симметрией, что указывает на стабильность процесса.

Задание. Построить гистограмму по результатам измерения длины деталей, мм (таблица 2). Какие меры необходимы для стабилизации технологического процесса?

Диаграмма Парето

Диаграмма Парето строится в виде столбчатого графика и показывает в убывающем порядке относительное влияние каждой причины на общую проблему. Кроме того, на диаграмме обычно приводят кумулятивную кривую накопленного процента причин.

На примере исследовать проблему появления брака при выпуске деталей.

С учётом того, что потери от брака одной детали каждого вида примерно одинаковы, в качестве единицы измерения выбираем число дефектных деталей каждого вида. После заполнения контрольных листов получаем данные, представленные в таблице 3.

Таблица 2

10,6	10,4	11,1	10,5	10,7	10,2	10,6	10,7	10,4	10,7
10,4	10,5	10,9	10,6	10,7	10,6	10,7	10,5	10,3	10,7
10,3	10,7	10,6	10,7	10,5	10,9	10,6	10,9	10,4	10,8
10,5	10,8	10,7	10,3	10,8	10,5	10,4	10,5	10,7	10,6
10,4	10,3	10,6	10,7	10,5	10,9	10,6	11,0	10,6	10,8
10,5	10,8	10,4	10,8	10,9	10,5	10,9	10,6	10,9	10,4
10,4	10,6	10,8	10,4	10,5	10,7	10,4	10,7	10,6	10,7
10,5	10,8	10,5	10,3	11,0	10,6	10,3	10,5	10,8	10,6
10,6	10,5	10,4	10,7	10,6	10,8	10,7	10,3	10,6	11,0
10,7	11,1	10,5	10,6	10,5	10,5	10,4	10,8	10,4	10,6
11,0	10,7	10,3	10,8	10,7	10,2	10,8	10,6	10,8	10,8
10,5	10,7	10,8	10,4	10,6	10,5	10,7	11,1	10,5	10,6
10,7	10,6	10,7	10,3	10,7	10,3	10,6	10,8	10,1	10,7
11,0	10,5	10,5	10,1	10,3	11,0	11,2	10,6	11,1	10,2

Таблица 3

№ детали	1	2	3	4	5	6	Прочие
Число дефектных деталей	255	101	59	39	26	15	11

По полученным данным разрабатываем таблицу для проверок данных. Создаём новую книгу Excel. В ячейке A1 вводим заголовок работы. В ячейки A3:E3 вводим заголовки: **№ детали**, **Число дефектных деталей**, **Накопленная сумма деталей**, **Процент деталей**, **Накопленный процент**. Для компактного размещения заголовков выделяем третью строку и используем команду **Формат / Ячейки**, вкладку **Выравнивание**, режим выравнивания по вертикали **По центру**, режим отображения **Переносить по словам**.

В ячейки A4:B10 вводим данные из таблицы 3. В ячейку A11 вводим заголовок **Итого**. В ячейке B11 рассчитываем суммарное число дефектных деталей при помощи математической формулы СУММ.

Для расчёта накопленной суммы деталей в ячейку C4 вводим значение 255, т.е. число дефектных деталей 1. В ячейке C5 суммируем число дефектных деталей 1 и 2, т.е. вводим формулу =C4+B5. Для расчёта накопленной суммы деталей в остальных ячейках копируем формулу из ячейки C5 в диапазон C6:C10.

Для расчёта процента деталей следует делить число дефектных деталей каждого вида на общее число дефектных деталей и умножать на 100. Таким образом, в ячейку D4 вводим формулу =B4/B11*100. После указания необходимой абсолютной адресации копируем эту формулу в диапазон D5:D10. В ячейке D11 рассчитываем суммарный процент, который должен составить 100%.

Для расчёта накопленного процента деталей в ячейку E4 значение (только значение, а не формулу) из ячейки D4. Для этого используем команды **Правка / Копировать** и **Правка / Специальная вставка**. В ячейке E5 суммируем

процент дефектных деталей 1 и 2, т.е. вводим формулу =E4+D5. Для расчёта накопленного процента в остальных ячейках копируем формулу из ячейки E5 в диапазон E6:E10.

По таблице для проверок данных строим диаграмму Парето. Для этого открываем в мастере диаграмм вкладку **Нестандартные**, выбираем диаграмму типа **График / гистограмма 2**. На втором шаге указываем диапазон данных A4:B10; E4:E10. На третьем шаге вводим заголовки и убираем легенду.

После создания диаграммы мастером диаграмм редактируем её при помощи контекстных меню. В частности, максимальное значение шкалы **Число дефектных деталей** указываем 506, а минимальное 0. Максимальное значение шкалы **Накопленный процент** указываем 100. Открываем контекстное меню на одном из столбцов, выбираем команду **Формат рядов данных**, вкладку **Параметры**, и устанавливаем ширину зазора 0. Результаты расчётов и построений показаны на рисунке 8.

Как видно из диаграммы, к группе А можно отнести детали 1 и 2 (70% от брака), к группе В – детали 3,4,5, к группе С – детали 6 и прочие.

Для выяснения наиболее важных дефектов целесообразно построить диаграммы Парето по явления дефектности в деталях 1 и 2.

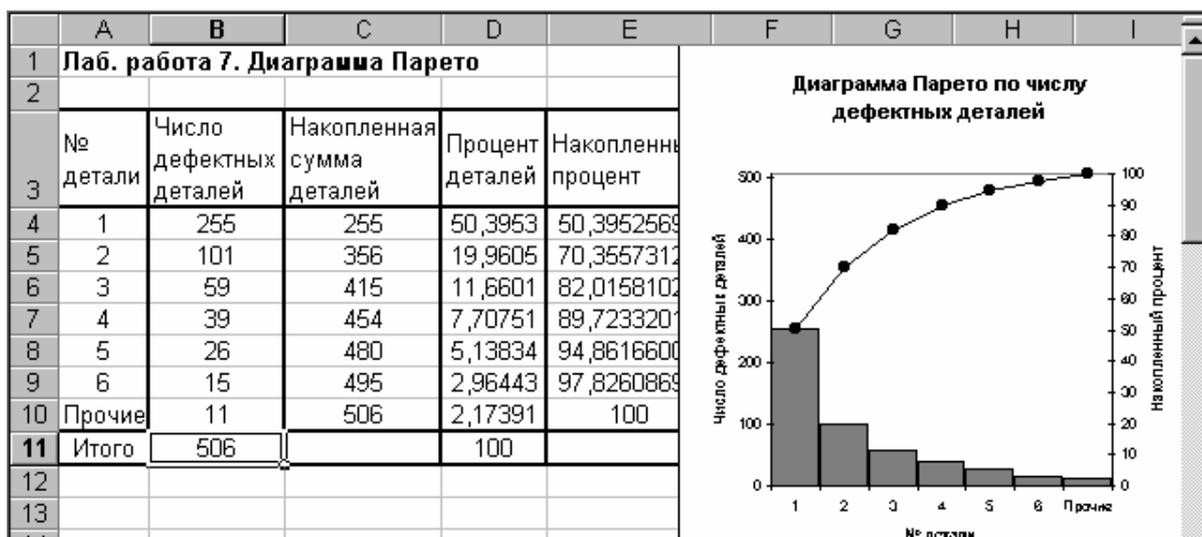


Рисунок 8 - Построение диаграммы Парето по числу дефектных деталей

Рассмотрим построение такой диаграммы для детали 1. В качестве единицы измерения выбираем сумму потерь от брака, млн. руб. После исследования явлений дефектности получили данные, представленные в таблице 4.

Диаграмма Парето, построенная по этим данным, показана на рисунке 9.

Как видно из диаграммы, к группе А можно отнести занижение наружного диаметра и налипы на режущей кромке резца (73% от суммы потерь), к группе В – зависание, завышение шага резьбы, остаточную черноту, к группе С – увеличение скоса кромки, пропуск операции и прочие.

Для выяснения наиболее важных причин потерь целесообразно построить

диаграммы Парето по причинам занижения наружного диаметра и налипов на режущей кромке резца.

Таблица 4

Дефект	Сумма потерь, млн. руб.
Шаг резьбы завышен	1,5
На режущей кромке резца налипы	6,9
Зависание	1,9
Пропуск операции	0,4
Осталась чернота	0,9
Скос кромки увеличен	0,6
Наружный диаметр занижен	8,3
Прочие	0,2

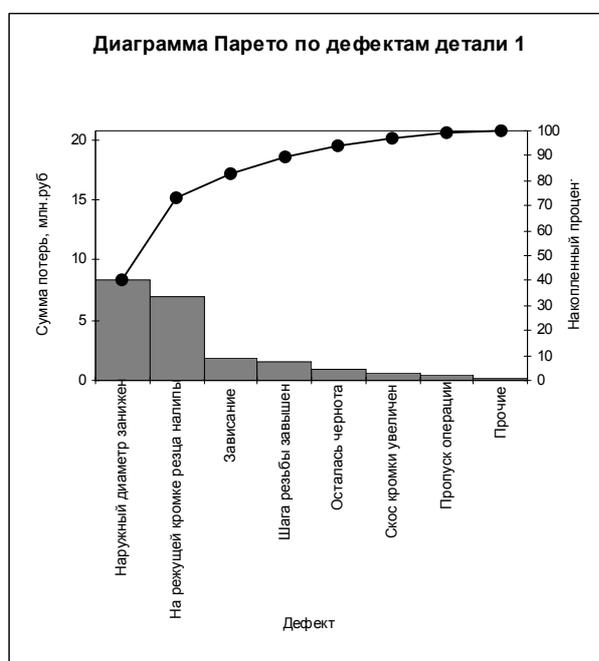


Рисунок 9 - Диаграмма Парето по дефектам детали 1

При построении такой диаграммы для причин занижения наружного диаметра после заполнения контрольных листков получили данные, представленные в таблице 5.

По этим данным необходимо построить диаграмму Парето, выявить причины занижения наружного диаметра группы А и провести по ним корректирующие мероприятия. После этого можно вновь построить диаграмму Парето для изменившихся условий, чтобы проверить эффективность улучшений.

Задание. Выполнить расчёты и построения в соответствии с примером, включая, диаграмму Парето по причинам занижения наружного диаметра.

Таблица 5

Причина	Число дефектов
Смещение копира	53
Неопытность оператора	11
Неточность рабочего инструмента	4
Устаревший чертёж	98
Ошибки в управлении станком	20
Неточность станка	8
Прочие	7

Диаграммы рассеяния

Диаграмма рассеяния (разброса) показывает взаимосвязь между двумя видами связанных данных и подтверждает их зависимость. Такими двумя видами данных могут быть характеристика качества и влияющий на неё фактор, две различных характеристики качества, два фактора, влияющих на одну характеристику качества, и т.д.

Задание. Постройте диаграмму рассеяния для данных из таблицы 6: введите данные в таблицу, выделите **обе** строки, воспользуйтесь мастером диаграмм, выберите тип диаграммы — точечная (рисунок 11).

Таблица 6

X	0,75	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,89	0,90	0,94	0,95	0,98
Y	14	23	42	39	46	40	42	45	49	51	85	78

Для расчета выборочного коэффициента корреляции можно воспользоваться статистической функцией КОРРЕЛ или инструментом анализа данных **Корреляция**. Проведите расчет.

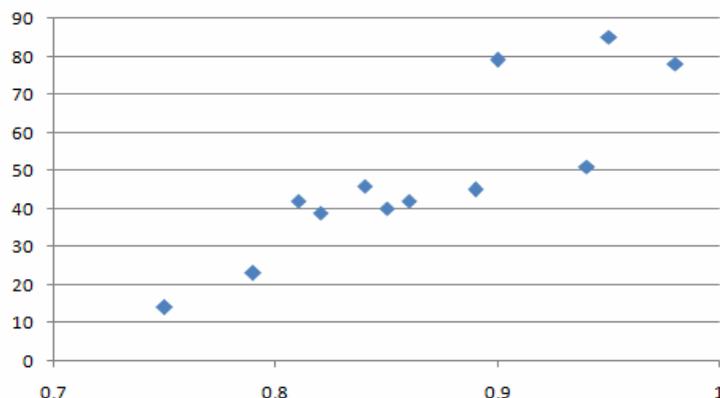


Рисунок 11 - Диаграмма рассеяния

Для проверки значимости вычислите значение статистики (1) и найдите критическое значение, используя статистическую функцию для расчета квантилей

распределения Стьюдента СТУДРАСПОБР. Обратите внимание на ввод уровня значимости (таблица 7).

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (1)$$

Таблица 7

N =	=счет(b1:m1)	12
R =	=коррел(b1:m1;b2:m2)	0.90
T =	=n22*корень((n21-2)/(1-n22×2))	6.61
Alfa =	0.05	0.05
Tкр =	=стюдраспобр(2*n25;n21-2)	1.81

2 Лабораторная работа 2. Статистические методы в среде электронных таблиц Excel. Проверка статистических гипотез

Цель работы: Освоить методику проверки гипотезы о равенстве дисперсий, средних и о виде распределения в среде электронных таблиц Excel.

Ход работы:

Гипотеза о равенстве дисперсий.

Исследуя результаты обработки деталей на двух станках. Предполагается, что точность обработки одинакова, т.е., что дисперсии равны. Для проверки этой гипотезы проведены замеры 22 деталей на первом станке и 24 деталей на втором. Результаты представлены в первых трех столбцах в таблице 8.

Для проверки гипотезы о равенстве дисперсий выберете **Сервис / Анализ данных / Двухвыборочный F-тест**. Введите в качестве значений переменной 1 результаты измерений на первом станке, переменной 2 – на втором, уровень значимости 0.05.

В полученной таблице с результатами (таблица 8), приводятся средние значения, дисперсии, количество наблюдений и степени свободы для каждой выборки, значение статистики Фишера (определяется как отношение дисперсий) и критическое значение (квантель распределения Фишера) на заданном уровне значимости. Гипотеза о равенстве дисперсий принимается, если выборочное значение статистики Фишера попало в область принятия решения, в противном случае гипотеза отклоняется.

Сделайте вывод по полученным результатам.

Гипотеза о равенстве средних.

Проверка этой гипотезы проводится по разному в зависимости от того, принята или отклонена гипотеза о значимости дисперсий: используются двухвыборочные t-тесты с одинаковыми или неодинаковыми дисперсиями.

Проверьте гипотезу о равенстве средних для рассмотренного примера (**Сервис / Анализ данных / Двухвыборочный t-тест с одинаковыми (или неодинаковыми) дисперсиями**). Введите данные по аналогии с двухвыборочным F-тестом.

В таблице с результатами расчета приводятся статистика Стьюдента и критические значения для одностороннего и двухстороннего критериев. Гипотеза о равенстве средних принимается, если выборочное значение статистики Стьюдента попало в область принятия решения, в противном случае гипотеза отклоняется.

Сделайте вывод по полученным результатам как для одностороннего, так и двухстороннего критериев.

Гипотеза о виде распределения

Смоделируйте нормально распределенную совокупность из 1000 элементов с средним значением 12 и стандартным отклонением 0,25. Сделайте случайную выборку 200 элементов из этой совокупности. Используя критерий хи-квадрат, проверим, действительно ли выборка сделана из нормально распределенной генеральной совокупности. В качестве точечных оценок мате-

матического ожидания и дисперсии примите соответствующие выборочные характеристики. Найдите их, используя инструмент **Описательная статистика** пакета **Анализ данных**.

Таблица 8

Результаты измерений			Двухвыборочный F-тест для дисперсии		
№ измерения	Станок 1	Станок 2		Станок 1	Станок 2
1	12,05	12,36			
2	12,08	12,45	Средне	12,249	12,449
3	12,33	12,48	Дисперсия	0,04476	0,01712
4	12,34	12,56	Наблюдения	22	24
5	12,75	12,63	df	21	23
6	12,32	12,25	F	2,6136	
7	12,12	12,54	P(F<=f) одностороннее	0,0136	
8	12,05	12,35	F критическое одностороннее	2,0356	
9	12,08	12,54			
10	12,33	12,33			
11	12,08	12,85			
12	12,75	12,42			
13	12,05	12,47			
14	12,08	12,41			
15	12,33	12,34			
16	12,05	12,51			
17	12,08	12,45			
18	12,31	12,24			
19	12,34	12,55			
20	12,42	12,32			
21	12,42	12,44			
22	12,12	12,41			
23		12,38			
24		12,51			

С помощью инструмента **Гистограмма** найдите опытные частоты n_i (см. формулу 2). При использовании критерия хи-квадрат количество опытных значений в каждом интервале должно быть не менее пяти. Если в каком-то интервале их меньше, то интервалы объединяют. Например, если в промежутке от 4 до 6 оказалось три значения, а в промежутке от 6 до 8 — четыре, то вводится новый интервал от 4 до 8 с семью значениями. С учетом этого перестройте таблицу частот вручную. В таблице 9 в колонках «Карман» — «Частота» показаны данные, полученные автоматически, в колонках

«Границы» — «Опытные частоты» данные пересчитаны частично вручную.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (2)$$

Расчетные частоты np_i в формуле (2) вычисляются через вероятности попадания нормально распределенной величины в соответствующий интервал:

$$p_i = \Phi\left(\frac{x_{i+1} - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_i - m}{\sigma}\right)$$

где функция стандартного нормального распределения $\Phi(\bullet)$ вычисляется с помощью встроенной статистической функции НОРМРАСП(x , среднее значение m , стандартное отклонение σ , интегральный). Аргументы этой функции (рисунок 12): x — граница интервала, вводится адрес соответствующей ячейки; m (среднее значение) и σ (стандартное отклонение) вводятся абсолютные адреса характеристик, полученных с помощью **Описательной статистики**; значение интегральный = 1 (истина), в противном случае (ложь) вычисляется не функция распределения, а его плотность. В таблице 9 вычисленные значения этой функции рассчитаны в колонке НОРМРАСП. Вероятности p_i (колонка «Вероятности») вычисляются как разности между значениями НОРМРАСП в последующей и предыдущей строках. В последней колонке подсчитаны расчетные частоты np_i ($n = 200$).

Таблица 9

G	H	I	J	K	L	M
Карман	Частота	Границы	Опытные частоты	НОРМРАСП	Вероятности	Расчетные частоты
11,350	1	11,350				
11,446	0	11,639	17	0,0972	0,0972	19,45
11,543	3	11,736	18	0,1788	0,0815	16,31
11,637	13	11,832	33	0,2938	0,1149	22,99
11,736	18	11,929	28	0,4345	0,1407	28,14
11,832	33	12,025	18	0,5842	0,1496	29,93
11,929	28	12,122	29	0,7224	0,1382	27,64
12,025	18	12,218	26	0,8333	0,1109	22,18
12,122	29	12,315	11	0,9107	0,0773	15,46
12,218	26	12,412	10	0,9575	0,0468	9,362
12,315	11	12,508	5	0,9821	0,0246	4,923
12,412	10	12,701	5	0,9978	0,0157	3,141
12,508	5					
12,605	2				ХИ2ТЕСТ	0,238
Еще	3				ХИ2ОБР	15,5

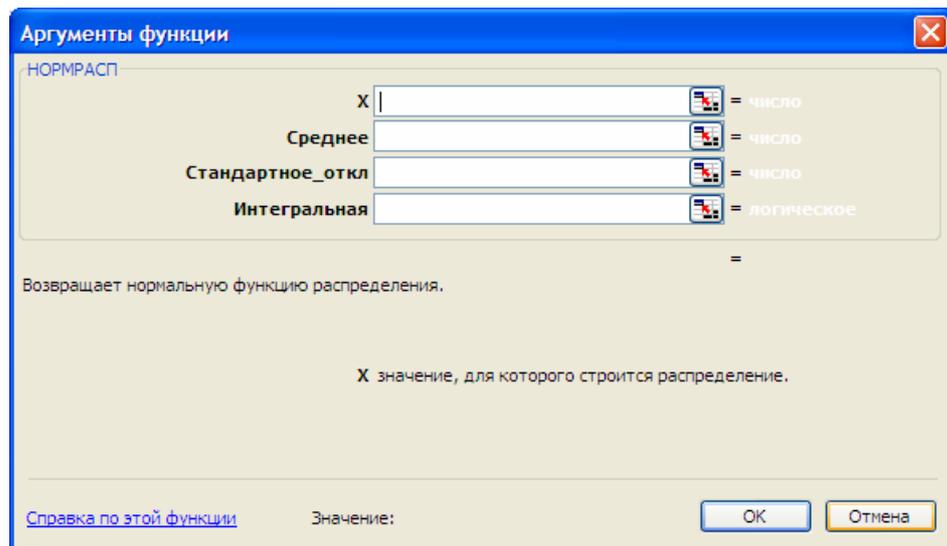


Рисунок 12 - Функция НОРМРАСП

Для вычисления статистики хи-квадрат в Excel встроена функция ХИ2ТЕСТ (фактический интервал, ожидаемый интервал). В качестве фактического интервала вводятся опытные частоты, в качестве ожидаемого - расчетные (рисунок 13).

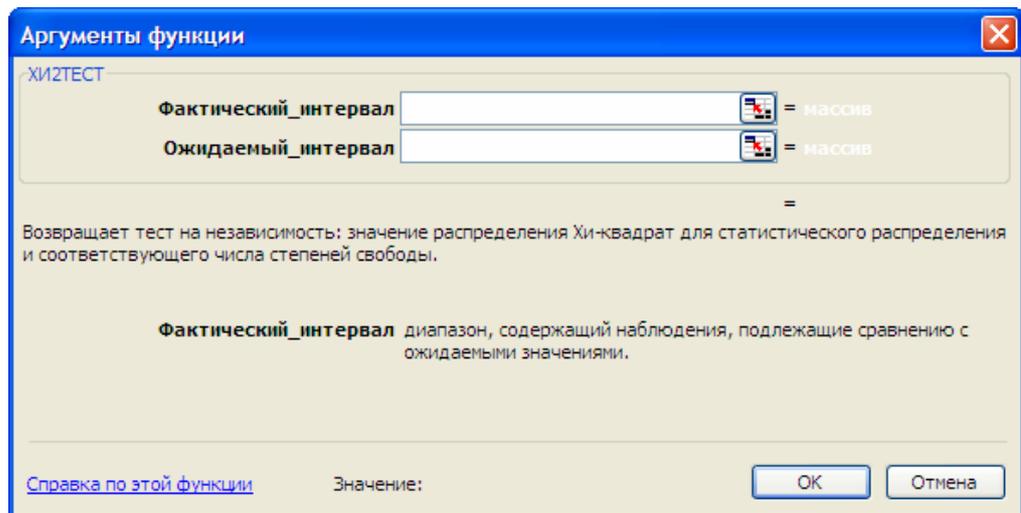


Рисунок 13 - Функция ХИ2ТЕСТ

Граница критической области — квантиль распределения хи-квадрат может быть найдена с помощью встроенной функции ХИ2ОБР (вероятность, степени свободы). Аргумент вероятность — это уровень значимости ($\alpha = 0,05$), а k — степени свободы. Для однопараметрического распределения число степеней свободы определяется по формуле:

$$k = r - 1,$$

r — количество интервалов;

Для многопараметрического распределения число степеней свободы определяется по формуле:

$$k = r - s,$$

s – число наложенных связей, определяемое по формуле:

$$s = \pi + 1,$$

π – число параметров закона распределения.

Гипотеза о нормальности распределения принимается, если выборочное значение статистики $\chi^2_{\text{ТЕСТ}}$ окажется меньше критического $\chi^2_{\text{ОБР}}$.

Подобным образом может быть проверена гипотеза о виде любого распределения.

3 Лабораторная работа 3. Статистические методы в среде электронных таблиц Excel. Регрессионный анализ

Цель работы: Разработка регрессионных моделей в среде электронных таблиц Excel для исследований в системе управления качеством.

Ход работы:

Парная регрессия.

Для проведения регрессионного анализа в электронных таблицах имеется несколько различных средств. Во-первых, это встроенные статистические функции:

ОТРЕЗОК (для расчета коэффициента β_0 в парной линейной регрессии, определяющего отрезок, отсекаемый линией регрессии по оси y),

НАКЛОН (для расчета коэффициента β_1 в парной линейной регрессии, определяющего наклон линии регрессии),

ЛИНЕЙН (для расчета множественной линейной регрессии),

ТЕНДЕНЦИЯ (для прогноза по множественной линейной регрессии),

ПРЕДСКАЗ (для прогноза по парной линейной регрессии),

ЛГРФПРИБЛ (для расчета экспоненциальной регрессии

$$y = \beta_0 \beta_1^{x_1} \beta_2^{x_2} \dots \beta_k^{x_k},$$

часто используемой в экономико-статистических расчетах, в частности, при анализе динамики различных явлений),

РОСТ (для прогноза по экспоненциальной регрессии) и др.

Во-вторых, для построения парных регрессий можно использовать инструмент **Линия тренда**, позволяющий построить линейную и несколько видов нелинейной регрессии: рассчитать коэффициент детерминации, построить графики, дать прогноз. Наконец, для проведения регрессионного анализа удобен (особенно для множественной линейной регрессии) инструмент **Регрессия** из пакета **Анализ данных**.

Вначале рассмотрим технологию применения этого инструмента при проведении парного линейного регрессионного анализа. Построим зависимость предела прочности прессованной детали от температуры при прессовании.

Задание. Исследуется зависимость между пределом прочности прессованной детали y (МПа) и температурой при прессовании x (град.). Предполагается наличие линейной зависимости между этими показателями. Экспериментально получены следующие данные (таблица 10).

Таблица 10

X	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
Y	110	107	105	98	100	95	95	92	86	83

Введите значения x и y в два столбца электронной таблицы и откройте

окно **Регрессия** (рисунок 14). При заполнении полей этого окна имеется возможность установить (при необходимости) константу β_0 равной нулю, изменить уровень значимости (по умолчанию уровень надежности 0,95 соответствует уровню значимости 0,05). При необходимости рассчитываются остатки или

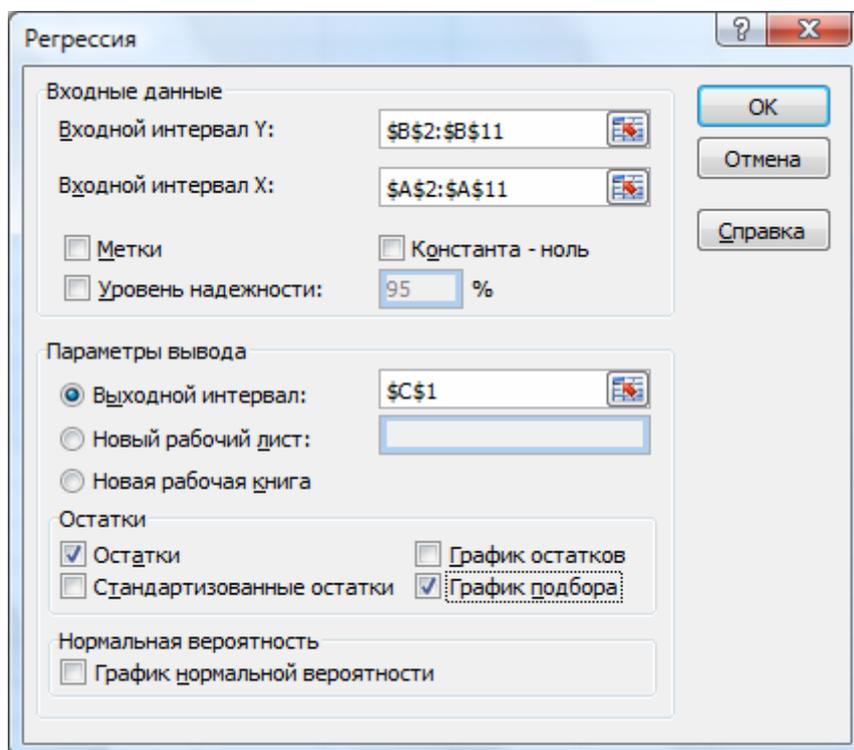


Рисунок 15 - Окно ввода данных для проведения регрессионного анализа

стандартизованные остатки. Могут быть выведены графики остатков, нормальной вероятности и график подбора: диаграмма рассеяния с нанесенной на нее расчетной линией регрессии. Поставьте флажки для вывода остатков (при этом одновременно будут найдены и прогнозируемые значения отклика) и построения графика подбора.

В таблице 11 **Регрессионная статистика** приведены, в частности, коэффициент детерминации **R**-квадрат и стандартная ошибка, в таблице **Дисперсионный анализ** рассчитана статистика Фишера и приведено **p**-значение, определяющее значимость модели: регрессионная модель значима, если вероятность ошибки **p** меньше заданного уровня значимости (напомним, что по умолчанию оно равно 0,05). В таблице с коэффициентами модели приведены оценки β_0 (**Y**-пересечение) и β_1 (Переменная **X**), их стандартные ошибки, значения статистик Стьюдента, их значения, доверительные интервалы. В графе **Вывод остатка**, кроме остатков, приведены прогнозируемые (предсказанные) значения **y**.

Из этих таблиц следует, что искомая модель имеет вид:

$$y = 178,109 - 0,568x_i$$

модель значима, поскольку значимость $p = 5.8 \cdot 10^{-7} \ll 0.05$; коэффициент

детерминации $R^2 = 0,962$.

Таблица 11

x	Y	ВЫВОД ИТОГОВ					
120	110	Регрессионная статистика					
125	107	Множественный R	0,981				
130	105	R-квадрат	0,962				
135	98	Нормированный R-квадрат	0,957				
140	100	Стандартная ошибка	1,815				
145	95	Наблюдения	10				
150	95	Дисперсионный анализ					
155	92		Df	SS	MS	Значимость F	
160	86	Регрессия	1	666.55	666,5	202.4	5,8E-07
165	83	Остаток	8	26.352	3,294		
		Итого	9	692.9			
		Коэффициенты	Стандартная ошибка	t	P	Нижние 95	Верхние 95
	Y-пересечение	178,109	5,7236	31.118	1E-09	164.9	191.308
	Пер X 1	-0,568	0,04	-14.23	6E-07	-0.66	-0.4763
	ВЫВОД ОСТАТКА						
	Наблюдения	Предсказанное Y	Остатки				
	1	109.89	0,1091				
	2	107.05	-0,048				
	3	104.21	0,7939				
	4	101.36	-3,364				
	5	98.52	1,4788				
	6	95.68	-0,679				
	7	92.84	2,1636				
	8	89.99	2,0061				
	9	87.15	-1,152				
	10	84.31	-1,309				

Рассмотрим теперь решение этой же задачи с использованием инструмента **Линия тренда**. По исходным данным, используя мастер диаграмм, постройте точечную диаграмму (рисунок 16) и вызовите контекстное меню, щелкнув правой кнопкой мыши по одной из точек диаграммы. Выберите пункт **Добавить линию тренда**.

На вкладке «Тип» выбираете тип линии тренда (рисунок 17).

При необходимости на вкладке «Параметры» можно ввести наименование линии, сделать прогноз, установить на нулевое значение параметров (рисунок 18). На рисунке 19 показан построенный график с уравнением модели и коэффициентом детерминации.

Используя этот же метод, найдите самостоятельно зависимость давления в системе от времени выдержки.

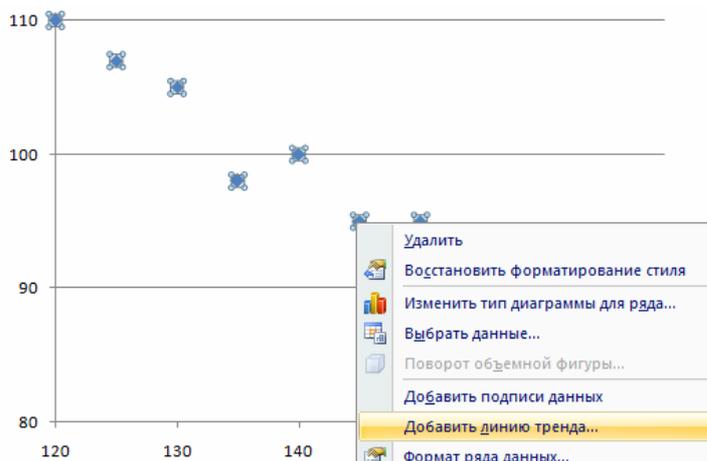


Рисунок 16 - Вызов контекстного меню

Параметры линии тренда

Построение линии тренда (аппроксимация и сглаживание)

- Экспоненциальная
- Линейная**
- Логарифмическая
- Полиномиальная Степень:
- Степенная
- Линейная фильтрация Точки:

Рисунок 17 - Выбор типа линии тренда

Название аппроксимирующей (сглаженной) кривой

- автоматическое: Линейная (Ряд 1)
- другое:

Прогноз

вперед на: периодов

назад на: периодов

пересечение кривой с осью Y в точке:

показывать уравнение на диаграмме

поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации (R^2)

Рисунок 18 - Установка параметров

Задание. Давление в системе y в мегапаскалях (МПа) в зависимости от

времени выдержки x в минутах может быть аппроксимировано линейной или параболической зависимостями. Оценить параметры этих зависимостей и выяснить, какая из них лучше отображает результаты наблюдений, если получены следующие опытные данные (таблица 12):

Таблица 12

x	0	1	2	3	4
y	0.392	0.216	0.100	0.044	0.04

Опробуйте не только модели, которые были рассмотрены при выполнении примера, но и экспоненциальную, полиномы различных степеней. Обратите внимание на то, что не любая из имеющихся моделей может быть выбрана. Почему? Выберите по-возможности оптимальную модель, т.е. с достаточно высоким коэффициентом детерминации, но не слишком громоздкую (очевидно, что чем выше степень полинома, тем ближе кривая линия к опытным точкам). В каком случае коэффициент детерминации точно равен единице? Поясните этот результат. Постройте различные варианты нелинейных регрессий для ранее рассмотренной задачи оценки предела прочности.

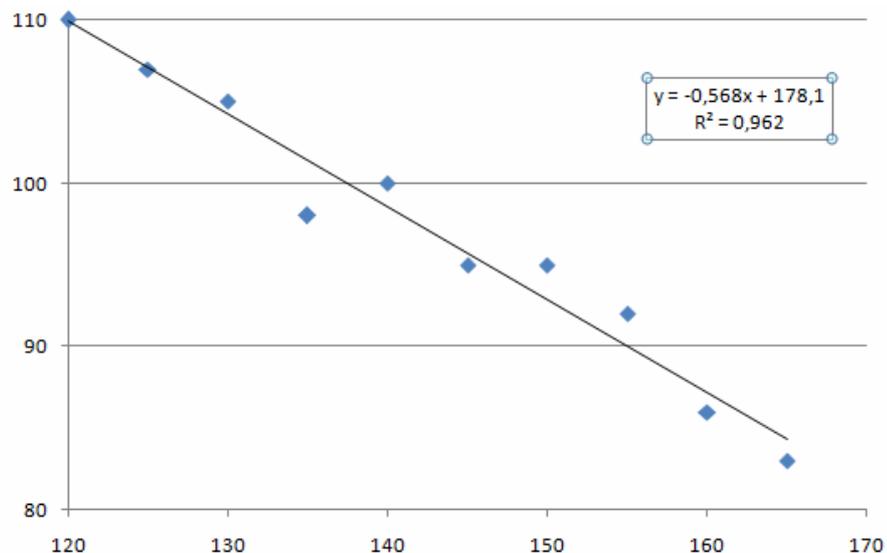


Рисунок 19 - Результат расчета

Множественная регрессия

Изучалось влияние на влажность вафельного листа y времени выдержки листа в печи x_1 , температуры печи x_2 и влажности теста x_3 . Проведено 20 наблюдений (таблица 13).

Требуется построить модель множественной линейной регрессии, предполагая наличие линейной связи между влажностью вафельного листа и тремя указанными факторами.

Таблица 13

№ п/п	y	x1	x2	x3	№ п/п	Y	x1	x2	x3
1	3.1	2.5	180	63	11	2.9	3	180	63
2	3.4	2.5	180	64	12	9.0	3	180	64
3	3.5	2.5	180	65	13	3.1	3	180	65
4	3.2	2.5	180	63	14	2.8	3	180	63
5	3.3	2.5	180	64	15	2.9	3	180	64
6	3.4	2.5	200	65	16	2.9	3	200	65
7	3.2	2.5	200	63	17	2.7	3	200	63
8	3.3	2.5	200	64	18	2.8	3	200	64
9	3.4	2.5	200	65	19	2.9	3	200	65
10	3.2	2.5	200	63	20	2.8	3	200	63

Введите исходные данные в столбцы. Воспользуйтесь инструментом **Регрессия** из пакета **Анализ данных**. При вводе входного интервала X выделите мышью все три столбца с независимыми переменными. Результаты расчета частично показаны в таблице 12. Полученная модель имеет вид:

$$y = -1,0506 - 0,84x_1 - 0,0041x_2 + 0,1132x_3.$$

Модель значима (см. значимость F), все факторы также значимы: это следует из того, что все p -значения для переменных меньше 0,05. Результат расчета множественной регрессии таблица 14.

Если бы некоторые из факторов (регрессоров) оказались незначимы, можно было бы попытаться построить новую модель, удалив их из нее. Более корректно в этой ситуации воспользоваться пошаговой регрессией. В Excel средств пошаговой регрессии нет, можно использовать систему Statistica.

Задание. Решите самостоятельно еще одну задачу.

Застройщик оценивает группу зданий в деловом районе. Его интересуют общая площадь здания x_1 , количество офисов x_2 , количество входов x_3 , время эксплуатации здания x_4 . Наугад выбираются 11 зданий из 1500. Исходные данные приведены в таблице (0,5 входа означает вход только для доставки корреспонденции), y — цена здания в тыс. у.е. (таблица 15).

Предполагается наличие линейной связи между ценой и факторами. Найдите коэффициенты модели, проверьте значимость модели и факторов.

Застройщик выбрал здание площадью 2500 м², с тремя офисами, двумя входами, время эксплуатации — 25 лет. Определите его оценочную стоимость по полученной модели.

Таблица 14

ВЫВОД ИТОГОВ					
Регрессионная статистика					
R	0,9716				
R-квадрат	0,9441				
Нормированный R	0,9336				
Стандартная ошибка	0,0631				
Наблюдения	20				
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	3	1.0744	0.35813	90.07	3,104E-10
Остаток	16	0.0636	0.00398		
Итого	19	1.138			
	Коэффициент		Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение
Y-пересечение	-1,0506		1,1045	-0,9521	0,35564
Переменная X1	-0,84		0,0564	-14,894	8,5E-11
Переменная X2	-0,0041		0,0014	-2,9095	0.01024
Переменная X3	0,1132		0,0171	6,62251	5.9E-06

Таблица 15

№ п/п	x1	x2	X3	x4	y
1	2310	2	2	20	142
2	2333	2	2	12	144
3	2356	3	1.5	33	151
4	2379	3	2	43	150
5	2402	2	3	53	139
6	2425	4	2	23	169
7	2448	2	1.5	99	126
8	2471	2	2	34	142
9	2494	3	3	23	163
10	2517	4	4	55	169
11	2540	2	3	22	149

4 Лабораторная работа 4. Статистические методы в среде электронных таблиц Excel. Контрольные карты Шухарта

Цель работы: Освоить методику построения контрольных карт в среде электронных таблиц Excel.

Ход работы.

Существуют контрольные карты по количественным признакам (для непрерывных значений) и по качественным признакам (для дискретных значений). По количественным признакам используют в основном следующие контрольные карты:

- карта средних арифметических значений (\bar{x} -карта);
- карта медиан (\tilde{x} -карта);
- карта средних квадратичных отклонений (s-карта);
- карта размахов (R-карта);
- карта индивидуальных значений (x-карта).

По качественным признакам (или по альтернативному признаку) различают следующие контрольные карты:

- карта доли дефектной продукции (p-карта);
- карта числа дефектных единиц продукции (np-карта);
- карта числа дефектов (c-карта);
- карта числа дефектов на единицу продукции (u-карта).

Карты по количественному признаку

В цехе принято решение перевести на статистическое регулирование технологический процесс изготовления болта на автоматах. За показатель качества выбран диаметр болта, равный 26 мм, и его допускаемые отклонения: $e_s = -0,005$ мм; $e_i = -0,019$ мм. Построить контрольную $\bar{x}-s$ -карту и провести по ней статистический анализ процесса. Для упрощения измерений и вычислений измерительный прибор (рычажная скоба) был настроен на размер 25,980 мм. Результаты измерений (отклонения от размера 25,980 мм в микрометрах) приведены в таблице 16.

В ячейку A1 новой книги Excel вводим заголовок работы. В диапазон A4:F24 вводим исходные данные (номера выборок и результаты контроля).

Вначале рассчитываем данные для построения контрольной карты средних значений. В ячейке G5 рассчитываем среднее значение первой выборки при помощи статистической функции СРЗНАЧ. Полученную формулу копируем в диапазон G6:G24.

В ячейке H5 рассчитываем значение $\bar{\bar{x}}$ (среднюю линию) как среднее из средних значений выборок при помощи статистической функции СРЗНАЧ. В полученной формуле для диапазона ячеек вводим абсолютную адресацию и копируем формулу в диапазон H6:H24. Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем можно было провести среднюю линию на контрольной карте.

В ячейке I5 рассчитываем нижнюю контрольную границу $K_{н.}$. Формула в

ячейке будет выглядеть так: =Н5-3*В26/КОРЕНЬ(5). Указав абсолютную адресацию для имён ячеек, копируем формулу из ячейки I5 в диапазон I6:I24. Это необходимо, чтобы в дальнейшем провести границу на карте.

Таблица 16

Цех автоматный		Оборудование – токарный автомат 5803		Контролируемая операция – нарезание резьбы		Контролируемый параметр – -0,005 Ø 26 -0,019	
Объём контроля N=100		Объём выборки n=5		Средство контроля – рычажная скоба			
Время	№ выборки	Результаты контроля					
7.00	1	10	3	5	14	10	
8.00	2	2	14	8	13	11	
9.00	3	12	12	3	8	10	
10.00	4	12	14	7	11	9	
11.00	5	10	11	9	15	7	
12.00	6	11	12	11	14	12	
13.00	7	15	11	14	8	3	
14.00	8	12	14	12	11	11	
15.00	9	11	7	11	13	9	
16.00	10	14	10	9	12	8	
7.00	11	9	11	14	10	13	
8.00	12	13	13	6	4	13	
9.00	13	5	8	3	3	4	
10.00	14	8	5	6	9	13	
11.00	15	8	4	9	5	8	
12.00	16	4	12	10	6	10	
13.00	17	10	6	13	10	5	
14.00	18	7	9	12	1	7	
15.00	19	4	7	6	7	12	
16.00	20	10	10	6	9	3	

В ячейке J5 рассчитываем верхнюю контрольную границу, и после указания абсолютной адресации для имён ячеек копируем формулу из ячейки J5 в диапазон J6:J24.

В ячейках K5 и L5 рассчитываем значения нижнего и верхнего технических допусков, вводя в них формулы =26000-19-25980 и =26000-5-25980 соответственно. Эти формулы копируем также в диапазон K6:L24.

Далее рассчитываем данные для построения контрольной карты средних квадратичных отклонений. В ячейке M5 рассчитываем среднее квадратичное

отклонение первой выборки и копируем полученную формулу в диапазон М6:М24. В ячейке N5 рассчитываем среднее из СКО выборок, и после указания абсолютной адресации копируем формулу в диапазон N6:N24. В ячейке O5 рассчитываем нижнюю контрольную границу по формуле $=N5*КОРЕНЬ(ХИ2ОБР(1-0,0027/2;4)/5)$ и копируем формулу в диапазон O6:O24. В ячейке P5 рассчитываем верхнюю контрольную границу и копируем содержимое ячейки в диапазон P6:P24.

Полученная электронная таблица показана на рисунке 20. По расчётным значениям строим $\bar{x} - s$ -карту.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Лаб. работа 8. Контрольные карты по количественному признаку															
2																
3							Карта средних значений						Карта СКО			
4	№ выборки	Результаты контроля					Хср	Хср ср	Кн	Кв	Тн	Тв	S	Сср	Кн	Кв
5	1	10	3	5	14	10	8,4	9,15	4,5	13,8	1	15	4,39	3,05	0,44	5,76
6	2	2	14	8	13	11	9,6	9,15	4,5	13,8	1	15	4,83	3,05	0,44	5,76
7	3	12	12	3	8	10	9	9,15	4,5	13,8	1	15	3,74	3,05	0,44	5,76

Рисунок 20 - Расчёт контрольных карт

Точечная диаграмма, на которой значения соединены отрезками. В качестве исходных данных выделяем диапазон А5:А24, G5:L24. Полученную диаграмму редактируем при помощи контекстного меню, а также наносим обозначения контрольных границ при помощи инструмента **Надпись** панели инструментов **Рисование**.

Аналогичным образом строим s-карту.

Чтобы получить из двух построенных карт единый объект, совмещаем их по длине (например, прижав к левому краю электронной таблицы), одновременно выделяем щелчками левой кнопкой мыши на каждой диаграмме при нажатой клавише Shift и группируем командой **Группировать**, вызываемой из инструмента **Действия** панели инструментов **Рисование**. Полученная контрольная $\bar{x} - s$ -карта показана на рисунке 21.

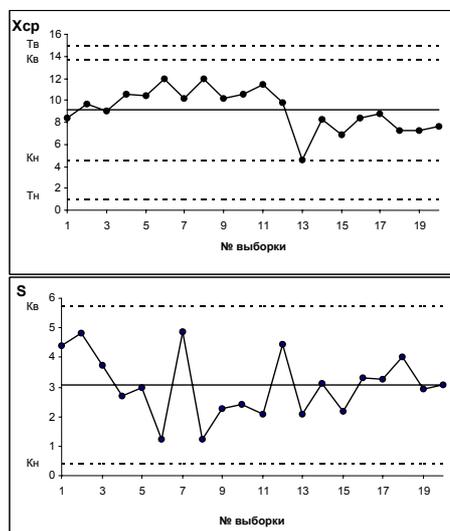


Рисунок 21 - $\bar{x} - s$ -карта

Анализ контрольной карты показывает, что рассеяние диаметра болта приемлемо, и по рассеянию процесс стабилен (оборудование настроено достаточно точно), поскольку на s -карте нет показаний разлаженности процесса. Однако на \bar{x} -карте имеются серии из девяти точек (с четвертой по двенадцатую) и из восьми точек (с тринадцатой по двадцатую), расположенных по одну сторону от средней линии. Это указывает на нестабильность процесса. Видимо, в течение процесса, при переходе от двенадцатой к тринадцатой точке изменилось математическое ожидание диаметра. Следует постараться выяснить причину этой нестабильности и провести управляющее воздействие на процесс. После стабилизации контрольную карту следует построить заново.

Задание. Построить контрольную $\tilde{x} - R$ -карту по результатам измерения некоторого параметра качества, представленным в таблице 17. Провести статистический анализ процесса.

Таблица 17

№ выборки	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	47	44	32	35	20
2	19	31	37	25	34
3	19	16	11	11	44
4	29	42	29	59	38
5	28	45	12	36	25
6	40	11	35	38	33
7	15	12	30	33	26
8	35	32	44	11	38
9	27	26	37	20	35
10	23	26	45	37	32
11	28	40	44	31	18
12	31	24	25	32	22
13	22	19	37	47	14
14	37	12	32	38	30
15	25	24	40	50	19
16	7	23	31	18	32
17	38	41	0	40	37
18	35	29	12	48	20
19	31	35	20	24	47
20	27	38	27	40	31
21	42	52	42	24	25
22	31	15	31	3	28
23	27	22	27	32	54
24	34	15	34	29	21
25	37	45	37	14	17

Контрольные карты по качественным признакам

При внедрении статистического регулирования производства изделий получены данные, приведённые в таблице 18. Построить контрольную р-карту и провести по ней статистический анализ процесса.

Результаты расчётов и построений показаны на рисунке 22 и 23.

Таблица 18

№ выборки	Объём выборки	Число дефектных изделий	№ выборки	Объём выборки	Число дефектных изделий
1	100	2	14	750	15
2	110	2	15	110	3
3	100	1	16	132	5
4	120	3	17	110	3
5	150	3	18	900	20
6	760	10	19	200	4
7	140	2	20	750	16
8	135	4	21	250	3
9	850	17	22	100	1
10	160	2	23	125	2
11	125	2	24	113	3
12	112	2	25	870	20
13	180	3			

На р-карте нет признаков разлаженности процесса. Поэтому процесс следует считать стабильным.

Задание. На целлюлозно-бумажном предприятии при контроле рулонов бумаги одинаковой длины в течение 25 дней было выявлено количество дефектов на один рулон, представленное в таблице 19. Построить по имеющимся данным контрольную карту и определить, является ли технологический процесс стабильным.

№ выборки	Объём выборки	Число деф. изд.	P	Pср	Кн	Кв
1	100	2	0,02	0,019872	-0,022	0,06174
2	110	2	0,018182	0,019872	-0,02005	0,059791
3	100	1	0,01	0,019872	-0,022	0,06174
4	120	3	0,025	0,019872	-0,01835	0,058082
5	150	3	0,02	0,019872	-0,01431	0,054057
6	760	10	0,013158	0,019872	0,004685	0,035059
7	140	2	0,014286	0,019872	-0,01551	0,055257
8	135	4	0,02963	0,019872	-0,01616	0,055906
9	850	17	0,02	0,019872	0,005511	0,034232
10	160	2	0,0125	0,019872	-0,01323	0,052971
11	125	2	0,016	0,019872	-0,01758	0,05732
12	112	2	0,017857	0,019872	-0,01969	0,059433
13	180	3	0,016667	0,019872	-0,01133	0,051078
14	750	15	0,02	0,019872	0,004584	0,035116

Рисунок 22 - Расчёт р-карты

Таблица 19

№ выборки	Число дефектов в рулоне	№ выборки	Число дефектов в рулоне
1	3	14	5
2	4	15	6
3	5	16	3
4	7	17	5
5	3	18	4
6	5	19	6
7	6	20	5
8	2	21	5
9	4	22	7
10	6	23	4
11	3	24	3
12	7	25	6
13	4		

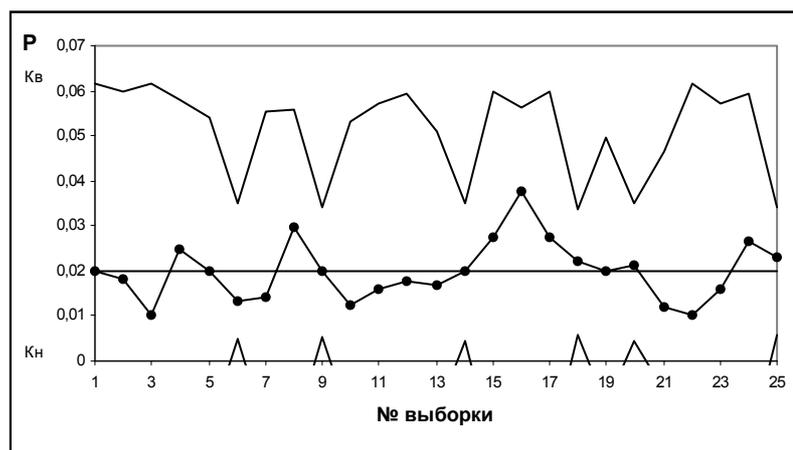


Рисунок 23 - Контрольная p-карта

5 Лабораторная работа 5. Управление качеством с использованием системы Statistica. Основы работы в системе Statistica

Цель работы: Освоить основные приемы анализа данных в системе Statistica.

Ход работы

Подготовка исходных данных.

Загрузите систему Statistica: на экране появляется окно с переключателем модулей (в английской версии — **Module switcher**). С его помощью выбирается необходимый для работы модуль (рисунок 24). Выберите модуль **Основные статистики и таблицы**.

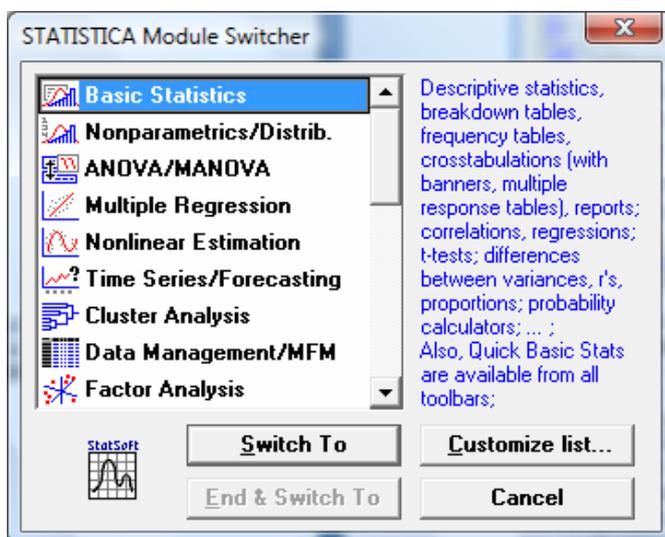


Рисунок 24 - Переключатель модулей

На экране открываются два окна: окно с таблицей исходных данных и стартовая панель. В стартовой панели выбранного модуля (рисунок 25) — перечень методов этого модуля. С помощью кнопки **Данные (Open Data)** можно ввести файл данных для обработки.

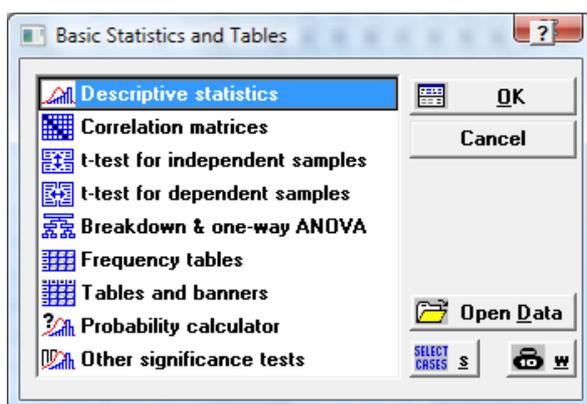


Рисунок 25 - Стартовая панель модуля

Загрузите данные любого примера из папки Examples. Просмотрите структуру данных. Данные представляют электронную таблицу, состоящую из столбцов — переменных (**Variables**) и строк — значений, которые эти переменные принимают — случаев (**Cases**). При активизации таблицы исходных данных стартовая панель сворачивается в кнопку. При необходимости ее можно открыть через меню **Анализ / Стартовая панель**.

Создайте новую таблицу исходных данных: **Файл / Создать (File / New Data)**, выберите нужную папку на диске и введите имя файла. Расширение *sta* будет присвоено файлу по умолчанию: это стандартное расширение файлов исходных данных в системе Statistica.

Новая таблица имеет 10 строк и 10 столбцов. В таблицу надо ввести данные о результатах исследования качества пряжи на двух прядильных машинах: в 15 выборках фиксировалось количество обрывов нити за определенное время. Для изменения размеров таблицы (необходимы два столбца по 15 строк) можно использовать контекстное меню (щелчок по таблице правой кнопкой). Выберите команду **Изменить столбцы (Modify Variables)**, **Удалить (Delete)**. Удалите столбцы с 3-го по 10-й. По аналогии добавьте строки: **Изменить строки (Modify Cases)**, / **Добавить (Add)**, и вставьте 5 строк после 10-й.

Двойным щелчком по первому столбцу откройте окно для задания спецификации первой переменной. Введите имя переменной *M1* (данные по первой машине), установите категорию данных (число), количество десятичных знаков (ноль, так как данные — целые). По аналогии установите спецификации второй переменной. Введите данные в два столбца (таблица 20).

Иногда данные необходимо преобразовать с использованием формул или функций. Добавьте в таблицу с данными третий столбец и в окне спецификации в поле **Длинное имя (Long Name)** введите формулу: $=\text{LOG}(M1+M2)$. В общем случае формула начинается со знака равенства, в ней могут использоваться знаки арифметических и логических операций, встроенные функции (вводятся соответствующей кнопкой), в качестве переменных - имена или номера столбцов. Сохраните полученную таблицу данных.

Таблица 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12	5	14	10	7	10	4	8	5	12	8	14	3	5	9
18	21	15	16	10	24	23	18	14	9	14	12	22	18	14

Определение числовых характеристик.

Для определения числовых характеристик переменных *M1* и *M2* выберите в стартовой панели команду **Описательные статистики (Descriptive statistics)**, с

помощью кнопки **Переменные** выберите из списка переменных нужные для анализа (рисунок 26), и щелкните по кнопке **Подробные описательные статистики (Detailed descriptive statistics)**. В появившемся на экране окне выведены количество наблюдений, среднее значение, стандартное отклонение, минимальное и максимальное значения выборки.

Для возврата в диалоговое окно щелкните по кнопке **Далее (Continue)**. С помощью кнопки **Другие статистики (More statistics)** можно получить и другие статистики, поставив соответствующие флажки: дисперсию (**Variance**), размах (**Range**), коэффициенты асимметрии (**Skewness**) и эксцесса (**Kurtosis**) и др. Для вывода всех статистик используется кнопка **Все (All)**.

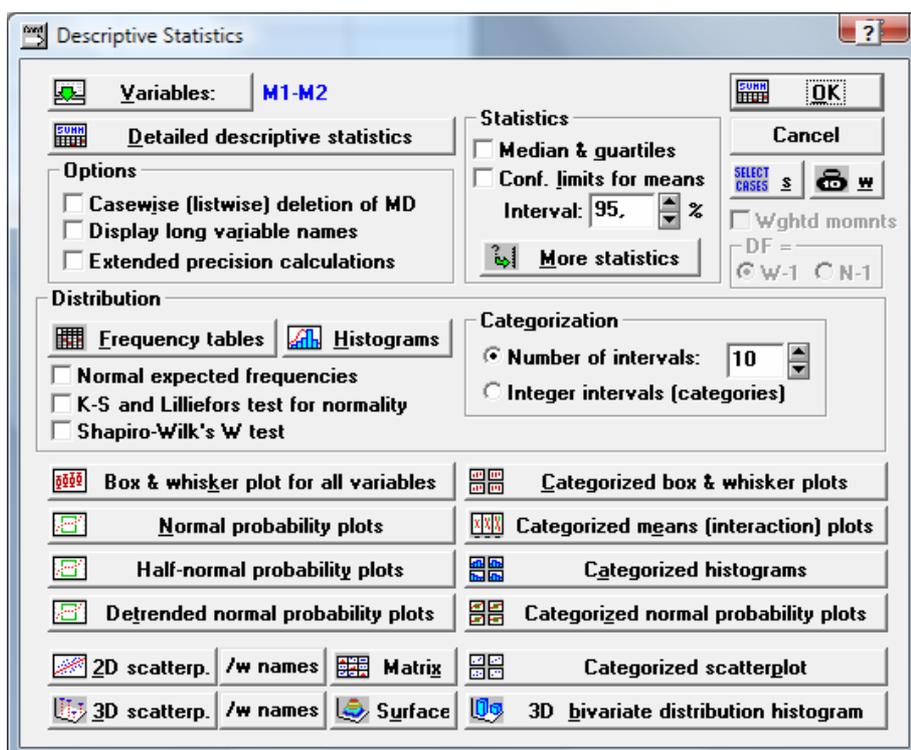


Рисунок 26 - Диалоговое окно описательных статистик

Построение гистограммы.

Для построения таблицы частот и гистограммы можно использовать соответствующие кнопки диалогового окна, показанного на рисунке 26. Большие возможности предоставляет команда **Таблица частот** в стартовой панели. В диалоговом окне **Таблицы частот** укажите переменные **M1** и **M2**, для которых надо построить таблицы частот, в группе **Методы группировки для таблиц и графиков (Categorization methods for table & graph)** пометьте **Число равных интервалов (No of exact intervals)**, укажите 6 интервалов разбиения данных. После нажатия на кнопку **Таблица частот** будет выведено две таблицы для каждой из указанных переменных. В таблицах подсчитаны абсолютные частоты, накопленные значения и соответствующие проценты.

Для построения гистограмм нажмите на соответствующую кнопку, и на экран будут выведены две гистограммы вместе с наложенными на них

кривыми нормального распределения.

Корреляции.

Для анализа степени тесноты линейной связи между переменными может быть построена корреляционная матрица. Вы берите в стартовой панели команду **Корреляционные матрицы**, в окне **Корреляция Пирсона** задайте один из двух возможных типов корреляционных матриц — квадратную или прямоугольную. Введите все три переменные из таблицы исходных данных для анализа.

После щелчка **ОК** получите корреляционную матрицу. Красным цветом в ней выделены корреляции, значимые на уровне значимости 0,05: такой оказалась корреляция между переменными **M2** и **Var3**.

Щелчком по кнопке **Матрица** можно построить матричный график с гистограммами по каждой переменной, диаграммами рассеяния между каждой парой переменных и соответствующими линиями регрессии (рисунок 27).

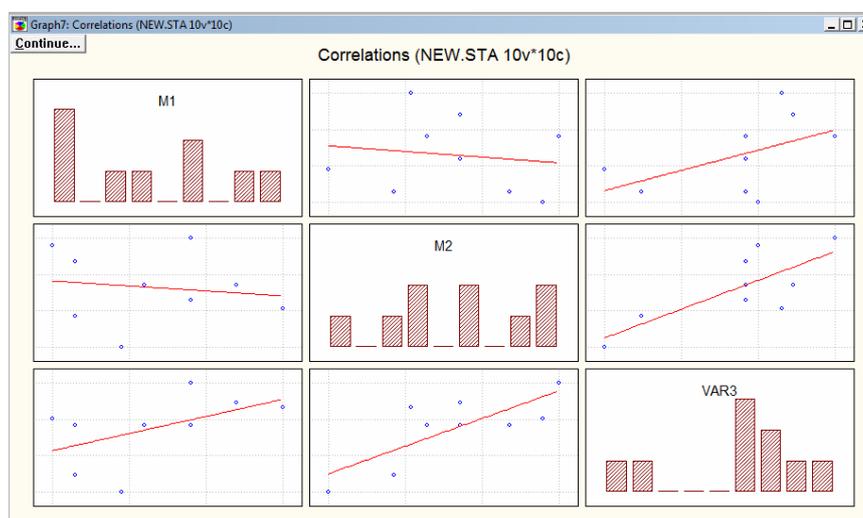


Рисунок 27 - Матричный график

При сохранении на диске таблиц с результатами анализа им присваивается расширение `scr`. Если же эти таблицы необходимы для дальнейшей обработки и будут использоваться как таблицы исходных данных, то их необходимо сохранить с расширением `sta` (**File / Save as data**). Сохраните корреляционную матрицу в обоих форматах.

Графики могут быть сохранены в одном из трех форматов: специальном графическом формате с расширением `stg`, в формате Windows-метафайлов (`*.wmf`) или растровом графическом формате (`*.bmp`). Для этого при выделенном на экране графике выбирается соответствующая команда меню **Файл**. Сохраните матричный график в каждом из этих форматов.

6 Лабораторная работа 6. Управление качеством с использованием системы Statistica. Методы оценки качества

Цель работы: Освоить методы анализа качества с использованием системы Statistica.

Ход работы:

Качество экспертных оценок

Оценим степень тесноты связи мнений двух экспертов при оценке качества жемчуга.

Задание. Два эксперта проводят органолептический анализ жемчуга: ранжируют по убыванию качества 10 жемчужин. Результаты представлены в таблице 21

Таблица 21

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Эксперт 1	2	1	3	4	6	5	8	7	10	9
Эксперт 2	3	2	1	4	6	7	5	9	10	8
d_i	-1	-1	2	0	0	-2	3	-2	0	1
$(d_i)^2$	1	1	4	0	0	4	9	4	0	1

Подготовьте таблицу исходных данных (2 столбца по 10 строк) и введите результаты экспертного оценивания. Сохраните файл под именем Lab221.sta.

Для оценки коэффициентов ранговой корреляции (рисунок 28) используется модуль **Непараметрическая статистика (Nonparametrics / Distrib)**. В стартовой панели модуля выберите опцию **Корреляции**. В появившемся окне определите переменные (это данные ранжировок двух экспертов), в поле **Корреляция** выберите **Тау Кендалла**, в поле **Вычислить**

Continue...		MD pairwise deleted			
Pair of Variables		Valid N	Kendall Tau	Z	p-level
M1	& M2	10	-,091960	-,370132	,711284

Рисунок 28 - Результаты расчета коэффициента ранговой корреляции.

После щелчка по кнопке ОК получите таблицу с результатами: коэффициент ранговой корреляции Кендалла, значение статистики Z для проверки его значимости и вероятность p или p -значение, показывающее, на каком уровне корреляция значима. Поскольку обычно используется вероятность ошибки первого рода, равная 0,05, то при $p < 0,05$ корреляция

значима.

По аналогии найдите коэффициент ранговой корреляции Спирмена и проверьте его значимость. Напомним, что и тот, и другой коэффициенты равны единице при полном совпадении мнений экспертов.

Качество другой группы из семи жемчужин оценивалось пятью экспертами. Результаты представлены в таблице 22.

Таблица 22

Эксперт	1	2	3	4	5	6	7
Эксперт А	2	4	3	7	5	1	6
Эксперт В	4	5	2	3	6	1	7
Эксперт С	1	3	2	4	6	5	7
Эксперт D	3	1	4	2	7	6	5
Эксперт E	1	3	5	7	6	2	4

Введите данные в электронную таблицу Lab222.sta (7 столбцов и 5 строк). Для оценки степени совпадения мнений группы экспертов используется коэффициент конкордации, определяемый в том же модуле непараметрических статистик. Выберите опцию **Friedman ANOVA & Kendall's concordance**. В таблице с результатами расчета приведены статистические характеристики ранжировок и значение коэффициента конкордации ($W=0,47$).

Жемчужины могут быть проранжированы с учетом мнений всех экспертов по среднему или суммарному рангам, приведенным в таблице.

Регрессионные модели показателей качества

Исследовался процесс правки шлифовальных кругов. Один из показателей качества правки — амплитуда колебаний y , зависящая от глубины снимаемого слоя абразива x_1 зернистости x_2 и твердости x_3 шлифовального круга. Проводился полный двухуровневый трехфакторный эксперимент, в таблице 23 приведены усредненные значения амплитуды колебаний по трем опытам; значения твердости x_3 приведены в кодированном виде.

Таблица 23

№ п/п	Y	x_1	x_2	x_3
1	0.032	0.01	16	0
2	0.065	0.02	16	0
3	0.021	0.01	40	0
4	0.040	0.02	40	0
5	0.042	0.01	16	1
6	0.076	0.02	16	1
7	0.027	0.01	40	1
8	0.055	0.02	40	1

Требуется построить регрессионную модель вида

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 .$$

Подготовьте таблицу исходных данных и загрузите соответствующий модуль. Введите переменные – зависимую (**Dependent**) Y и независимые (**Independent**) X_1, X_2, X_3 . Установите Файл ввода (**Input file**) – **raw data** (исходные данные; возможная альтернатива – ввод корреляционной матрицы) и **Тип регрессии (Mode)** – **standard** (стандартная линейная модель: возможная альтернатива – фиксированная нелинейная модель; нелинейные модели общего вида рассчитываются с использованием модуля **Нелинейное оценивание**) (рисунок 29). После щелчка по кнопке **ОК** появляется окно **Определение модели (Model definition)**, с помощью которого можно установить нулевое значение параметра β_0 , при необходимости перейти к пошаговой регрессии или построению гребневых оценок.

Практически сразу появится окно с результатами расчета (рисунок 30). В верхней (информационной) части окна приведена краткая сводка результатов, в частности, коэффициент детерминации R^2 (0,972), статистика Фишера $F(47,15)$ и соответствующее p -значение (0,0014), определяющее значимость модели (модель значима при $p < 0,05$). Значимые параметры модели выделены красным цветом.

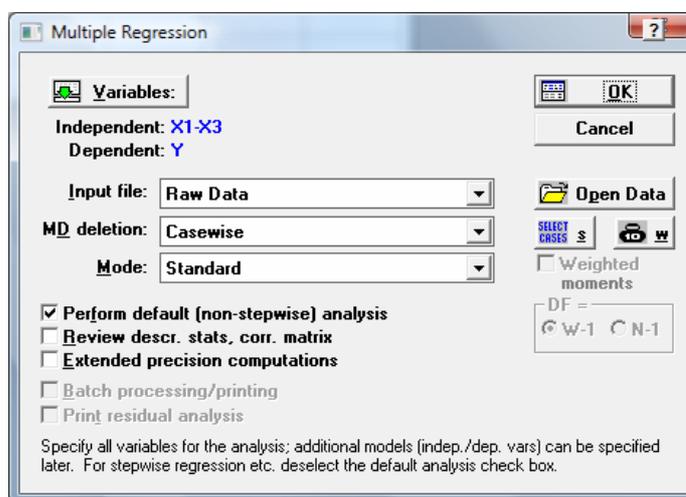


Рисунок 29 - Настройка регрессии

Для получения более подробной информации щелкните по кнопке **Итоговая таблица регрессии** (рисунок 31). В колонке B — искомые параметры модели. Уравнение модели имеет вид:

$$y = 0,01775 + 2,85x_1 - 0,00075x_2 + 0,0105x_3$$

В колонках справа приведены стандартные ошибки, значения статистики Стьюдента и p -значения, свидетельствующие о значимости параметров

($p < 0.05$). В колонках слева даны значения параметров для стандартизованной модели и их стандартные ошибки.

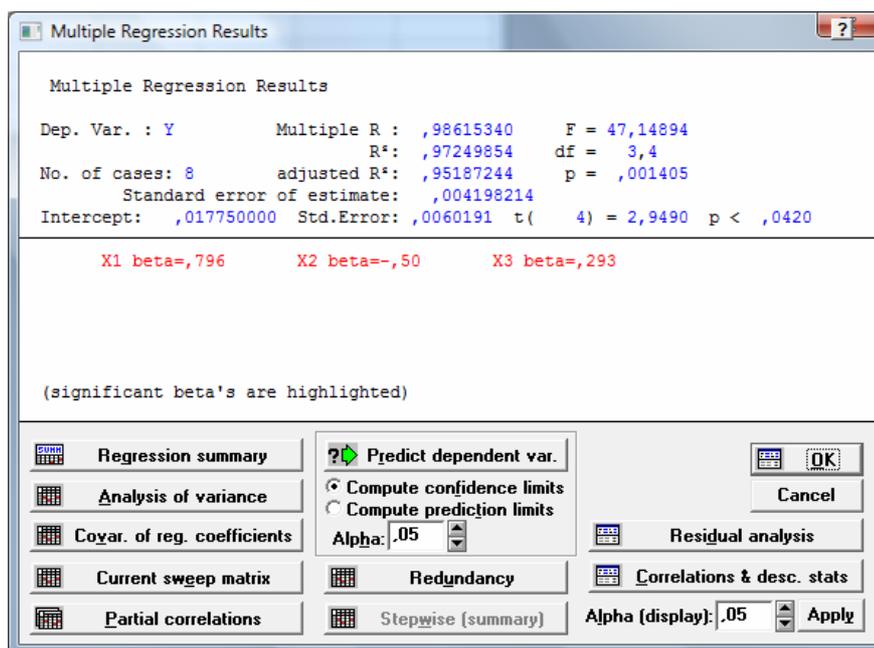


Рисунок 30 - Окно с результатами регрессии

N=8	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(4)	p-level
Intercept			,017750	,006019	2,94896	,042013
X1	,796055	,082918	2,850000	,296859	9,60053	,000658
X2	-,502772	,082918	-,000750	,000124	-6,06349	,003735
X3	,293284	,082918	,010500	,002969	3,53704	,024077

Рисунок 31 - Итоговая таблица регрессии

Еще более подробные результаты могут быть получены после выбора других кнопок: дисперсионного анализа модели, анализа ковариаций и др. На рисунке 32 показано окно анализа остатков, иллюстрирующее возможности этой опции.

В учебных целях опробуем построение других типов моделей. Одна из часто используемых разновидностей фиксированных нелинейных моделей — мультипликативная модель (построим ее по двум факторам):

$$y = \beta_0 x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2}$$

Для линеаризации модели используется логарифмирование. Его можно провести, подготовив в таблице исходных данных столбцы с логарифмами соответствующих величин.

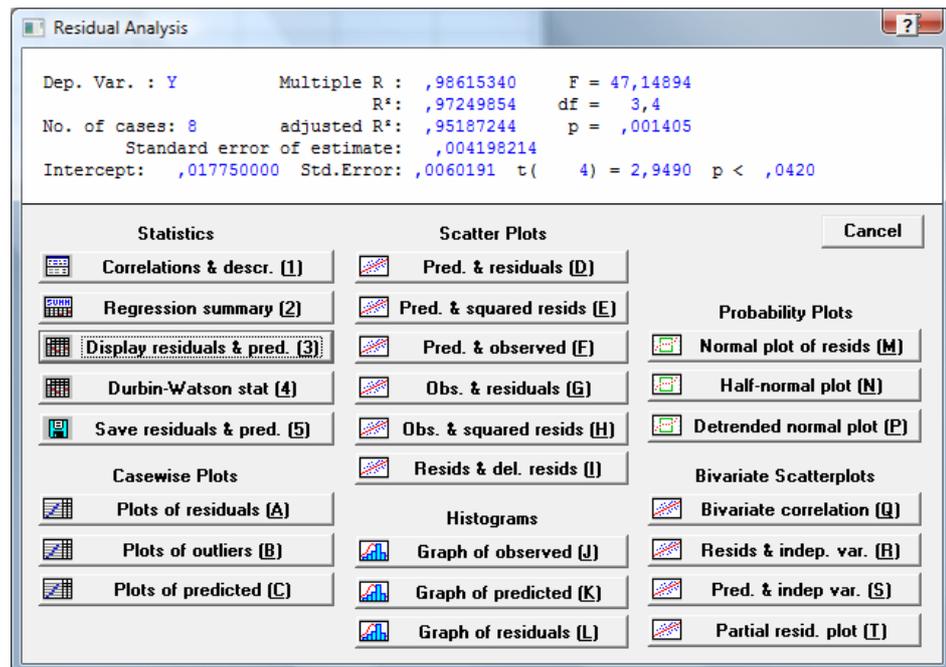


Рисунок 32 - Окно для анализа остатков

Однако в пакете предусмотрены более удобные средства работы с фиксированными нелинейными моделями. В окне множественной регрессии выберите **Тип регрессии (Mode) - Фиксированная нелинейная (Fixed non-linear)**, после щелчка по кнопке **ОК** выберите нужное преобразование переменных.

Данные с натуральными логарифмами от всех выбранных переменных будут автоматически подготовлены. В окне определения модели в качестве переменных укажите теперь логарифмы соответствующих величин.

Проведите расчет. По каким показателям качества эта модель лучше или хуже предыдущей?

Опробуйте теперь построение неполной квадратичной модели вида:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_1 x_2 + \beta_5 x_2 x_3 + \beta_6 x_3 x_1.$$

Для этого в таблицу исходных данных добавьте столбцы, значения элементов которых рассчитываются как парные произведения факторов (например, в окне спецификации столбца X1X2 введите формулу =X1*X2 и проведите перерасчет данных).

Повторите регрессионный анализ, введя в качестве независимых переменных X1, X2, X3, X1X2, X2X3, X3X1.

Проведите пошаговую регрессию. Щелкнув по кнопке **Отмена (Cancel)**, вернитесь в окно **Model definition**, установите пошаговую регрессию с исключением (**Backward stepwise**), в поле вывода результатов укажите — **Показывать каждый шаг**. Щелкая по кнопке **Далее (Next)**, проводите пошаговую регрессию до тех пор, пока не остаются только значимые регрессоры (показанные красным цветом). Сравните полученную модель с

двумя предыдущими.

Оценка качества измерений

Качество измерений определяется их повторяемостью и воспроизводимостью. Сопоставляется характеристика качества объекта с влиянием качества измерительного устройства и квалификации операторов, производящих измерения. Анализировался процесс производства малых печей, используемых для сушки материалов. Печи должны работать при температуре около 100 градусов Цельсия. Пять операторов производят замеры восьми печей по три измерения каждой печи.

Для разработки плана испытаний в модуле **Анализ процессов** используется опция **Повторяемость и воспроизводимость (Gage repeatability & reproducibility) / Разработка плана (Generate a design)**. Введите количество операторов — 5, количество объектов — 8, количество испытаний — 3. Щелкнув по кнопке **ОК**, получите план эксперимента из 120 опытов. Результаты испытаний по этому плану приведены в файле `temperat.sta` в числе примеров пакета Statistica в папке `Examples`. В первом столбце представлены имена операторов, во втором — номера измеряемых печей, в третьей — номера испытаний, в четвертой — результаты измерений (температура).

Для анализа результатов испытаний используется опция **Повторяемость и воспроизводимость (Gage repeatability & reproducibility) / Анализ эксперимента (Analyze a study)**. Введите имена соответствующих переменных (рисунок 33) и просмотрите результаты.

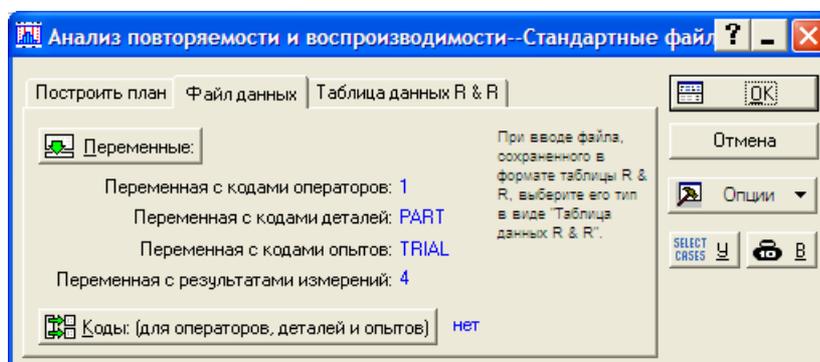


Рисунок 33 - Ввод данных для анализа качества измерений

Две таблицы описательных статистик (**descriptive statistics**) по операторам и печам дают характеристики каждого оператора и каждой печи.

Можно провести расчет и по методу размахов, и методами дисперсионного анализа. Таблица дисперсионного анализа (рисунок 34) показывает составляющие дисперсии измерений температуры — суммы квадратов, числа степеней свободы и средние квадраты; здесь же указаны проценты от суммы квадратов, судя по которым, 85% различий в измерениях связано с различием самих печей, 8% — с разной квалификацией операторов.

На результирующем графике (рисунок 35) представлены индивидуальные

измерения каждого оператора в виде отклонений от среднего значения для каждого измерения. Поля вокруг результатов показывают смещение измерений для каждого оператора. Измерительная система считается качественной, если результаты повторных измерений имеют несущественные различия между собой и разница в показаниях операторов незначима по сравнению с разницей показаний по сравнению с разницей показаний по контролируемым объектам — печам.

Компоненты дисперсии; перемен: MEASURE (Temperat.sta)						
Сред=102.025 Ст.от.=8.10851						
Операторы: 5 Дет.: 8 Опыты: 3						
Источ. (Ожидаем. СС)	Оценен. сигма	.90 Нижн дов.пред	.90 Верх дов.пред	Оценен. дисперс.	% от R & R	% от общей
Повторяемость	2.260099	2.002759	2.60126	5.10805	45.8214	6.8373
Оператор	2.457577	1.454742	5.96436	6.03968	54.1786	8.0843
Взаимодейств(ОД)	0.000000	0.000000	0.83863	0.00000	0.0000	0.0000
Деталь-Деталь	7.972531	5.175135	14.69231	63.56125		85.0785
Комбинир.R & R	3.338822	2.689442	6.29107	11.14773	100.0000	14.9215
Общая	8.643436			74.70898		100.0000

Дисперсионный анализ (Temperat.sta)					
(.9000 дов.инт-п для ст.откл.)					
Перемен.: MEASURE					
Источник дисперсии	Суммы квадр.	сс	Средн. квадр.	F	p
Операторы (перемен.: OPERATOR)	596.385	4	149.0963	35.9800	0.0000
Детали (переменная: PART)	6702.939	7	957.5626	231.0795	0.0000
Операторы-детали	116.028	28	4.1439	0.8112	0.7286
Изм. (ошибка)	408.644	80	5.1080		
Общий	7823.996	119			

Рисунок 34 - Результаты дисперсионного анализа



Рисунок 35 - Итоговый график повторяемости и воспроизводимости по результатам измерения температуры печей

7 Лабораторная работа 7. Управление качеством с использованием системы Statistica. Контроль технологического процесса

Цель работы: Освоить построение и анализ контрольных карт по количественному и качественному признаку в системе Statistica.

Ход работы:

При анализе технологического процесса в течение 25 часов каждый час отбиралось по пять проб, которые анализировались в химической лаборатории. Необходимо построить по имеющимся данным, указанным в таблице 24, контрольную карту средних значений, карту размахов и определить, является ли технологический процесс стабильным.

Таблица 24

№ выборки	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	№ выборки	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
1	9	7	6	5	7	14	3	13	9	14	17
2	7	6	11	11	12	15	12	8	6	3	8
3	14	3	8	7	9	16	11	12	17	10	16
4	10	8	14	15	15	17	11	13	12	10	12
5	9	7	4	5	4	18	14	14	9	14	18
6	11	8	12	6	16	19	12	7	5	8	6
7	10	8	4	3	3	20	10	9	12	10	14
8	12	11	14	11	15	21	10	8	9	7	5
9	9	7	5	5	5	22	8	10	14	11	16
10	7	14	10	8	17	23	8	10	6	14	15
11	8	8	9	4	8	24	14	9	5	15	13
12	6	9	14	11	15	25	8	6	11	4	7
13	5	9	12	12	10						

Открываем программу STATISTICA командой **Пуск / Программы / STATISTICA 6.0 / STATISTICA**. В открывшемся окне закрываем ранее сохраненные документы и открываем новый документ при помощи команды **Файл / Новый**. При этом открывается диалоговое окно **Создание нового документа**, в котором имеются 4 вкладки: **Электронные таблицы**; **Отчет**; **Макрокоманда программы (SVB)**; **Книга**. Вкладка **Электронные таблицы** позволяет в строке **Количество** выбрать количество исследуемых переменных (характеристики, описывающие анализируемые свойства), а в строке **Число регистров** общее число имеющихся данных. Группа переключателей **Размещение** вкладки **Электронные таблицы** позволяет выбрать размещение

электронной таблицы либо **В новой рабочей книге**, либо **Как автономное окно**. Вкладка **Макрокоманда программы (SVB)** позволяет использовать макрокоманду, написанную на языке STATISTICA BASIC при обработке данных. Вкладка **Отчет** содержит группу переключателей **Размещение отчета** и позволяет выбрать размещение отчета после обработки данных или **В новой рабочей книге**, или **Как автономное окно**. Вкладка **Книга** позволяет вывести новую книгу, содержащую таблицу размером 10 строк × 10 столбцов. Во вкладке **Электронные таблицы** в строке **Количество** выбираем 3 исследуемые переменные (1-идентификатор выборок, 2- номер переменной в выборке, 3 – исследуемые данные), а в строке **Число регистров** – 125 исследуемых переменных, в группе переключателей **Размещение** щелчком левой кнопки мыши выбираем **Как автономное окно** и нажимаем кнопку **ОК**. В результате программа создает таблицу, изображенную на рисунке 36.

	1 Var1	2 Var2	3 Var3
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Рисунок 36 - Электронная таблица в Statistica

Для изменения названия переменных (или исследуемых свойств) щелкаем дважды мышкой на названии переменных **Var 1**, **Var 2** и **Var 3**. Программа выведет диалоговые окна **Variables 1**, **Variables 2** и **Variables 3** соответственно. В строке **Name** вводим названия переменных, например, **Номер выборки**, **Номер данных в выборке** и **Показатель качества**. В строке **Код MD** выбираем или вводим код пропущенных значений (оставляем без изменений). В строке **Type** переключателем выбираем тип данных: **Double** – данные с возможной двойной записью как числовыми значениями так и текстовыми (для облегчения работы с текстовыми переменными), **Text** – текстовые значения, **Integer** – целочисленные значения, **Byte** – восьмизначное значение. В нашем случае выбираем **Double**. В блоке переключателей **Формат отображения** выбираем формат отображения данных **Основной**, в строке **Длинное имя (метка или Function)** вводим, при необходимости, длинное

название переменной или функцию, по которой она рассчитывается, используя кнопку **Function**, и нажимаем кнопку **OK**.

Далее вводим название таблицы (ее заголовок) и имена переменных. Для этого двойным щелчком мыши устанавливаем курсор в поле заголовка (в верхней части таблицы), вводим с клавиатуры название, например **Данные для построения контрольных карт Шухарта** и нажмем клавишу **Enter**. Сохраним получившуюся таблицу с помощью команды **Файл / Сохранить как**.

Вводим имеющиеся данные в такой же последовательности, в какой они расположены на рисунке 37 (в первом столбце – номер выборки, во втором – номер данного в выборке и в третьем – показатель качества). И сохраняем получившуюся таблицу.

	1	2	3				
	Номер выборки	Номер данных в выборке	Показатель качества				
1	1	1	9				
2	1	2	7				
3	1	3	6				
4	1	4	5				
5	1	5	7				
6	2	1	7				
7	2	2	6				
8	2	3	11				
9	2	4	11				
10	2	5	12				
11	3	1	14				
12	3	2	3				
13	3	3	8				
14	3	4	7				
15	3	5	9				
16	4	1	10				
17	4	2	8				
18	4	3	14				
19	4	4	15				
20	4	5	15				
21	5	1	9				
22	5	2	7				

Рисунок 37 - Таблица данных

Построим контрольную карту средних значений. Для этого вызываем диалоговое окно **Диаграммы управления показателем качества** командой **Статистика / Производственная статистика и Six Sigma / Диаграммы управления качеством**.

Диалоговое окно **Диаграммы управления показателем качества** имеет четыре вкладки:

Быстрый – позволяет: построить \bar{X} - и R -карты для непрерывных переменных (модуль **X-bar & R chart for variables**), построить контрольную карту для отдельных наблюдений, полученных в ходе производственного процесса (модуль **Individuals & moving range**); построить C -карту для числа дефектов (модуль **C-chart for attributes**); P -карту для процента обнаруженных

бракованных изделий (модуль **P-chart for attributes**).

Переменные – позволяет: построить и обработать контрольные карты для непрерывных переменных, например, S-карта (модуль **X-bar & S chart for variables**); индивидуальных переменных, например, контрольная карта накопленных сумм (CUSUM-карта, модуль **CuSum chart for individuals**); контрольная карта скользящего среднего (MA-карта, модуль **MA X-bar& R chart for variables**); контрольная карта экспоненциально взвешенного скользящего среднего (EWMA-карта, модуль **EWMA X-bar& R chart for variables**) и др.

Атрибуты – позволяет: построить и проанализировать контрольные карты по альтернативному признаку, такие как: C-карта, модуль **C-chart for attributes**; U-карта, модуль **U-chart for attributes**; Np – карта, модуль **Np-chart for attributes**; P – карта, модуль **P-chart for attributes**.

В реальном времени – позволяет задавать возможность прослеживать изменение графиков в реальном времени с помощью соответствующих переключателей.

Для того чтобы построить контрольную карту средних значений, в диалоговом окне **Диаграммы управления показателем качества** щелчком левой кнопки мыши выбираем вкладку **Переменные** и двойным щелчком левой кнопки мыши модуль **X-bar& R chart for variables**. Появляется диалоговое окно **Задание переменных для X-полосы и R-диаграммы**, в котором имеются две вкладки: **Быстрый** и **Метки, причины, действия**. Во вкладке **Быстрый** выбираем столбец анализируемых переменных **Показатель качества** и идентификаторы выборки **Номер выборки**, для этого нажимаем кнопку **Variables**. При этом появляется диалоговое окно **Select vars with measurements**, в котором в строке **Измерения** вводим цифру **3** или щелчком левой кнопки мыши выбираем **3-Показатель качества**. В строке **Sample idents** вводим идентификаторы выборки **1-Номер выборки**, в строке **Part idents** – идентификаторы участка (при необходимости). В данном примере использовались показатели качества продукции, полученные на одном производственном участке, и при производстве продукции использовалось одно и то же сырье или материал, поэтому идентификаторы участка в данном случае не устанавливаем. С помощью переключателя задаем **Минимальное количество измерений на выборку**, т.е. число значений, меньше которого не должна быть учитываемая выборка, в нашем случае не менее 2. После выполнения указанных операций нажмем кнопку **ОК**. В результате программа группирует показатели качества с одинаковым номером в выборки, производит с ними необходимые действия и вычерчивает \bar{X} - и R-карты, а также гистограммы наблюдений и размахов, изображенные на рисунке 38.

Можно не задавать идентификаторы выборки, но тогда обязательно необходимо задать объем постоянной выборки. В таком случае программа группирует данные в выборки в порядке их упоминания в количестве, обозначенном в качестве объема постоянной выборки.

Для анализа контрольной карты нажмем в командной строке кнопку **X-**

bar/R Показатель. Появляется диалоговое окно **X-bar/R Показатель качества**, которое имеет семь вкладок:

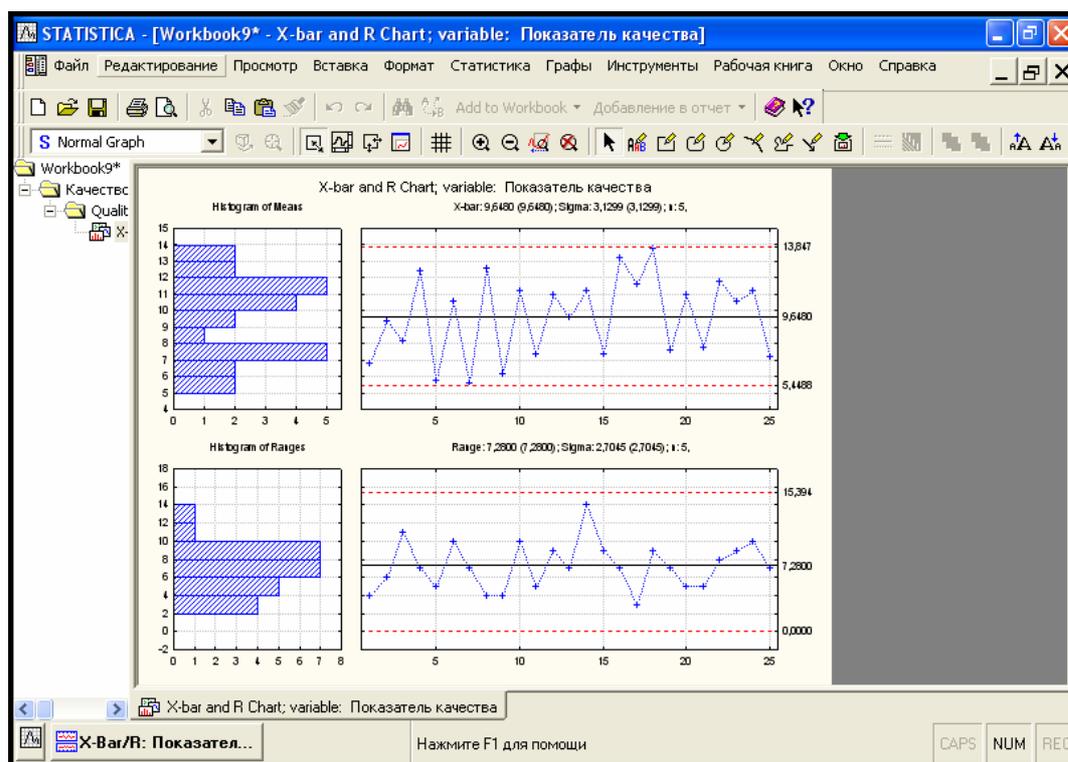


Рисунок 38 - \bar{X} - и R-контрольные карты

Спецификации R/S в которой можно задать необходимые параметры R- и S- карты, как то: центральная линия или значение спецификации (кнопка **Center**); верхний и нижний пределы регулирования (кнопки **UCL** и **LCL**, соответственно); строки предупреждения (кнопка **Строки предупреждения**), характеристики контрольной карты (строка **Если**); технологические характеристики (кнопка **Технологические характеристики**); основные показатели тестирования контрольной карты и тестирование контрольной карты (кнопка **Выполнение теста**). Возможно сохранение настроек и использование ранее определенных настроек (кнопки **Открыть спецификацию** и **Сохранить спецификацию** соответственно).

Спецификация X (MA), аналогична **Спецификации R/S**. В ней можно задать параметры \bar{X} - карты.

Диаграммы – вкладка, с помощью которой можно вызвать следующие диаграммы и гистограммы: диаграммы **SixGraph** (в том числе контрольные \bar{X} - и R- карты, вычерчивание нормальной вероятности, гистограмма контролируемой характеристики, вычерчивание диаграммы рассеяния); диаграммы \bar{X} - и R- (если совместно, тогда кнопка **X(MA)&R/S**, если по отдельности, тогда кнопки или **X**, или **R/S**); описательную статистику (кнопка **Descriptives**); анализ выбросов (кнопка **Outliers**); гистограмма средних

значений \bar{X} (кнопка **гистограмма X (MA)**); гистограмма значений размахов (кнопка **гистограмма R/S**); операционные характеристики (кнопки **OC X(1)** и **OC R(2)**); результаты тестирования контрольных карт (кнопка **запустить тесты**); итоговую характеристику процесса (кнопка **Summary**) и гистограмму (кнопка **Histogram**).

Отличный от нормального – вкладка, с помощью которой можно задать характеристики \bar{X} -карты при распределении средних значений \bar{X} отличного от нормального распределения;

Наборы – вкладка, с помощью которой возможна работа над созданием различных наборов данных.

Очистка – вкладка, с помощью которой можно удалять ненужные данные из выборок.

Отчет – вкладка, с помощью которой возможно создание отчета об основных характеристиках.

Выбираем вкладку **Спецификации R/S**, центральную линию задаем, по умолчанию, как **технологическую среднюю**, верхнюю и нижнюю границу регулирования задаем, по умолчанию, $UCL = 3,0000 * S$, $LCL = -3,0000 * S$. Задаем строки предупреждения, для этого нажимаем кнопку **Строки предупреждения**, появляется диалоговое окно **Строки предупреждения**. Оно имеет блок переключателей **Задать в терминах** и строки **Lower** (нижняя предупредительная строка) и **Upper** (верхняя предупредительная строка). Для того, чтобы задать предупредительные границы в единицах σ , устанавливаем переключатель в положение **единицы sigma**. и устанавливаем в строках **Lower** и **Upper** значения **-2** и **2** соответственно. Таким образом, устанавливаются предупредительные границы в пределах -2σ и $+2\sigma$. Поскольку в данном случае используется карта средних значений, в строке **Если** указываем **Use average n**. Спецификация для R-карты создана. Далее выбираем вкладку **Спецификация X (MA)** и повторяем те же действия, что и со вкладкой **Спецификации R/S**, значение σ оставляем, по умолчанию, **вычисленным**, строка скользящего среднего остается отключенной. Соответствующий переключатель устанавливаем в положение **off**. Спецификация для R- и \bar{X} -карт создана. Сохраняем, её нажав кнопку **Сохранить спецификации**. Появляется диалоговое окно **Выбрать спецификации для сохранения**, в котором выбираем необходимые для сохранения спецификации и нажимаем кнопку **ОК**. Далее действуем, как при сохранении файлов в **Windows**.

Для того, чтобы отобразить контрольные карты со строками предупреждения, обращаемся вновь к вкладке **Диаграммы** диалогового окна **X-bar/R Показатель качества** и нажимаем кнопку **X(MA)&R/S**. Получаем контрольные карты, показанные на рисунке 39.

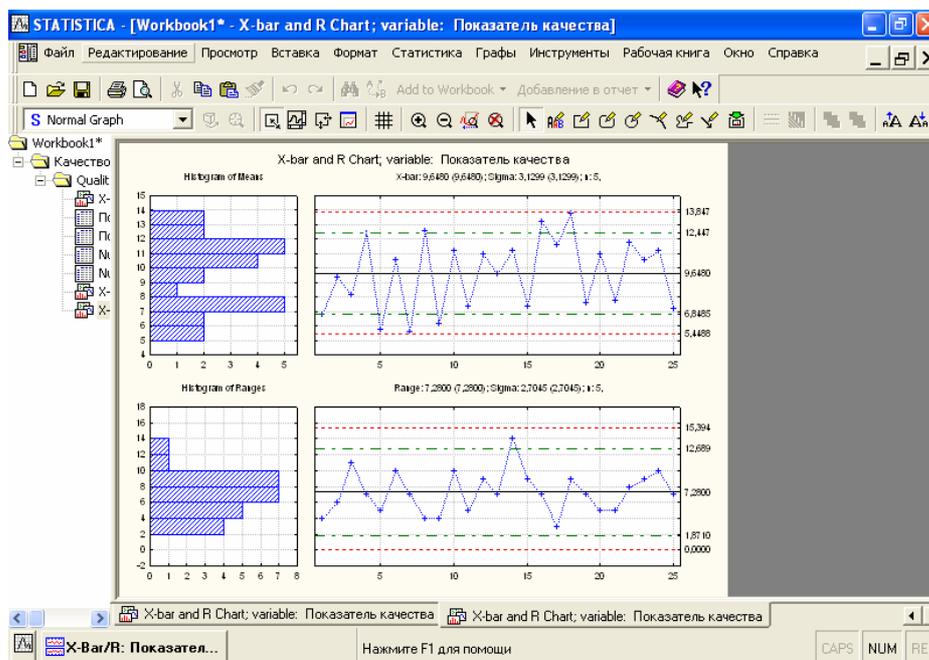


Рисунок 39 - Контрольные карты Шухарта с контрольными и предупредительными границами

На рисунке 39 пунктирными линиями изображены рассчитанные программой контрольные границы, а штрихпунктирной – предупредительные границы.

Программа STATISTICA позволяет проводить автоматизированный анализ контрольных карт. Существуют различные подходы к анализу контрольных карт, поэтому методика данного анализа, заложенная в программе STATISTICA, немного отличается от методики анализа контрольных карт, изложенной в лабораторной работе № 8.

Проанализируем контрольную карту исходя из следующих основных положений:

Зоны А, В, С. Для задания критериев поиска серий точек область контрольной карты над центральной линией и под ней делится на три "зоны" (рисунок 40).

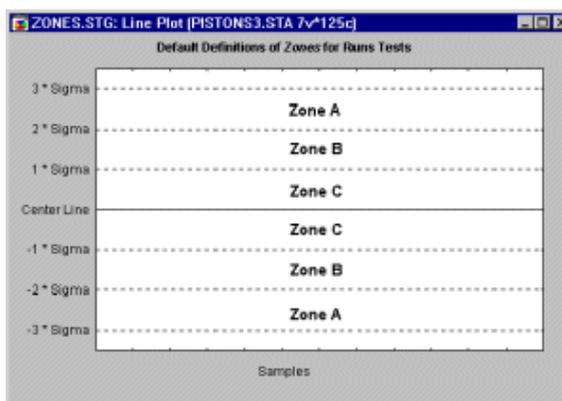


Рисунок 40 - Разбивка контрольных карт по зонам

По умолчанию зона А определяется как область, расположенная на расстоянии от 2 до 3 сигма по обе стороны от центральной линии. Зона В определяется как область, отстоящая от центральной линии на расстояние от 1 до 2 сигма, а зона С - как область, расположенная между центральной линией по обе ее стороны и ограниченная прямой, проведенной на расстоянии одной сигма от центральной линии.

9 точек в зоне С или за ее пределами (с одной стороны от центральной линии). Если этот критерий выполняется (т.е. если на контрольной карте обнаружено такое расположение точек), то делается вывод о возможном изменении среднего значения процесса в целом. Заметим, что здесь делается предположение о симметричности распределения исследуемых характеристик качества вокруг среднего значения процесса на графике. Но это условие не выполняется, например, для R-карт, S-карт и большинства карт по альтернативному признаку. Тем не менее, данный критерий полезен для того, чтобы указать занимающемуся контролем качества инженеру на присутствие потенциальных трендов процесса. Например, здесь стоит обратить внимание на последовательные выборочные значения с изменчивостью ниже среднего, так как с их помощью можно догадаться, каким образом снизить вариацию процесса.

6 точек монотонного роста или снижения, расположенные подряд. Выполнение этого критерия сигнализирует о сдвиге среднего значения процесса. Часто такой сдвиг обусловлен изнашиванием инструмента, ухудшением технического обслуживания оборудования, повышением квалификации рабочего и т.п.

14 точек подряд в "шахматном" порядке (через одну над и под центральной линией). Если этот критерий выполняется, то это указывает на действие двух систематически изменяющихся причин, которое приводит к получению различных результатов. Например, в данном случае может иметь место использование двух альтернативных поставщиков продукции или отслеживание двух различных альтернативных воздействий.

2 из 3-х расположенных подряд точек попадают в зону А или выходят за ее пределы. Этот критерий служит "ранним предупреждением" о начинающейся разладке процесса. Заметим, что для данного критерия вероятность получения ошибочного решения (критерий выполняется, однако процесс находится в нормальном режиме) в случае \bar{X} -карт составляет приблизительно 2 %.

4 из 5-ти расположенных подряд точек попадают в зону В или за ее пределы. Как и предыдущий, этот критерий может рассматриваться в качестве индикатора - "раннего предупреждения" о возможной разладке процесса. Процент принятия ошибочного решения о наличии разладки процесса для этого критерия также находится на уровне около 2%.

15 точек подряд попадают в зону С (по обе стороны от центральной линии). Выполнение этого критерия указывает на более низкую изменчивость по сравнению с ожидаемой (на основании выбранных контрольных пределов).

8 точек подряд попадают в зоны В, А или выходят за контрольные пределы, по обе стороны от центральной линии (без попадания в зону С). Выполнение этого критерия служит свидетельством того, что различные выборки подвержены влиянию различных факторов, в результате чего выборочные средние значения оказываются распределенными по бимодальному закону. Такая ситуация может сложиться, например, когда отмечаемые на \bar{X} -карте выборки изделий были произведены двумя различными станками, один из которых производит изделия со значением контролируемой характеристики выше среднего, а другой - ниже.

Вернемся к диалоговому окну **X-bar/R Показатель качества** и вновь выберем вкладку **Спецификация X (МА)**. Для анализа воспользуемся кнопкой **Выполнить тест**. После ее нажатия появится диалоговое окно **Выполнить проверки для диаграмм управления**, в котором в блоке переключателей **Zone** выбираем границы зон согласно данным, обозначенным выше. Проанализируем контрольные карты по всем критериям разладки процесса. Для этого нажимаем кнопку **Все тесты**. При этом флажки располагаются напротив всех анализов. Есть возможность расставить флажки напротив тех анализов, которые на данный момент наиболее важны. Выполнив эту процедуру, нажимаем кнопку **Да (сделать проверки)**. Появляется таблица, обозначенная рисунок 41.

Tests for special causes (runs rules)	from sample	to sample
9 samples on same side of center	OK	OK
6 samples in row in/decreasing	OK	OK
14 samples alternating up & down	2	15
2 of 3 samples in Zone A or beyond	5	7
4 of 5 samples in Zone B or beyond	16	18
15 samples in Zone C	OK	OK
8 samples beyond Zone C	OK	OK

Рисунок 41 - Таблица результатов тестирования \bar{X} – карты

Из таблицы видно, что при анализе \bar{X} – карты выполняются три критерия разладки процесса:

1.- 14 точек расположены подряд в "шахматном" порядке (через одну над и под центральной линией) выборки со 2 по 15. Это указывает на действие двух систематически изменяющихся причин, которое приводит к получению различных результатов.

2. - 2 из 3-х расположенных подряд точек попадают в зону А или выходят за ее пределы - это средние значения выборок с 5 по 7 и с 16 по 18.

3. - 4 из 5-ти расположенных подряд точек попадают в зону В или за ее пределы – это средние значения выборок с 14 по 18.

Таким образом, анализ \bar{X} -карты говорит о начинающейся разладке процесса производства продукции и о необходимости принятия мер предупреждающего характера. В то же время анализ R -карты не выявил подобных изменений (рисунок 42).

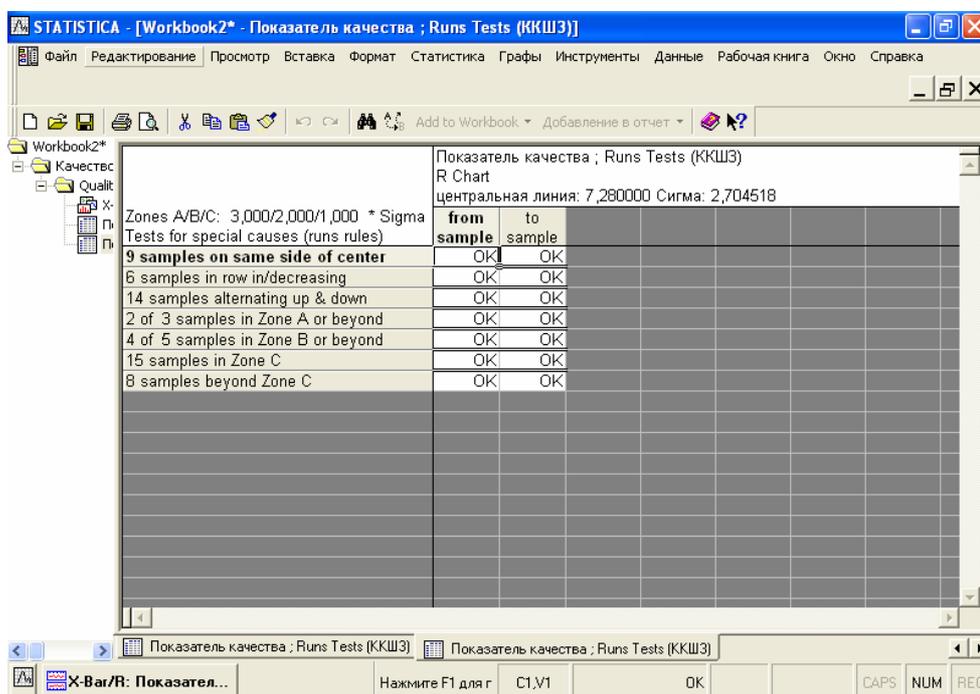


Рисунок 42 - Таблица результатов тестирования R – карты

Построение и анализ контрольных карт по качественному признаку

Рассмотрим построение и анализ контрольной C -карты. Как уже говорилось выше, при построении контрольных C -карт вычерчивается график числа дефектов (в партии, в день, на один станок, в расчете на 100 метров трубы и т.п.). При использовании карты этого типа делается предположение, что дефекты контролируемой характеристики продукции встречаются сравнительно редко, при этом контрольные пределы для данного типа карт рассчитываются на основе свойств распределения Пуассона (распределения редких событий). C -карта строится в случаях, когда объем выборки постоянный, так как только в этом случае имеет смысл сравнивать число дефектов для разных партий.

Построение c -карты. На целлюлозно-бумажном предприятии при

контроле кип целлюлозы одинаковой массы в течение 25 суток было выявлено количество дефектов на одну кипу, представленное в таблице 25. Объем выборки одинаков для всех выборок. Необходимо построить по имеющимся данным контрольную С - карту и определить, является ли технологический процесс стабильным.

Таблица 25

№ выборки	Число дефектов в кипе	№ выборки	Число дефектов в кипе
1	2	14	5
2	4	15	6
3	5	16	3
4	7	17	2
5	3	18	4
6	5	19	6
7	4	20	5
8	2	21	5
9	5	22	7
10	6	23	4
11	3	24	3
12	7	25	5
13	2		

В данном случае можно не выделять отдельный столбец для обозначения номера выборки, то есть в таблице будет одна переменная **Число дефектов в кипе**. Номера выборок по порядку будут соответствовать номерам случаев. Число регистров необходимо выбрать по количеству выборок – 25. После заполнения данными таблица будет выглядеть следующим образом (рисунок 43). Сохраним таблицу на диске.

Построим контрольную С-карту. Для этого вызываем диалоговое окно **Диаграммы управления показателем качества** командой **Статистика / Производственная статистика и Six Sigma / Диаграммы управления качеством**.

В диалоговом окне **Диаграммы управления показателем качества** щелчком левой кнопки мыши выбираем вкладку **Атрибуты** и модуль **C-chart for attributes** двойным щелчком левой кнопки мыши. Появляется диалоговое окно **Defining variables for C (Attribute) Chart** (задание переменных для С-карты), в котором имеются две вкладки **Быстрый** и **Метки, причины, действия**. Во вкладке **Быстрый** имеется блок переключателей **Входные данные** – это **расчеты** или **необработанные данные**, который дает возможность построить контрольную карту в режиме **Расчеты**, где переменные являются готовыми для построения контрольной С-карты данными, то есть результатами расчетов, и в режиме **Необработанные данные**, где данные перед построением предстоит обрабатывать математически. В нашем случае

переменные являются готовыми данными и обрабатываются в режиме **Расчеты**. Во вкладке **Быстрый** выбираем столбец анализируемых переменных **Показатель качества** и идентификаторы выборки.

Номер выборки	Данные для построения С-контрольной карты
	1
	Число дефектов в кипе
1	2
2	4
3	5
4	7
5	3
6	5
7	4
8	2
9	5
10	6
11	3
12	7
13	2
14	5
15	6
16	3
17	2
18	4
19	5

Рисунок 43 - Таблица данных для построения С-карты

Для этого нажимаем кнопку **Variables**, при этом появляется диалоговое окно **Select variables with counts and part idents** (выбор данных для анализа и идентификаторов выборки) в котором в строке **variables with counts** вводим цифру **1** или щелчком левой кнопки мыши выбираем **1-Число дефектов в кипе**. В строке **part idents** ничего не вводим, так как в нашем примере идентификаторами выборки будут номера случаев, и весь объем данных задействован в построении С-карты. Вкладку **Метки, причины, действия** не затрагиваем, так как в нашем случае не анализировались причины появления несоответствий. После выполнения указанных операций нажмем кнопку **ОК** в диалоговом окне **Select variables with counts and part idents**. Затем нажимаем кнопку **ОК** в диалоговом окне **Defining variables for C (Attribute) Chart**. Идет построение контрольной С-карты и гистограммы распределения числа бракованных изделий, изображенной на рисунок 44.

Проанализируем контрольную С-карту.

Откроем диалоговое окно **С: Число дефектов в кипах** и выберем вкладку **Спецификация**. Для анализа воспользуемся кнопкой **Выполнить тест**. После ее нажатия появится диалоговое окно **Выполнить проверки для диаграмм управления**, в котором в блоке переключателей **Zone** выбираем границы зон, согласно данных обозначенных выше. Проанализируем контрольные карты по всем критериям разладки процесса, для этого нажимаем кнопку **Все тесты**. При этом флажки располагаются напротив всех анализов. Есть возможность расставить флажки напротив тех анализов, которые на

данный момент наиболее важны. Выполнив эту процедуру нажимаем кнопку **Да (сделать проверки)**. Вычерчивается таблица с результатами анализа контрольной карты, обозначенная рисунок 45.

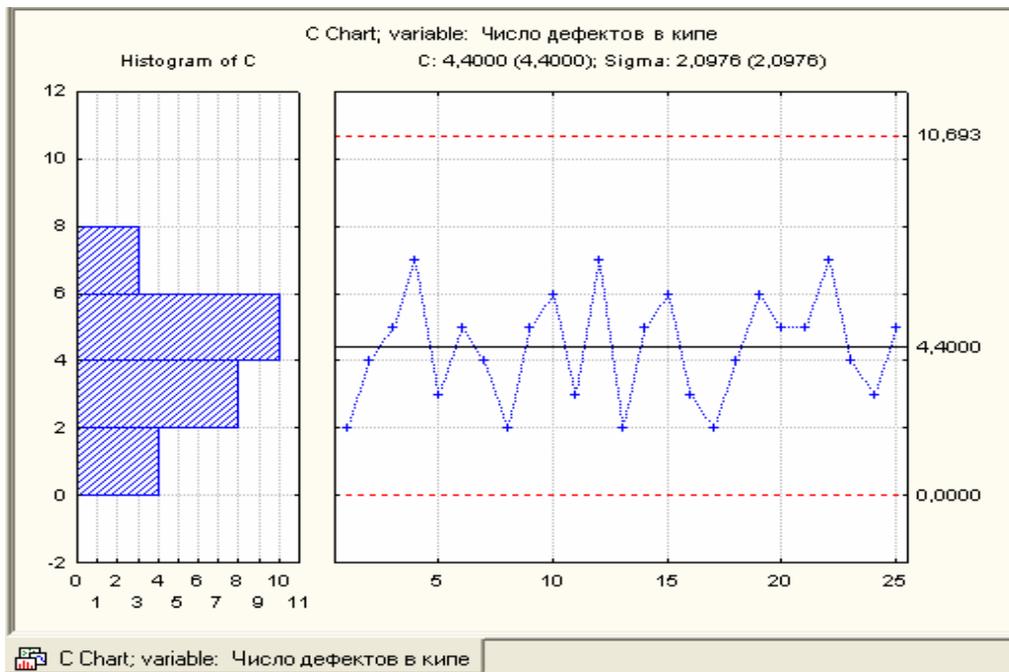


Рисунок 44 - Контрольная С-карта и гистограмма распределения бракованных изделий

Зоны A/B/C: 3,000/2,000/1,000 * Sigma		Число дефектов в кипе ; Runs Tests (С-карта)	
Tests for special causes (runs rules)		from sample	to sample
9 samples on same side of center		OK	OK
6 samples in row in/decreasing		OK	OK
14 samples alternating up & down		OK	OK
2 of 3 samples in Zone A or beyond		OK	OK
4 of 5 samples in Zone B or beyond		OK	OK
15 samples in Zone C		OK	OK
8 samples beyond Zone C		OK	OK

Центральная линия: 4,400000 Сигма: 2,097618

Рисунок 45 - Таблица анализа контрольной С-карты

Анализ контрольной карты показал, что точки на контрольной карте не выходят за границы статистического регулирования. Процесс является

статистически регулируемым. Разладки процесса в ходе анализа не обнаружено. Сохраним С-карту и таблицу на диске в виде отдельного файла.

Рассмотрим далее построение и анализ контрольной Р-карты. В карте данного типа строится график относительной частоты дефектов, то есть отношения числа обнаруженных дефектов к n - числу проверенных единиц продукции (здесь n обозначает, например, число метров длины трубы, объем партии изделий). В отличие от С-карты, для построения карты данного типа не требуется постоянство числа единиц проверяемых изделий, поэтому ее можно использовать при анализе партий различного объема. Контрольные пределы для данной карты находятся на основе биномиального распределения (для долей), а не распределения редких событий. Поэтому Р-карта наиболее часто используется, когда появление дефекта нельзя считать редким событием (если, например, ожидается, что дефекты будут присутствовать в более чем 5 % общего числа произведенных единиц продукции).

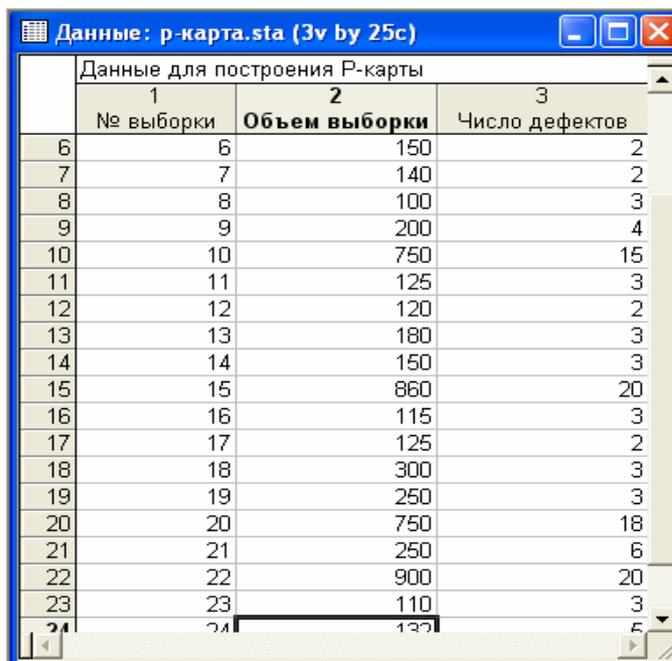
Построение р-карты. На целлюлозно-бумажном предприятии при контроле кип целлюлозы одинаковой массы в течение 25 суток было выявлено количество дефектов на выборку, представленное в таблице 26. Объем выборки находился в пределах от 100 до 900 кип. Необходимо построить по имеющимся данным контрольную Р-карту и определить является ли технологический процесс стабильным.

Таблица 26

№ выборки	Объем выборки n	Число дефектов c	№ выборки	Объем выборки n	Число дефектов c
1	100	3	14	150	3
2	100	2	15	860	20
3	110	2	16	115	3
4	120	3	17	125	2
5	110	2	18	300	3
6	150	2	19	250	3
7	140	2	20	750	18
8	100	3	21	250	6
9	200	4	22	900	20
10	750	15	23	110	3
11	125	3	24	132	5
12	120	2	25	650	9
13	180	3			

В данном случае выделим отдельную переменную для обозначения номера выборки, то есть в таблице будет три переменных: 1 - № выборки; 2 - Объем выборки; 3 - Число дефектов в выборке; Номера выборок по порядку будут соответствовать номеру случаев. Число регистров необходимо выбрать по количеству выборок – 25. После заполнения данными таблица будет

выглядеть следующим образом (рисунок 46). Сохраним таблицу на диске.



Данные для построения P-карты		
1	2	3
№ выборки	Объем выборки	Число дефектов
6	6	150
7	7	140
8	8	100
9	9	200
10	10	750
11	11	125
12	12	120
13	13	180
14	14	150
15	15	860
16	16	115
17	17	125
18	18	300
19	19	250
20	20	750
21	21	250
22	22	900
23	23	110
24	24	130

Рисунок 46 - Таблица данных для построения контрольной P-карты

Построим контрольную P-карту. Для этого вызываем диалоговое окно **Диаграммы управления показателем качества** командой **Статистика/Производственная статистика и Six Sigma / Диаграммы управления качеством**.

В диалоговом окне **Диаграммы управления показателем качества** щелчком левой кнопки мыши выбираем вкладку **Атрибуты** и модуль **P-chart for attributes** двойным щелчком левой кнопки мыши. Появляется диалоговое окно **Defining variables for P (Attribute) Chart** (задание переменных для P-карты), в котором имеются две вкладки **Быстрый** и **Метки, причины, действия**. Во вкладке **Быстрый** имеется блок переключателей **Input data are counts or proportions or raw data (with piece info)**, который дает возможность построить контрольную карту в различных режимах:

Расчеты - в котором измерения (число дефектов) делят по объемам выборки для вычисления пропорций или степени и построения контрольных P-карт.

Пропорции или степени - в котором измерения являются готовыми данными для построения контрольных P-карт.

Необработанные данные - в котором данные перед построением контрольных P-карт необходимо математически обработать с целью получения данных в виде пропорций или степеней.

В нашем случае переменные (число дефектов) для построения контрольной P-карты необходимо поделить по объемам выборки, т.е. обрабатывать в режиме **Расчеты**. Поэтому в блоке переключателей **Input data are counts or proportions or raw data (with piece info)** переключатель

устанавливаем в положение **Расчеты**. Далее во вкладке **Быстрый** выбираем столбец анализируемых переменных (число дефектов) **Расчеты / пропорции**, столбец **Объемы выборок** и идентификаторы участка. Для этого нажимаем кнопку **Variables**, при этом появляется диалоговое окно **Select variables with counts or proportion, sample sizes, and part idents** (выбор данных для анализа, объема выборок, и идентификаторов участка). В строке **counts or proportion** вводим номер столбца переменных подлежащих расчетам – **3** или щелчком левой кнопки мыши выбираем **3-Число дефектов**. В строке **Sample sizes** вводим номер столбца переменных, содержащий объемы выборок – **2**, или щелчком левой кнопки мыши выбираем **2 - Объем выборок**. В строке **part idents** вводим номер столбца переменных, содержащих идентификаторы участка – **1**, или щелчком левой кнопки мыши выбираем **1 - № выборки**. Вкладку **Метки, причины, действия** не затрагиваем, так как в нашем случае не анализировались причины появления несоответствий. После выполнения указанных операций нажмем кнопку **OK** в диалоговом окне **Select variables with counts or proportion, sample sizes, and part idents**. Затем нажимаем кнопку **OK** в диалоговом окне **Defining variables for P (Attribute) Chart**. Идет построение контрольной Р-карты и гистограммы распределения числа бракованных изделий (рисунок 47). Сохраним Р-карту на диске в виде отдельного файла.

Рисунок 47 демонстрирует получившуюся контрольную Р-карту для выборок неодинакового объема. При этом контрольные пределы, находящиеся по обе стороны от центральной линии (плановой спецификации), не могут быть изображены прямыми линиями. Неравные значения объемов выборки n приводят к получению различных контрольных пределов для разных объемов выборки. Существует три способа, позволяющих справиться с такой ситуацией:

1 - Оставляют переменные контрольные пределы. Это позволяет для каждой выборки отдельно определить контрольные пределы на основе ее объема. На графике такие пределы будут изображены ступенчатой линией. Этот метод позволяет получить точные контрольные пределы для каждой из используемых выборок. Однако при этом теряется простота и наглядность контрольных пределов.

2 – Вычисляют средние объемы выборок. В том случае, когда желательно оставить контрольные пределы в виде прямых линий (например, чтобы облегчить чтение карты и ее использование в презентациях), можно найти среднее значение объема выборки n по всем рассматриваемым выборкам и установить контрольные пределы на основе полученного среднего объема выборки. Эту процедуру нельзя назвать "точной". И все же, пока объемы выборок несильно отличаются друг от друга, применение данного метода можно считать вполне адекватным.

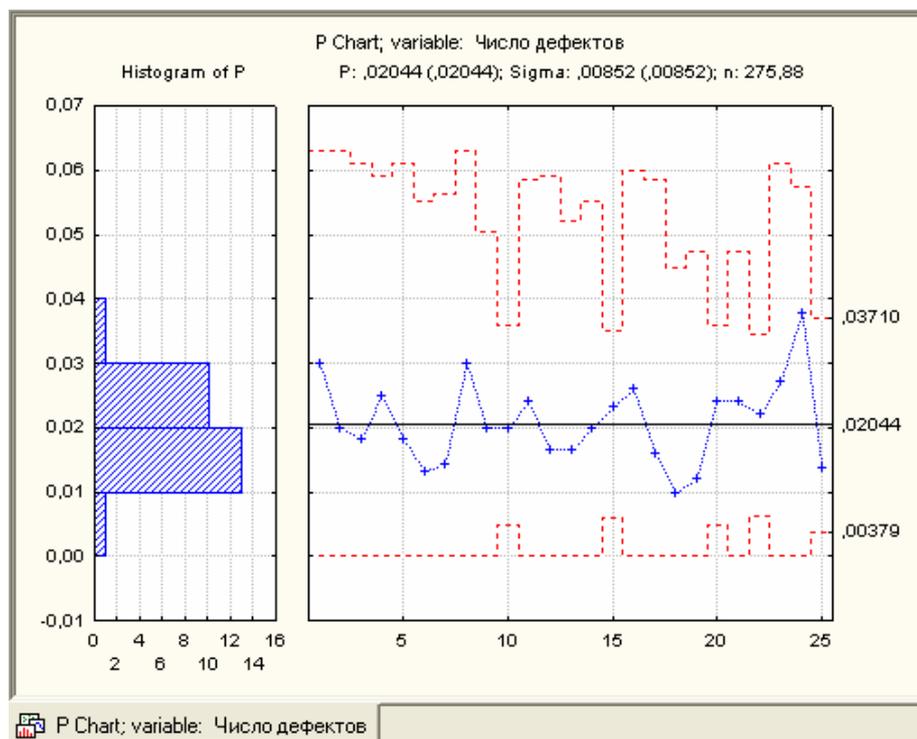


Рисунок 47 - Контрольная Р-карта и гистограмма распределения доли брака.

3 – Ведут построение стабилизированной (нормализованной) карты. Это наилучший вариант. Контрольные пределы изображаются прямыми линиями, которые при этом точны. Этот вариант может быть реализован путем стандартизации контролируемой численной характеристики (среднего значения, доли и т.д.) согласно единицам сигмы. При этом контрольные пределы изображаются прямыми линиями, но расположение точек выборочных значений на графике определяется не только значениями контролируемой характеристики, но и объемом n соответствующих выборок. Недостаток данного метода заключается в следующем: по вертикальной оси контрольной карты (оси Y) величины выражаются в единицах сигма, а не в первоначальных единицах измерения контролируемой характеристики, поэтому их нельзя считать по выводимому на графике значению. Так, например, выборочная величина со значением 3 отстоит на 3 сигма от плановой спецификации. Для перевода данного значения в первоначальные единицы измерения необходимо выполнить некоторый объем вычислений.

Программа STATISTICA дает возможность построения стабилизированной (нормализованной, номинальной) контрольной Р-карты. Для ее построения необходимо нажать кнопку **Р: Число дефектов**. При этом появляется диалоговое окно **Р: Число дефектов: р-карта**. В этом диалоговом окне выбираем вкладку **Части**, в блоке переключателей которой выбираем положение переключателя **Номинальная диаграмма**. Нажимаем кнопку **Nominal / Target**. Появляется диалоговое окно **Specifi nominal / target values for parts**, в котором по умолчанию в строке **общее значение** размещено среднее значение степени или пропорции 25 выборок, равное **0,0204**. Оставляем

это значение без изменений и нажимаем кнопку **Apply**. При этом значения степени или пропорции для каждой из выборок становится таким же. Нажимаем в диалоговом окне **Specify nominal / target values for parts** кнопку **ОК**. Далее в диалоговом окне **P: Число дефектов: p-карта** выбираем вкладку **Диаграммы** и нажимаем кнопку **Дополнительная диаграмма**. При этом идет построение нормализованной контрольной P-карты, изображенной на рисунок 48. Сохраним построенную карту на диске.

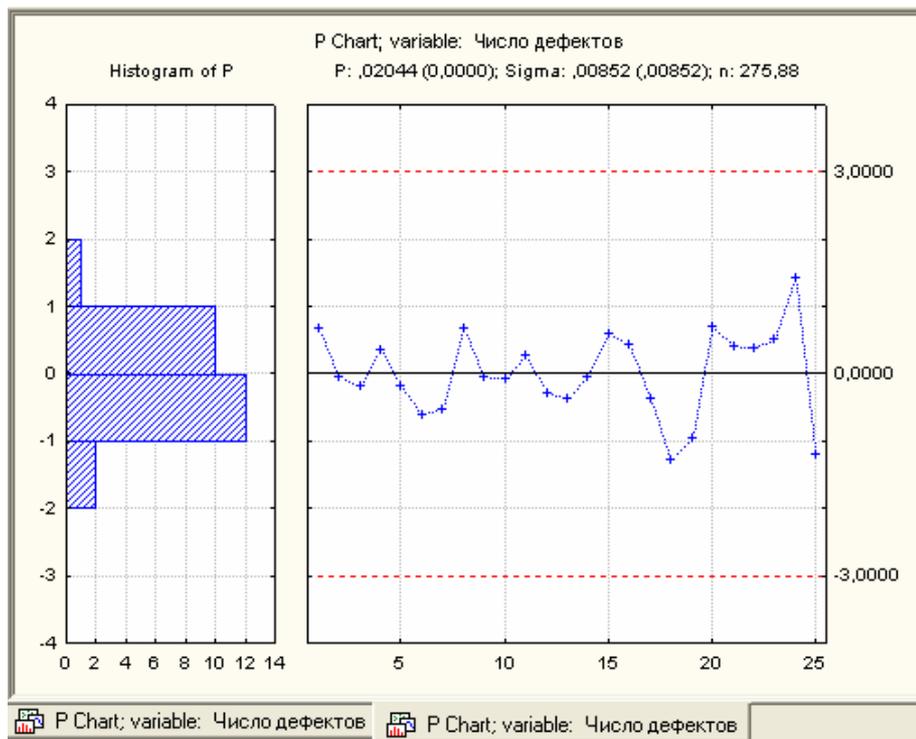


Рисунок 48 - Нормализованная контрольная P-карта и гистограмма

Точки на контрольной карте нанесены в единицах сигма, причем $\sigma=0,00852$.

Анализ контрольной карты показывает, что выбросов за нижний и верхний предел статистического регулирования не происходит, процесс стабилен.

8 Лабораторная работа 8. Управление качеством с использованием системы Statistica. Приемочный контроль

Цель работы: Освоить методику построения кривых оперетивных характеристик средствами системы Statistica.

Ход работы:

Загрузите модуль **Анализ процессов**, выберите опцию **Выборочные планы (Sampling plans for mean, proportions & Poisson frequencies)**. Для контроля по альтернативному признаку введите исходные параметры (рисунок 49): распределение — биномиальное; вероятность ошибки первого рода (риск поставщика) 0,05; вероятность ошибки второго рода (риск потребителя) 0,1; предполагаемое среднее для нулевой гипотезы — это приемочный уровень дефектности, т.е. допустимая доля дефектных изделий, введите, например, 0,03; среднее для альтернативной гипотезы H_1 — это браковочный уровень дефектности, при котором партия отклоняется: 0,08. Выберите правосторонний критерий и щелкните по кнопке **ОК**.

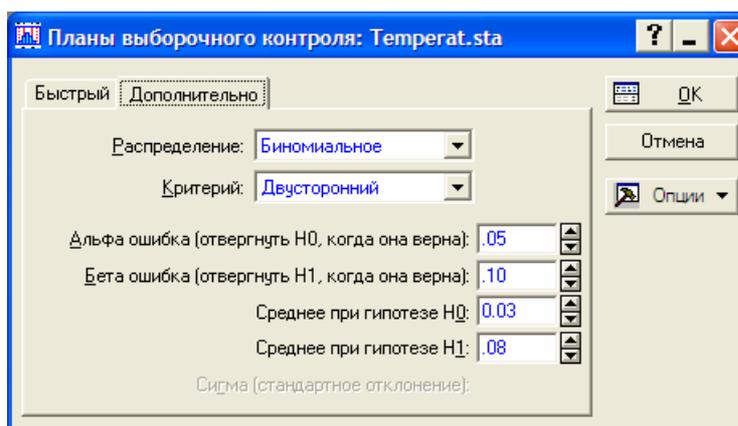


Рисунок 49 - Настройка параметров при контроле по альтернативному признаку

Просмотрите окно с результатами, проверьте в верхней половине окна соответствие исходных данных введенным значениям в средней части окна (**Fixed sampling plan**) — кнопки для вывода результатов. У кнопки **Sample size** указан размер выборки, необходимый для обеспечения заданного бета.

Нажав эту кнопку, можно ввести другой объем выборки, при этом рядом появится соответствующее значение риска потребителя бета. Введите несколько значений объемов выборки, больших и меньших рассчитанного, проследите за изменением риска потребителя. Вернитесь к рассчитанному значению.

Нажмите кнопку вывода оперативной характеристики. Рассмотрите серию полученных кривых (рисунок 50). Обратите внимание на отличие этих кривых от принятых в стандартах приемочного контроля: по оси абсцисс здесь отложена не вероятность приемки партии, а вероятность противоположного

события — отклонения нулевой гипотезы. Это графики функции мощности критерия.

Найдите на графике значения, соответствующие введенным исходным данным. Какая линия показана синим цветом? Что показывают линии красного цвета? В окне с результатами вновь измените значение объема выборки. Рассмотрите, как изменилась функция мощности.

Для проведения последовательного контроля по альтернативному признаку по тем же исходным данным вернитесь к окну с

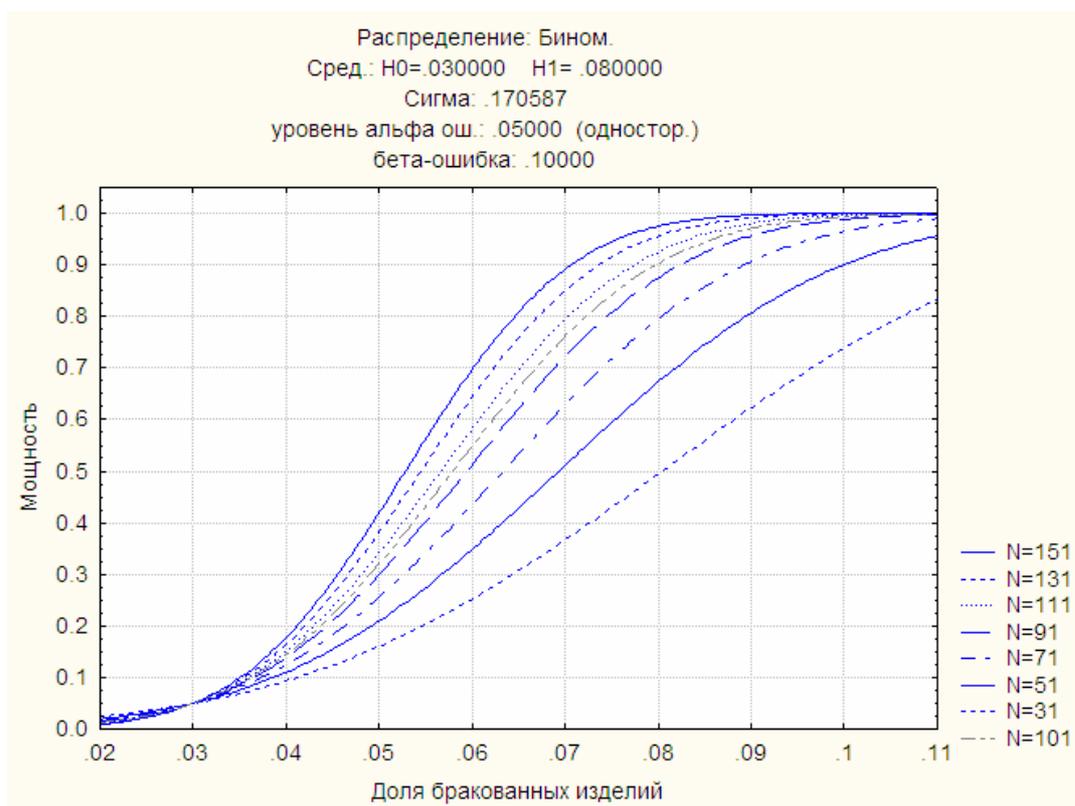


Рисунок 50 - Функции мощности критерия при контроле по альтернативному признаку

результатами и рассмотрите его нижнюю часть под заголовком **Sequential sampling plan**. Возле нижней кнопки **Variable** синим цветом указано ρ . Это говорит о том, что будут построены границы последовательного контроля без привязки к конкретным данным. Такой график полезен как заготовка, когда непосредственно в ходе контроля на него наносят точки, соответствующие числу дефектных объектов. Для просмотра границ контроля щелкните по кнопке **Plot equivalent for sequential sampling plan**. Если имеется файл с результатами уже проведенного контроля, то данные могут быть введены с помощью кнопки **Variable** и наложены на область контроля.

Контроль по количественному признаку проводится, как правило, по аналогии с контролем по альтернативному признаку, но используется обычно нормальное распределение контролируемого показателя.

Введите при риске поставщика, равном 0,05, и риске потребителя, равном

0,1, приемочный уровень дефектности 50 (это значение некоторой измеряемой характеристики), браковочный уровень 49, стандартное отклонение 2.

Используя двухсторонний критерий, постройте график функции мощности критерия для простого плана (рисунок 51) и границы последовательного контроля.

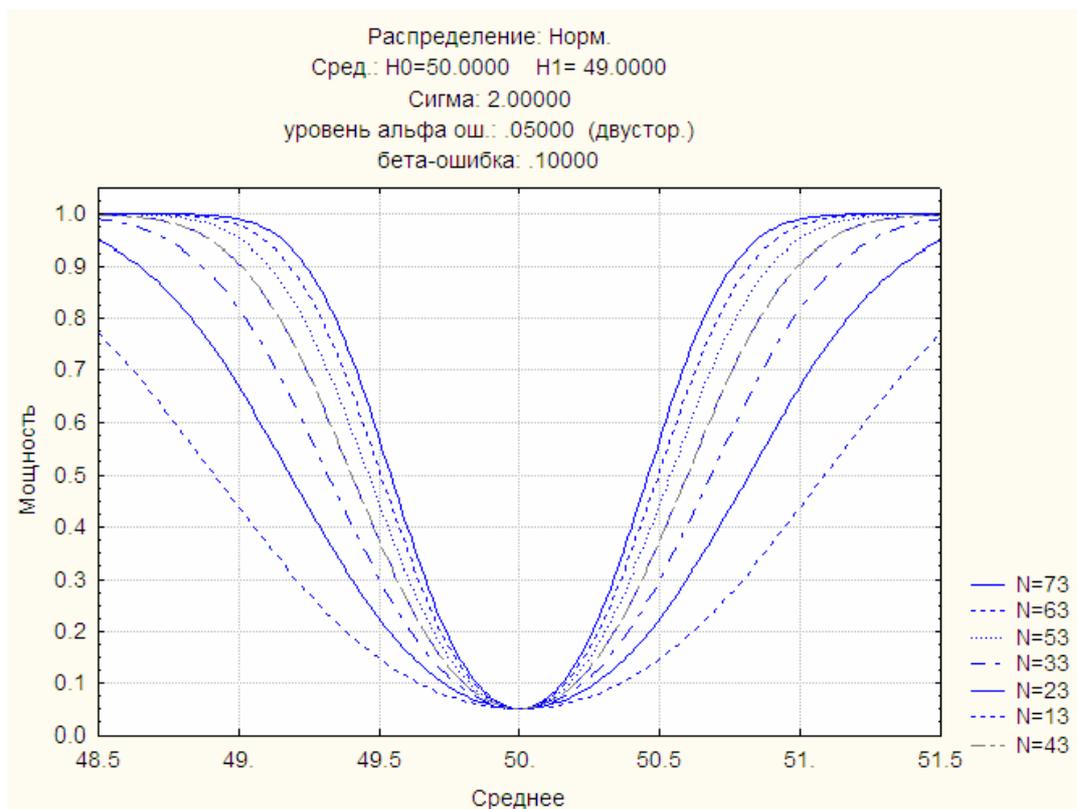


Рисунок 51 - Функции мощности критерия при контроле по количественному признаку

9 Лабораторная работа 9. Управление качеством с использованием системы Statistica. Планирование эксперимента и метод Тагути

Цель работы:

Ход работы:

Качество продукции (изделия, процесса, услуги) определяется по Тагути величиной возможных потерь для общества (функция потерь качества). Для обеспечения минимума этих потерь продукция должна обладать робастностью (устойчивостью) по отношению к возможным внешним воздействиям. При создании робастного продукта используется планирование эксперимента

По предполагаемым факторам, оказывающим влияние на качество объекта, строится ортогональный план. По результатам проведенного эксперимента определяются уровни факторов, обеспечивающих максимальное отношение полезного сигнала (результата воздействия управляемых факторов) к шумовому воздействию неуправляемых факторов.

Рассматривается процесс производства оболочки троса спидометра. Цель — снизить усадку оболочки после экструзии¹. В результате мозгового штурма с использованием причинно-следственной диаграммы Исикавы выделено 15 факторов, оказывающих влияние на усадку: X1 — внутренний диаметр прокладки, X2 — конструкция экструдера для прокладки, X3 — материал прокладки и т.д.

Предполагается проведение двухуровневого эксперимента, каждый фактор принимает по два значения: 1 - существующее, 2 — альтернативное значение (другой диаметр прокладки, другая конструкция экструдера, и т.п.)

В модуле **Планирование эксперимента** (рисунок 52) выберите команду **Taguchi robust design experiments (orthogonal arrays)**. В поле ввода типа решаемой задачи — анализа результатов или генерации плана, выберите **Generate design**.

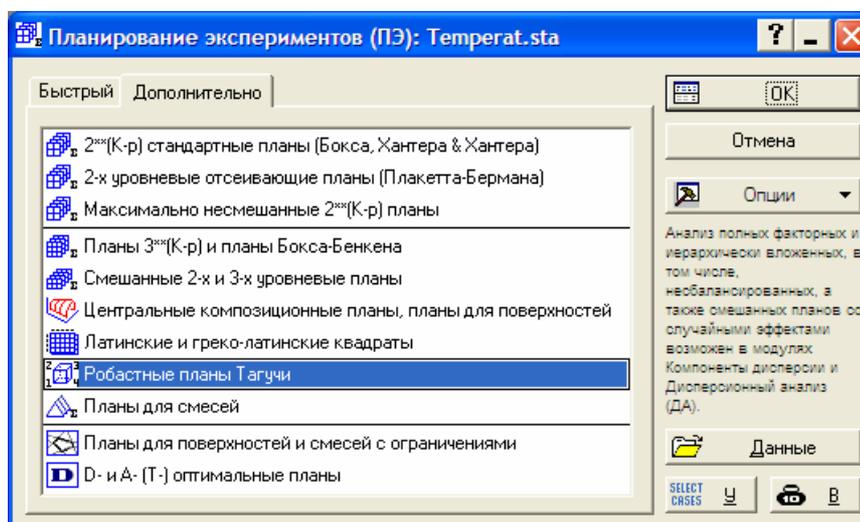


Рисунок 52 - Стартовая панель модуля планирования эксперимента

В таблице предлагаемых ортогональных планов указаны количество опытов, максимально возможное число факторов, количество факторов, имеющих два, три, четыре или пять уровней. В соответствии с данными выбираем план L16 (максимальное число факторов — 15, все факторы - двухуровневые). Это регулярная дробная реплика, требующая проведение 16 опытов (план Плаккета — Бермана). Такие планы обычно используют в задачах отсеивающего эксперимента, когда факторов слишком много и надо отобрать только часть из них.

Проведение 16 опытов при 15 факторах — слишком экономный план, делающий высоким риск получения неадекватных результатов, однако в рассматриваемом примере он дал хорошие результаты. Выделите этот план и щелкните по кнопке ОК.

В окне **Design of a robust design experiment** можно ввести тип обозначения факторов (числовое 1, 2, 3 ... или буквенное A, B, C ...) и последовательность опытов (стандартная или рандомизированная). Для удобства ввода результатов эксперимента указывается необходимое количество столбцов — **Add ... blank columns to the design**. Укажите числовое обозначение факторов, стандартную последовательность опытов и четыре колонки для результатов эксперимента. Сохраните таблицу в виде файла исходных данных Lab261.sta для дальнейшего анализа и введите в нее результаты проведенного эксперимента — по четыре измерения характеристики усадки Y в каждом опыте (рисунок 53).

В модуле **Планирование эксперимента** загрузите теперь файл taguchi.sta из папки **Examples**. Анализируется технологический процесс изготовления микросхем. Рассматриваются шесть управляемых трехуровневых факторов — температура, давление, время выдержки, степень очистки и другие (TEMPERAT, PRESSURE, NITROGEN, SILANE, SETTJTIM, CLEANING). Например, для фактора «Температура» в таблице (рисунок 54) приведены три уровня: TO, TO_M25, TO_P25. Отклик - толщина пленки (THICK), замеренная 9 раз при различных шумовых воздействиях. Использован план L18.

Выберите тип решаемой задачи - анализ данных. После щелчка по кнопке **ОК** вводится тип отношения «сигнал / шум»: если надо минимизировать некоторые нежелательные характеристики объекта, выбирается тип «меньше — лучше» (smaller-the-better); другие варианты — «номинальный — самый лучший», «больше — лучше», и т.п. Выберите **Maximize average S/N ratio** — максимизировать среднее значение отношения сигнал / шум (рисунок 55).

Щелкнув по кнопке **Переменные**, введите независимые переменные (**independent**) — 6 управляемых факторов, и 9 вариантов изменения зависимой переменной — отклика THICK1-9. Щелкните по кнопке **ОК**.

В нижней части окна с результатами расположены кнопки для просмотра результатов. Из графиков отношения сигнал / шум в зависимости от уровня каждого фактора видно (рисунок 56), что оптимальными, с точки зрения обеспечения качества микросхем, в рассматриваемом технологическом

процессе будут следующие значения: температура — TOM25, давление при прессовании — POP200 и т.д., т.е. значения, обеспечивающие максимум

Итоги плана (Taguchi.sta)
L16: 15 фактора; все факторы явл. 2 уровн.
(Факторы обозначаются числами)

Планир. план	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 8	F 9	F 10	F 11	F 12	F 13	F 14	F 15
1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1
2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
3	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
4	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
5	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
7	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
9	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
10	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
11	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
12	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
13	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
14	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
15	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рисунок 53 - План эксперимента и данные по усадке

Improving the scrap rate in the manufacture of polysilicon wafers

	2	3	4	5	6	8	18	19	20	21
	TEMPERATURE	PRESSURE	NITROGEN	SILANE	SETT_TIM	CLEANING	THICK_1	THICK_2	THICK_3	THICK_4
1	T0_M25	P0_M200	N0	S0_M100	T0	NONE	2029	1975	1961	1975
2	T0_M25	P0	N0_M150	S0_M50	T0_P8	CM_2	5375	5191	5242	5201
3	T0_M25	P0_P200	N0_M75	S0	T0_P16	CM_3	5989	5894	5874	6152
4	T0	P0_M200	N0	S0_M50	T0_P8	CM_3	2118	2109	2099	2140
5	T0	P0	N0_M150	S0	T0_P16	NONE	4102	4152	4174	4556
6	T0	P0_P200	N0_M75	S0_M100	T0	CM_2	3022	2932	2913	2833
7	T0_P25	P0_M200	N0_M150	S0_M100	T0_P16	CM_3	3030	3042	3028	3486
8	T0_P25	P0	N0_M75	S0_M50	T0	NONE	4707	4472	4336	4407
9	T0_P25	P0_P200	N0	S0	T0_P8	CM_2	3859	3822	3850	3871
10	T0_M25	P0_M200	N0_M75	S0	T0_P8	NONE	3227	3205	3242	3468
11	T0_M25	P0	N0	S0_M100	T0_P16	CM_2	2521	2499	2499	2576
12	T0_M25	P0_P200	N0_M150	S0_M50	T0	CM_3	5921	5766	5844	5780

Рисунок 54 - Данные примера Taguchi.sta

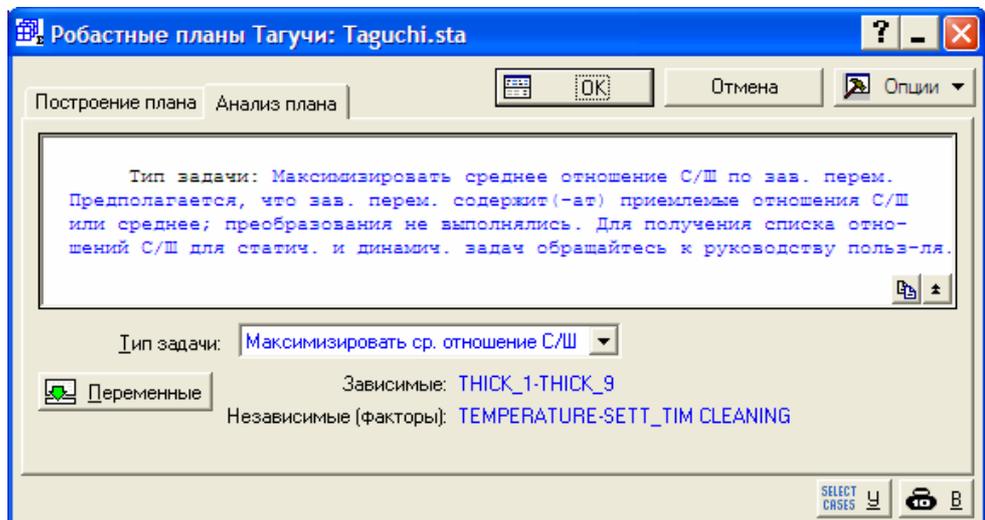


Рисунок 55 - Установка параметров

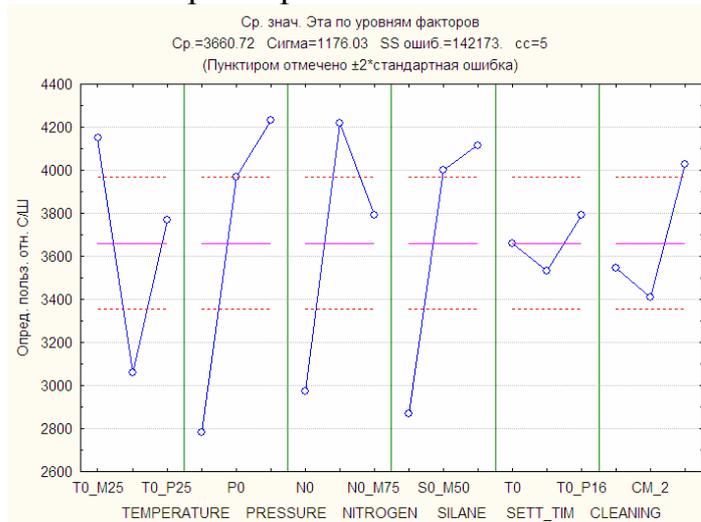


Рисунок 56 - График зависимости отношения сигнал / шум от факторов

отношения сигнал / шум. Эти же значения приведены в таблице **Expected S/N ratio** (рисунок 57).

Из таблицы дисперсионного анализа (кнопка Analysis of variance) видно, что последние два фактора SETTTIM и CLEANING незначимы на 5%-м уровне: результат изменения одного из этих значений на другое не превышает в среднем погрешностей эксперимента.

Проанализируйте самостоятельно результаты эксперимента из файла Lab261.sta с целью выбора оптимальных параметров процесса производства оболочки троса спидометра. При выборе типа отношения учтите, что, чем меньше усадка, тем лучше. Рассмотрите самостоятельно еще один процесс: производство пластикового патрубка для автомобильного двигателя. Управляемые факторы XI—X4: биение, толщина стенки, толщина прокладки, процент связки в исходной смеси. Факторы варьируются на трех уровнях. Постройте план L9. Введите по восемь значений отклика для каждого опыта (разрывное усилие Y при ударной нагрузке). Найдите оптимальные значения уровней факторов XI—X4, обеспечивающих качество процесса (таблица 27).

Фактор	Ожидаемое отношение С/Ш		
	Уровень	Эффект Размер	Станд. Ошибка
{1}TEMPERATURE	T0 M25	490.914	855.8595
{2}PRESSURE	P0 P200	569.321	855.8595
{3}NITROGEN	NO M150	556.432	855.8595
{4}SILANE	S0	455.377	855.8595
{5}SETT_TIM	T0 P16	131.506	855.8595
{6}CLEANING	CM 3	367.377	855.8595
Ожидаем. С/Ш		6231.642	

Рисунок 57 - Оптимальные значения факторов

Таблица 27

№ п/п	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
1	1	1	1	1	19,1	20	19,6	19,6	19,9	16,9	9,5	15,6
2	1	2	2	2	21,9	24,2	19,8	19,7	16,6	19,4	16,2	15
3	1	3	3	3	20,4	23,3	18,2	23,6	15,6	19,1	16,7	16,3
4	2	1	2	3	24,7	23,2	18,9	21	18,6	18,9	17,4	18,3
5	2	2	3	1	25,3	27,5	21,4	25,6	25,1	19,4	18,6	19,7
6	2	3	1	2	24,7	22,5	19,6	14,7	19,8	20	16,3	16,2
7	3	1	3	2	21,6	24,3	18,6	16,8	23,6	18,4	19,1	16,4
8	3	2	1	3	24,4	23,2	19,6	17,8	16,8	15,1	15,6	14,2
9	3	3	2	1	20,6	22,6	22,7	23,1	17,3	19,3	19,9	16,

Список использованных источников

- 1 **Клячкин В.Н.** Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии: учеб. пособие / В.Н. Клячкин. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 304 с.: ил.
- 2 **Боровиков В.П.** Statistica: Искусство анализа данных на компьютере. – СПб: Питер, 2001. – 656 с.
- 3 Статистические методы контроля и управления качеством. – Режим доступа: <http://www.statmetkach.com/index.html>.

Приложение А

Таблица А.1 - Функции стандартного нормального распределения

x	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9425	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998
3,5	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998

Таблица А.2 - Квантили нормального распределения

p	0,90	0,95	0,975	0,99	0,995	0,999	0,9995
u	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,291

Таблица А.3 - Квантили распределения хи-квадрат

к/р	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995	0,999
2	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597	13,815
3	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838	16,266
4	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860	18,466
5	9,236	11,070	12,832	15,086	16,750	20,515
6	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548	22,457
7	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278	24,321
8	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955	26,124
9	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589	27,877
10	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188	29,588
11	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757	31,264
12	18,549	21,026	23,337	26,217	28,300	32,909
13	19,812	22,362	24,763	27,688	29,819	34,527
14	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319	36,124
15	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801	37,698
16	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267	39,252
17	24,769	27,587	30,191	33,409	35,718	40,791
18	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156	42,312
19	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582	43,819
20	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997	45,314
21	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401	46,796
22	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796	48,268
23	32,007	35,172	38,076	41,638	44,181	49,728
24	33,196	36,415	39,364	42,980	45,558	51,179
25	34,382	37,625	40,646	44,314	46,928	52,619
26	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290	54,051
27	36,741	40,113	43,195	46,963	49,645	55,475
28	37,916	41,337	44,461	48,278	50,994	56,892
29	39,087	42,557	45,722	49,588	52,335	58,301
30	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672	59,702
35	46,059	49,802	53,203	57,342	60,275	66,619
40	51,805	55,758	59,342	63,691	66,766	73,403
45	57,505	61,656	65,410	69,957	73,166	80,078
50	63,167	67,505	71,420	76,154	79,490	86,660
60	74,397	79,082	83,298	88,379	91,952	99,608
70	85,527	90,531	95,023	100,425	104,215	112,317

Таблица А.4 - Квантили распределения Стьюдента

к\р	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995	0,999
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,3
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,2
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,458
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435
27	1,313	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,398
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232
120	1,289	1,658	1,98	2,358	2,617	3,160

Таблица А.5 - Квантили распределения Фишера

к2\к1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	60	120
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	248,0	250,1	251,1	252,2	253,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,66	8,62	8,59	8,57	8,55
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,80	5,75	5,72	5,69	5,66
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,56	4,50	4,46	4,43	4,40
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	3,87	3,81	3,77	3,74	3,70
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,44	3,38	3,34	3,30	3,27
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,15	3,08	3,04	3,01	2,97
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	2,94	2,86	2,83	2,79	2,75
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,77	2,70	2,66	2,62	2,58
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,54	2,47	2,43	2,38	2,34
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,39	2,31	2,27	2,22	2,18
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,28	2,19	2,15	2,11	2,06
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,19	2,11	2,06	2,02	1,97
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,12	2,04	1,99	1,95	1,90
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,01	1,92	1,87	1,82	1,77
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	1,93	1,84	1,79	1,74	1,68
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	1,84	1,74	1,69	1,64	1,58
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,75	1,65	1,59	1,53	1,47
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,18	2,09	2,02	1,96	1,91	1,66	1,55	1,50	1,43	1,35

Таблица А.6 - Коэффициенты для построения контрольных карт

n	c	d	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	D1	D2	D3	D4
	0,798	1,128	2,121	1,880	2,659	1,88	0	2,606	0	3,267	0	3,686	0	3,267
3	0,889	1,693	1,732	1,023	1,954	1,19	0	2,276	0	2,568	0	4,358	0	2,574
4	0,921	2,059	1,500	0,729	1,628	0,80	0	2,088	0	2,266	0	4,696	0	2,282
5	0,940	2,326	1,342	0,577	1,427	0,69	0	1,964	0	2,089	0	4,918	0	2,114
6	0,952	2,534	1,225	0,483	1,287	0,55	0,029	1,874	0,030	1,970	0	5,078	0	2,004
7	0,959	2,704	1,134	0,419	1,182	0,51	0,113	1,806	0,118	1,882	0,204	5,204	0,076	1,924
8	0,965	2,847	1,061	0,373	1,099	0,43	0,179	1,751	0,185	1,815	0,388	5,306	0,136	1,864
9	0,969	2,970	1,000	0,337	1,032	0,41	0,232	1,707	0,239	1,761	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,973	3,078	0,949	0,308	0,975	0,36	0,276	1,669	0,284	1,716	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,975	3,173	0,905	0,285	0,927		0,313	1,637	0,321	1,679	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,978	3,258	0,866	0,266	0,886		0,346	1,610	0,354	1,646	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,979	3,336	0,832	0,249	0,850		0,347	1,585	0,382	1,618	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,981	3,407	0,802	0,235	0,817		0,399	1,563	0,406	1,594	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,982	3,472	0,775	0,223	0,789		0,421	1,544	0,428	1,572	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,984	3,532	0,750	0,212	0,763		0,440	1,526	0,448	1,552	1,282	5,782	0,363	1,637

Продолжение таблицы А.6

n	c	d	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	D1	D2	D3	D4
17	0,985	3,588	0,728	0,203	0,739		0,458	1,511	0,466	1,534	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,985	3,640	0,707	0,194	0,718		0,475	1,496	0,482	1,518	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,986	3,689	0,688	0,187	0,698		0,490	1,483	0,497	1,503	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,987	3,735	0,671	0,180	0,680		0,504	1,470	0,510	1,490	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,988	3,778	0,655	0,173	0,663		0,516	1,459	0,523	1,477	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,988	3,819	0,640	0,167	0,647		0,528	1,448	0,534	1,466	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,989	3,858	0,626	0,162	0,633		0,539	1,438	0,545	1,455	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,989	3,895	0,612	0,157	0,619		0,549	1,429	0,555	1,455	1,789	6,031	0,451	1,548
25	0,990	3,931	0,600	0,153	0,606		0,559	1,420	0,565	1,434	1,806	6,056	0,459	1,541