

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

**М.Н. ПОДОЛЬСКАЯ**

# **КВАЛИМЕТРИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

**Часть 2**

## **АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ КАЧЕСТВА**

Утверждено Учёным советом университета  
в качестве учебного пособия для студентов 3 курса, обучающихся  
по направлениям 221400.62 «Управление качеством»  
и 221700.62 «Стандартизация и метрология»



---

Тамбов  
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
2011

УДК 658.562.62 (076.5)  
ББК У290.823.2я73-5  
П444

Рецензенты:

Доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор  
*Б.И. Герасимов*

Доктор технических наук, директор ГНУ «ВНИИТиН»  
*А.Н. Зазуля*

**Подольская, М.Н.**  
П444 Квалиметрия и управление качеством : лабораторный практикум. Ч. 2. Аналитические методы и комплексные инструменты качества / М.Н. Подольская. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 96 с. – 80 экз.  
ISBN 978-5-8265-1018-6

Представлены практические (10 – 18) и лабораторные (6 – 9) работы. Рассматриваются основные аналитические методы квалиметрии и инструменты управления качеством; приводятся рекомендации по использованию их на практике, варианты заданий и вопросы для контроля полученных знаний.

Предназначен для студентов 3 курса, обучающихся по направлениям 221400.62 «Управление качеством» и 221700.62 «Стандартизация и метрология», изучающих дисциплину в шестом семестре.

УДК 658.562.62(076.5)  
ББК У290.823.2я73-5

**ISBN 978-5-8265-1018-6**

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2011

## ВВЕДЕНИЕ

---

Дисциплина «Квалиметрия и управление качеством» относится к циклу специальных дисциплин и предназначена для подготовки студентов по направлениям 221400.62 «Управление качеством» и 221700.62 «Стандартизация и метрология».

Целью изучения дисциплины является получение теоретических знаний об основных принципах управления качеством, методах измерения и оценки качества промышленной продукции, а также получение практических навыков использования полученных знаний в профессиональной деятельности.

Данное пособие разработано в соответствии с учебной программой и призвано помочь студентам усвоить теоретический материал и овладеть практическими навыками управления качеством на предприятиях и в организациях.

Пособие состоит из двух частей. Вторая часть рассматривает аналитические методы и комплексные инструменты управления качеством. В её состав входят девять практических (10 – 18) и четыре (6 – 9) лабораторных работ (нумерация работ сквозная для обеих частей).

В каждой работе приведён краткий теоретический материал, необходимый для проведения занятия, подробное описание порядка выполнения работы, варианты заданий и контрольные вопросы.

В ходе выполнения каждой работы студент должен:

- изучить теоретическую часть работы, лекционный материал и рекомендованную литературу;
- получить у преподавателя свой номер варианта (для практических работ);
- провести соответствующие практические действия (измерения, расчеты, дискуссии, обсуждения), требуемые в работе;
- оформить отчёт, содержащий название и цель работы, графики и таблицы, полученные по результатам выполнения работы, выводы и ответы на контрольные вопросы.

Данное пособие может быть использовано студентами для получения практических навыков использования методов квалиметрии и управления качеством не только на занятиях под руководством преподавателя, но и самостоятельно.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

---

### Практическая работа 10

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШКАЛЫ НАИМЕНОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

**Цель работы:** приобрести умения решать квалиметрические задачи с использованием шкалы наименований.

#### Краткие теоретические сведения

Шкала – это упорядоченный ряд отметок, соответствующий соотношению последовательных значений измеряемых величин.

Самая простая из всех шкал – шкала наименований. В ней числа выполняют роль маркеров, которые служат для обнаружения и различения изучаемых объектов. Различные градации шкалы наименований нельзя упорядочить по условию больше – меньше, лучше – хуже или расположить в порядке появления во времени. Примером шкалы наименований может служить нумерация экзаменационных билетов, номера телефонов, паспортов, штрих-коды товаров. При использовании шкалы наименований могут проводиться только некоторые математические операции. Например, её числа нельзя складывать и вычитать, но можно подсчитывать, сколько раз (как часто) встречается то или иное число.

Статистическая обработка данных, полученных по шкале наименований, позволяет решать ряд квалиметрических задач, рассмотренных далее [1].

Имеется совокупность  $M$  объектов, подлежащих оцениванию. Некоторые из этих объектов обладают интересующим нас признаком  $X$ . Проведено выборочное исследование  $N$  объектов и обнаружено  $n$  объектов с признаком  $X$ . Частость  $p$  появления признака  $X$  равна

$$p = \frac{n}{N}. \quad (10.1)$$

Среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  величины  $n$ :

$$\sigma = \sqrt{Np(1-p)}. \quad (10.2)$$

Среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  частоты  $p$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}}. \quad (10.3)$$

Доверительный интервал  $[n_{\min}, n_{\max}]$  значений, в который с заданной вероятностью укладывается фактическое значение оцениваемой величины:

$$n_{\min} = Np - t\sigma, \quad n_{\max} = Np + t\sigma, \quad (10.4)$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента, выбираемый в зависимости от доверительной вероятности  $P$  и общего числа наблюдений  $N$  по таблице.

Аналогично

$$p_{\min} = p - t\sigma, \quad p_{\max} = p + t\sigma. \quad (10.5)$$

Выбор доверительной вероятности  $P$  зависит от ответственности принимаемых решений: чем выше ответственность, тем больше  $P$ . Обычно выбирают следующие значения  $P$ : 0,80; 0,90; 0,95.

Достоверность различия средних частот  $p_1$  и  $p_2$  проверяют по формуле

$$t = \frac{p_2 - p_1}{\sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{N_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{N_2}}}. \quad (10.6)$$

Вероятность различия находят по таблице значений коэффициента Стьюдента для  $f = N_1 + N_2 - 2$ .

Количество исследований, которое нужно провести, чтобы с вероятностью не менее  $P$  можно было бы утверждать, что данный признак будет обнаружен хотя бы один раз, находится по формуле

$$N = \frac{\ln(1-P)}{\ln(1-\bar{P})}. \quad (10.7)$$

где  $\bar{P}$  – ожидаемая (достаточно малая) вероятность появления признака;  $P$  – гарантируемая (достаточно большая) вероятность обнаружения признака в случае его наличия в  $\bar{P}$ -й части объектов.

**Пример.** Трубным заводом выпущена пробная партия новых труб. При выборочной проверке 100 изделий обнаружены дефекты трёх видов, представленных в табл. 10.1.

### 10.1. Исходные данные для примера

Обозначение	Наименование дефекта	Количество
А	Отклонение труб от допустимых размеров	17
Б	Отклонение больше допустимых от соосности осей резьбы и осей уплотнительных конических поверхностей	8
В	Несоответствие натяга резьбы	13

**Задача 1.** В каких пределах находится число дефектов каждого вида во всей партии, если всего выпущено 1000 труб?

*Решение.* В первую очередь задаёмся доверительной вероятностью. С учётом небольших финансовых потерь за счёт этих дефектов, выбираем  $P = 0,90$ . Тогда  $t = 1,66$ . Используя формулы (10.1) и (10.2), для дефектов вида А находим:

$$P_A = 17/100 = 0,17 ;$$
$$\sigma = \sqrt{1000 \cdot 0,17 \cdot (1 - 0,17)} = 11,88 .$$

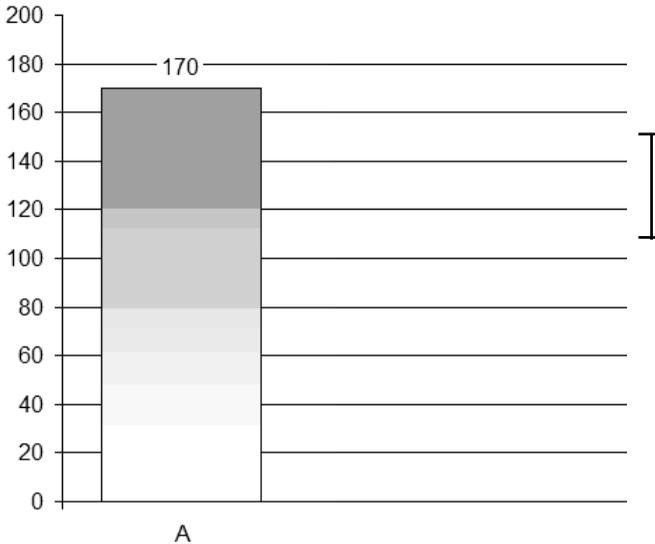
Теперь по формуле (10.4) находим границы 90% доверительного интервала:

$$n_{A \min} = 1000 \cdot 0,17 - 1,66 \cdot 11,88 = 150,3 ;$$
$$n_{A \max} = 1000 \cdot 0,17 + 1,66 \cdot 11,88 = 189,7 .$$

Итак, в партии из 1000 изделий ожидаемое (наиболее вероятное) число дефектов составляет 170, при этом с вероятностью 90% можно обнаружить от 150 до 190 дефектов вида А.

Если бы ситуация была более ответственная, например, связанная с крупным штрафом за поставку продукции со слишком большим числом дефектов, то следовало бы выбрать доверительный интервал 95%. Тогда  $t = 1,98$  и граничные значения были бы шире. Например, для дефектов вида А получилось бы  $n_{A \min} = 146,5$ ;  $n_{A \max} = 193,6$ . Зная эти значения, руководство фирмы заранее решило бы, поставлять ли продукцию заказчику или принять другие меры.

Для наглядного представления доверительных интервалов используют столбиковую гистограмму. По горизонтальной оси располагают градации анализируемого показателя, а по вертикальной – ожидаемые числа дефектов, причём вертикальная чёрточка показывает верхнюю и нижнюю границы доверительного интервала (рис. 10.1).



**Рис. 10.1.** Пример наглядного изображения доверительного интервала на столбиковой диаграмме

**Задача 2.** Те же 1000 труб из задачи 1 разделены на партии по 100 штук, направляемые в разные адреса. Спрашивается, в каких пределах будет находиться число дефектов каждого вида в этих партиях?

*Решение.* На этот раз следует воспользоваться формулой (10.3), которая характеризует рассеяние частотей, полученных по выборкам объема  $N$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{0,17 \cdot 0,83}{100}} = 0,038.$$

Учитывая, что вероятное значение  $p$  составляет 0,17, находим предельные значения доверительного интервала (при  $P = 0,95$ ):

$$p_{\min} = 0,17 - 1,98 \cdot 0,038 = 0,095; \quad p_{\max} = 0,17 + 1,98 \cdot 0,038 = 0,246.$$

Поэтому количество дефектов вида  $A$  в разных партиях будет находиться в пределах:  $n_{A \min} = 9,5$ ;  $n_{A \max} = 24,6$ .

**Задача 3.** Допустим, заводом усовершенствована технологическая линия производства труб, что позволило уменьшить число указанных де-

фектов. При выборочной проверке 100 изделий нового выпуска обнаружено дефектов вида  $A$  – 11, вида  $B$  – 5, вида  $B$  – 4. Спрашивается: действительно ли принятые меры повлияли на количество дефектов или же обнаруженное снижение может быть обусловлено случайными отклонениями, не связанными с работой новой системы?

*Решение.* Рассчитываем значение  $t$  для дефектов вида  $A$  по формуле (10.6):

$$t_A = \frac{0,17 - 0,11}{\sqrt{\frac{0,17 \cdot 0,83}{100} + \frac{0,11 \cdot 0,89}{100}}} = 1,23.$$

Так как 1,23 меньше, чем  $t_{90} = 1,66$ , то в отношении дефектов вида  $A$  улучшение параметров производства не доказано.

**Задача 4.** Как указано в условии примера, при выборочном контроле обнаружены дефекты только трёх видов. Спрашивается: сколько нужно провести исследований, чтобы с заданной вероятностью  $P$  утверждать отсутствие во всей партии какого-либо четвёртого вида дефектов (например, некачественной маркировки)?

*Решение.* Примем вероятность наличия четвёртого дефекта достаточно малой, например,  $p = 0,01$ . Напротив, ширину доверительного интервала выберем достаточно большой:  $P = 0,95$ . Тогда количество изделий, которое надо проверить, чтобы утверждать, что какой-либо ещё дефект присутствует не более чем в 0,01 части изделий, найдём по формуле (10.7):

$$N = \frac{\ln(1 - 0,95)}{\ln(1 - 0,01)} = 298,1.$$

Итак, если в 298 изделиях не будет обнаружен новый вид дефекта, то можно с вероятностью  $P = 0,95$  считать, что его нет вообще.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Решите задачи 1 – 4 для дефектов  $B$  и  $B$  при  $P = 0,80; 0,90; 0,95$ .
3. Проанализировать полученные результаты и оформить отчёт.
4. Ответить на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

1. Что называется шкалой наименований?
2. Для решения каких видов задач может быть использована шкала наименований?
3. Чему равна частота  $p$  появления признака  $X$ , если в выборке из  $N$  объектов обнаружено  $n$  объектов с этим признаком?
4. Что характеризует среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ ?
5. Чему равно среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  величины  $n$ ?
6. Чему равно среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  частоты  $p$ ?
7. Чему равен доверительный интервал значений, в который с заданной вероятностью  $P$  укладывается фактическое значение оцениваемой величины?
8. Какие значения может принимать доверительная вероятность  $P$ ?
9. От чего зависит выбор значений доверительной вероятности?
10. В каких случаях доверительная вероятность принимается равной 0,80?
11. В каких случаях доверительная вероятность принимается равной 0,90?
12. В каких случаях доверительная вероятность принимается равной 0,95?
13. Как определяется и от чего зависит значение коэффициента Стьюдента?
14. Каким образом определяют достоверность различия средних частот?
15. С какой целью рассчитывают достоверность различия средних частот?
16. Приведите формулу для определения количества исследований, необходимых для обнаружения у объекта испытаний некоторого признака с вероятностью не менее  $P$ .
17. Приведите основные статистические характеристики выборки данных, полученных по шкале наименований.
18. Приведите примеры задач, для решения которых могут быть использованы формулы (10.1), (10.2) и (10.4).
19. Приведите примеры задач, для решения которых могут быть использованы формулы (10.3) и (10.5).
20. Приведите примеры задач, для решения которых может быть использована формула (10.6).
21. Приведите примеры задач, для решения которых может быть использована формула (10.7).

### СТАТИСТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ, ИЗМЕРЕННЫМИ ПО ШКАЛАМ НАИМЕНОВАНИЙ

**Цель работы:** приобрести умения решать квалиметрические задачи с использованием шкалы наименований.

#### Краткие теоретические сведения

Разновидностью квалиметрических задач, которые необходимо решать квалиметрологу в процессе своей деятельности, является статистический анализ влияния различных факторов на показатели качества, измеренные с помощью шкалы наименований.

Влияние некоторого фактора, действующего на все или некоторые показатели, проявляется в изменении частостей оценок во всех или некоторых градациях шкалы. Чаще всего встречаются факторы, действующие только на показатели, отнесённые к некоторым градациям и не затрагивающие показатели, отнесённые к другим градациям.

Мерой статистической связи между влияющим фактором и тем или иным показателем является критерий Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(o_j - e_j)^2}{o_j}, \quad (11.1)$$

где  $e_j$  – фактическое (экспериментальное) число оценок в  $j$ -й градации;  $k$  – число градаций;  $o_j$  – ожидаемое число оценок в  $j$ -й градации шкалы, которое рассчитывают по формуле

$$o_j = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k e_j. \quad (11.2)$$

Вычисленное значение критерия Пирсона  $\chi^2$  сравнивается с критическим значением  $\chi_{\text{кр}}^2$  (табл. 11.1). При этом число степеней свободы для парной связи определяется как

$$f = (k_1 - 1)(k_2 - 1), \quad (11.3)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – количество градаций анализируемых показателей.

## 11.1. Критические значения критерия Пирсона $\chi^2_{кр}$

Степень свободы	Вероятность, %				
	90	95	98	99	99,9
1	2,71	3,84	5,41	6,64	10,83
2	4,60	5,99	7,82	9,21	13,82
3	6,25	7,81	9,84	11,34	16,27
4	7,78	9,49	11,67	13,28	18,46
5	9,24	11,07	13,39	15,09	20,52
6	10,64	12,59	15,03	16,81	22,46
7	12,02	14,07	16,62	18,48	24,32
8	13,36	15,51	18,17	20,09	26,12
9	14,68	16,92	19,68	21,67	27,88
10	15,99	18,31	21,16	23,21	29,59
11	17,28	19,68	22,62	24,72	31,26
12	18,55	21,03	24,05	26,22	32,91
13	19,81	22,36	25,47	27,69	34,53
14	21,06	23,68	26,86	29,14	36,12
15	22,31	25,00	28,26	30,58	37,70
16	23,54	26,30	29,63	32,00	39,25
17	24,77	27,59	31,00	33,41	40,79
18	25,99	28,87	32,35	34,81	42,31
19	27,20	30,14	33,69	36,19	43,82
20	28,41	31,41	35,02	37,57	45,32

Если вычисленное значение превосходит критическое, то с заданной вероятностью можно утверждать, что между данным фактором и показателем качества существует тесная связь.

В процессе вычислений данные обычно представляют в виде таблицы сопряженности, по сторонам которой (слева и сверху) располагают градации исследуемых показателей, а в ячейках проставляют числа данных, соответствующих каждому сочетанию градаций.

Ожидаемые значения для каждой  $ij$ -й ячейки находят по формуле

$$o_{ij} = \frac{n_i m_j}{N}, \quad (11.4)$$

где  $n_i$  и  $m_j$  – суммарные числа экспериментальных данных по  $i$ -й строке и  $j$ -у столбцу в решётке сопряженности;  $N$  – общее число данных.

**Пример.** Трубным заводом закуплены две технологические линии А и Б одного назначения. Через некоторое время при выборочном контроле качества готовых труб были обнаружены дефекты трёх видов: а, б и в. Количество дефектов каждого вида приведены в ячейках таблицы сопряжённости.

### 11.2. Исходные данные для примера

Линии	Виды дефектов			$n_i$
	а	б	в	
А	6	3	9	18
Б	11	5	4	20
$m_j$	17	8	13	$N = 38$

По данным табл. 11.2 видно, что технологическая линия А склонна допускать брак «в», а линия Б – брак «а».

Достаточно ли существенно различие количества дефектов, чтобы можно было это утверждение принять с заданной вероятностью?

Найдём ожидаемые  $o_{ij}$  числа дефектов в каждой ячейке решётки сопряжённости по формуле (11.4).

$$o_{11} = \frac{n_i m_j}{N} = \frac{18 \cdot 17}{38} = 8,1;$$

$$o_{12} = \frac{18 \cdot 8}{38} = 3,8;$$

$$o_{13} = \frac{18 \cdot 13}{38} = 6,2;$$

$$o_{21} = \frac{20 \cdot 17}{38} = 8,9;$$

$$o_{22} = \frac{20 \cdot 8}{38} = 4,2;$$

$$o_{23} = \frac{20 \cdot 13}{38} = 6,8.$$

Найдём показатель Пирсона  $\chi^2$  по формуле (11.1):

$$\begin{aligned} \chi^2 &= \frac{(o_{11} - e_{11})^2}{o_{11}} + \frac{(o_{12} - e_{12})^2}{o_{12}} + \frac{(o_{13} - e_{13})^2}{o_{13}} + \frac{(o_{21} - e_{21})^2}{o_{21}} + \frac{(o_{22} - e_{22})^2}{o_{22}} + \\ &+ \frac{(o_{23} - e_{23})^2}{o_{23}} = \frac{(8,1 - 6)^2}{8,1} + \frac{(3,8 - 3)^2}{3,8} + \frac{(6,2 - 9)^2}{6,2} + \frac{(8,9 - 11)^2}{8,9} + \frac{(4,2 - 5)^2}{4,2} + \\ &+ \frac{(6,8 - 4)^2}{6,8} = 3,78. \end{aligned}$$

Число степеней свободы:  $f = (k_1 - 1)(k_2 - 1) = (2 - 1)(3 - 1) = 2$ .

Найдём табличное значение показателя Пирсона  $\chi^2_{95}$  при числе степеней свободы  $f = 2$ :  $\chi^2_{95} = 5,99$ .

Так как вычисленное значение  $\chi^2 = 3,78$  меньше критического  $\chi^2_{95} = 5,99$ , то нельзя утверждать, что технологическая линия А склонна допускать брак «в», а линия Б – брак «а».

Если можно утверждать, что брак «а» и брак «б» обусловлены каким-то одним недочётом технологической линии, то их можно объединить (табл. 11.3).

### 11.3. Исходные данные для примера

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	а + б	в	
А	9	9	18
Б	16	4	20
$m_j$	25	13	$N = 38$

Найдём ожидаемые значения для каждой  $ij$ -ячейки:

$$o_{11} = \frac{18 \cdot 25}{38} = 11,8;$$

$$o_{12} = \frac{18 \cdot 13}{38} = 6,2;$$

$$o_{21} = \frac{20 \cdot 25}{38} = 13,2;$$

$$o_{22} = \frac{20 \cdot 13}{38} = 6,8.$$

Найдём показатель Пирсона:

$$\begin{aligned} \chi^2 &= \frac{(o_{11} - e_{11})^2}{o_{11}} + \frac{(o_{12} - e_{12})^2}{o_{12}} + \frac{(o_{21} - e_{21})^2}{o_{21}} + \frac{(o_{22} - e_{22})^2}{o_{22}} = \\ &= \frac{(11,8 - 9)^2}{11,8} + \frac{(6,2 - 9)^2}{6,2} + \frac{(13,2 - 16)^2}{13,2} + \frac{(6,8 - 4)^2}{6,8} = 3,79. \end{aligned}$$

Число степеней свободы:  $f = (k_1 - 1)(k_2 - 1) = (2 - 1)(2 - 1) = 1$ .

Найдём табличное значение показателя Пирсона  $\chi^2_{95}$  при числе степеней свободы  $f = 1$ :  $\chi^2_{95} = 3,84$ .

Вычисленное значение  $\chi^2 = 3,79$  меньше критического значения  $\chi_{95}^2 = 3,84$ , поэтому нельзя утверждать, что технологическая линия А склонна допускать брак «а»+ «б», а линия Б – брак «в».

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Определить, существует ли связь между дефектами («а», «б») и технологическими линиями (А, Б, В), выпускающими продукцию, в которой встречаются данные виды дефектов. Исходные данные для расчёта приведены в табл. 11.4 – 11.13.
3. Проанализировать полученные результаты и оформить отчёт.
4. Ответить на контрольные вопросы.

#### 11.4. Исходные данные для варианта 1

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	а	б	
А	5	14	19
Б	8	2	10
В	3	10	13
$m_j$	16	26	$N = 42$

#### 11.5. Исходные данные для варианта 2

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	а	б	
А	3	1	4
Б	4	6	10
В	5	8	13
$m_j$	12	15	$N = 27$

#### 11.6. Исходные данные для варианта 3

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	а	б	
А	10	3	13
Б	8	5	13
В	11	7	18
$m_j$	29	15	$N = 44$

### 11.7. Исходные данные для варианта 4

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	a	б	
А	7	8	15
Б	14	9	23
В	3	10	13
$m_j$	24	27	$N = 51$

### 11.8. Исходные данные для варианта 5

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	a	б	
А	1	14	15
Б	2	12	14
В	4	10	14
$m_j$	7	36	$N = 43$

### 11.9. Исходные данные для варианта 6

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	a	б	
А	6	13	19
Б	7	4	11
В	3	10	13
$m_j$	16	27	$N = 43$

### 11.10. Исходные данные для варианта 7

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	a	б	
А	8	1	9
Б	4	15	19
В	10	8	18
$m_j$	22	24	$N = 46$

### 11.11. Исходные данные для варианта 8

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	а	б	
А	9	2	11
Б	8	5	13
В	21	18	39
$m_j$	38	25	$N = 63$

### 11.12. Исходные данные для варианта 9

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	а	б	
А	1	14	15
Б	12	5	17
В	4	10	14
$m_j$	17	29	$N = 46$

### 11.13. Исходные данные для варианта 10

Линии	Виды дефектов		$n_i$
	а	б	
А	11	11	22
Б	12	8	20
В	5	8	13
$m_j$	28	28	$N = 55$

### Контрольные вопросы

1. Что называется шкалой наименований?
2. Для решения каких видов задач может быть использована шкала наименований?
3. Что является мерой статистической связи между влияющим фактором и показателями качества продукции?
4. По какой формуле рассчитывается критерий Пирсона?
5. Как находится ожидаемое число оценок в градациях шкал?
6. Как определяется критическое значение критерия Пирсона?
7. Чему равно число степеней свободы для парной связи?
8. Какие значения вероятности  $P$  обычно используют при определении критического значения критерия Пирсона?

9. Какие значения вероятности  $P$  рекомендуется использовать при определении критического значения критерия Пирсона в наиболее ответственных случаях?

10. О чём свидетельствует превышение вычисленного значения критерия Пирсона своего критического значения?

11. Что собой представляет таблица сопряжённости?

12. Приведите порядок заполнения таблицы сопряжённости?

13. Как рассчитываются ожидаемые значения оценок для каждой ячейки таблицы сопряжённости?

14. Опишите алгоритм проверки наличия статистической связи между влияющим фактором и тем или иным показателем качества.

15. Как определяется наличие статистической связи между влияющим фактором и сразу несколькими показателями качества?

16. Как влияет количество градаций анализируемых показателей на результат оценки статистической связи между этими показателями и влияющими факторами?

17. Приведите примеры факторов, оказывающих влияние на отдельные показатели качества бытовой техники в ходе производства.

18. Приведите примеры факторов, оказывающих влияние на совокупность показателей качества бытовой техники в ходе производства.

19. Приведите примеры факторов, оказывающих влияние на отдельные показатели качества текстильной продукции в ходе производства.

20. Приведите примеры факторов, оказывающих влияние на совокупность показателей качества текстильной продукции в ходе производства.

21. Назовите достоинства и недостатки метода использования критерия Пирсона для оценки статистической связи между влияющими факторами и показателями качества.

## Практическая работа 12

### ЗАДАЧИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПО ШКАЛАМ ПОРЯДКА

**Цель работы:** приобрести умения решать квалиметрические задачи с использованием шкалы порядка.

#### Краткие теоретические сведения

Если отдельные градации показателя можно расположить в порядке нарастания выраженности показателя или же упорядочить в порядке развития некоторого процесса во времени, то такая совокупность градаций образует шкалу порядка.

Центральную тенденцию распределения оценок на шкале порядка характеризуют путём указания медианы  $Me$ -градации, слева и справа от которой находится менее 50% оценок.

Положение медианы внутри медианной градации может быть указано более точно:

$$Me = X_{л} + \frac{(0,5n_0 - \sum n_{л})(X_{п} - X_{л})}{n_{Me}}, \quad (12.1)$$

где  $X_{л}$ ,  $X_{п}$  – значения оцениваемого показателя на левой и правой границах медианной градации;  $n_0$  – общее количество оценок;  $\sum n_{л}$  – сумма количеств оценок во всех градациях слева от медианы;  $n_{Me}$  – количество оценок в медианной градации.

Для характеристики рассеяния оценок по шкале порядка используют первый  $q_1$  и третий  $q_3$  квартилы – величины, отделяющие слева и с права от распределения части, в которых находятся по 25% всех оценок. Слева от  $q_1$  и  $q_3$  находятся, соответственно, 25 и 75% всех оценок.

$$q_1 = X_{л} + \frac{(0,25n_0 - \sum n_{л})(X_{п} - X_{л})}{n_1}; \quad (12.2)$$

$$q_3 = X_{л} + \frac{(0,75n_0 - \sum n_{л})(X_{п} - X_{л})}{n_3}, \quad (12.3)$$

где  $\sum n_{л}$  – количество оценок во всех градациях, расположенных слева от соответствующей квартильной градации;  $n_1$ ,  $n_3$  – количество оценок в первой и третьей квартильных градациях, соответственно.

Если в пределах медианной и смежной с ней (правой или левой) градации находится не менее заданного процента оценок, то последние считаются согласованными. Задаются обычно согласованностью 66, 80, 90%.

Влияние некоторого фактора, одинаковым образом действующего на все объекты и на распределение оценок этих объектов в шкале, проявляется в сдвиге оценок к одному из концов шкалы, что приводит к сдвигу медианы. Но рассеяние при этом остаётся практически неизменным. Если фактор действует лишь на часть объектов или на разные объекты, то возрастает рассеяние, а положение медианы изменится незначительно.

Достоверность влияния некоторого фактора, проявившегося в одностороннем смещении оценок, можно проверить путём сравнения нового

распределения (назовём его Б), полученного после воздействия фактора, с предыдущим (А). Для этого сравнения выбирают 2 – 4 положения границы, разделяющей каждое из распределений на левую и правую часть, и рассчитывают значения показателя Пирсона:

$$\chi^2 = \frac{(m_{\text{л}} - m_{\text{л}}^{\text{ож}})^2}{m_{\text{л}}^{\text{ож}}} + \frac{(m_{\text{п}} - m_{\text{п}}^{\text{ож}})^2}{m_{\text{п}}^{\text{ож}}}, \quad (12.4)$$

где  $m_{\text{л}}$  и  $m_{\text{п}}$  – фактические числа оценок слева и справа от выбранной границы;  $m_{\text{л}}^{\text{ож}}$ ,  $m_{\text{п}}^{\text{ож}}$  – ожидаемые числа оценок, рассчитываемые пропорционально частотам оценок слева и справа от выбранной границы в исходном распределении А по формулам

$$m_{\text{л}}^{\text{ож}} = \frac{n_{\text{л}}}{n_0} m_0, \quad m_{\text{п}}^{\text{ож}} = \frac{n_{\text{п}}}{n_0} m_0, \quad (12.5)$$

где  $n_0$  и  $m_0$  – общие числа оценок в распределениях А и Б;  $n_{\text{л}}$ ,  $n_{\text{п}}$  – числа оценок в распределении А слева и справа от выбранной границы.

Если вычисленное значение  $\chi^2$  больше критического  $\chi_{95}^2$ , то эффект достоверен. При этом число степеней свободы для  $\chi^2$  равно единице ( $f=1$ ).

Этот же способ может быть применён для проверки достоверности сдвига медианы.

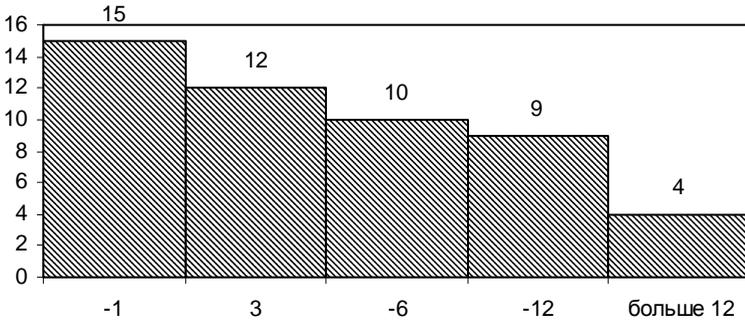
Для иллюстрации способов работы с оценками, полученными по шкале порядка, рассмотрим следующий пример [1].

**Пример 1.** При проведении стендовых испытаний приборов, предназначенных для работы в условиях вибрации, на устойчивость к сотрясениям их механизмы помещают на испытательный вибростенд и через определённые периоды воздействия подсчитывают количество прекративших работу устройств. Категорию приборов по виброустойчивости устанавливают, исходя из того времени воздействия, после которого сохраняют работоспособность 50% устройств (т.е. медианного времени). Поскольку экспериментально уловить этот момент не удаётся, его рассчитывают, пользуясь приведёнными формулами.

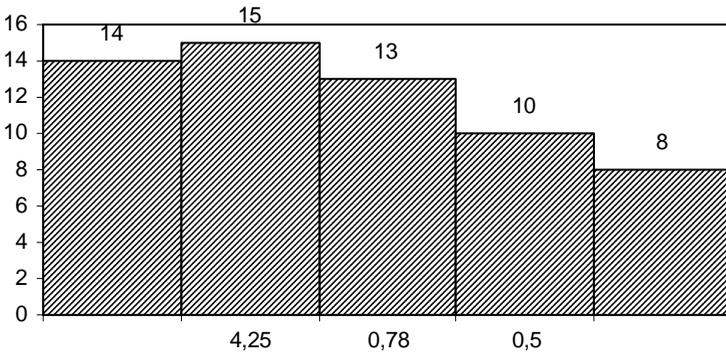
Было проверено на виброустойчивость 50 приборов новой серии. Подсчёт вышедших из строя устройств проводили через 1, 3, 6 и 12 ч, после чего испытания прекратили. Распределение полученных данных приведено в табл. 12.1, столбец А и проиллюстрировано с помощью рис. 12.1, а.

### 12.1. Исходные данные для примера

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	15	14	15
3	12	15	9
6	10	13	5
12	9	10	8
Более 12	4	8	8



а)



б)

**Рис. 12.1. Распределение числа устройств, вышедших из строя в течение данного периода испытаний:**

а – до внесения конструктивных изменений; б – после изменений

Итак, следует найти медианное время сохранения работоспособности. С помощью рис. 12.1, а можно видеть, что медианой является градация (-3). Действительно, как справа, так и слева от неё находится менее половины оценок (30 и 40%, соответственно). Используя формулу (12.1), находим положение медианного времени внутри медианной градации:

$$Me = 1 + \frac{(0,5 \cdot 50 - 15)(3 - 1)}{12} = 2,67 \approx 2 \text{ ч } 40 \text{ мин.}$$

То есть половина всех механизмов вышла из строя в течение 2 ч 40 мин после начала испытаний, остальные продержались дольше. Допустим, что для повышения устойчивости были введены некоторые конструктивные изменения во все механизмы и повторные испытания, проведённые на 60 устройствах, привели к результатам, отражённым в столбце Б табл. 12.1 и на рис. 12.1, б.

Сравнивая диаграммы рис. 12.1, а и б, можно видеть, что введённые усовершенствования позволили, как будто бы, повысить виброустойчивость. Новое медианное время будет равно

$$Me = 3 + \frac{(0,5 \cdot 60 - 29)(6 - 3)}{13} = 3,23 \approx 3 \text{ ч } 14 \text{ мин.}$$

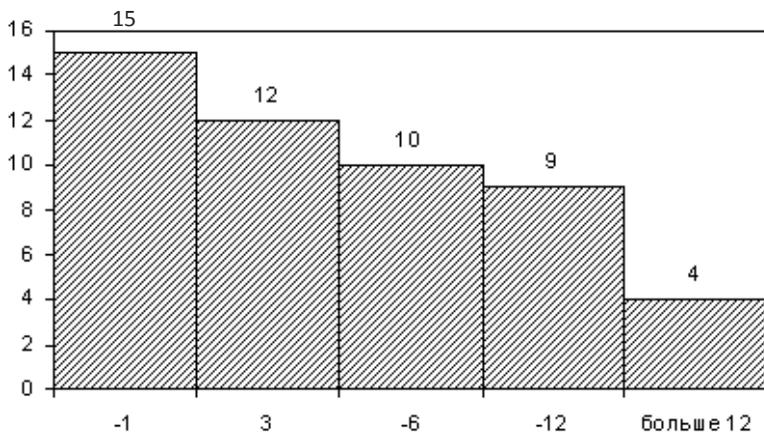
Новый медианный срок службы больше предыдущего. Проверим достоверность эффекта. Возьмём три положения разделяющей границы – между градациями (-1) – (-3); (-3) – (-6) и (-6) – (-12). Для каждого положения по формуле (12.3) рассчитаем показатель Пирсона  $\chi^2$ . Полученные значения  $\chi^2$  приведены в нижней части рис. 12.1, б. По этим данным видно, что при положении разделяющей границы между градациями (-1) и (-3) обнаруживается достоверность эффекта  $\chi^2 = 4,25 > \chi_{95}^2 = 3,84$ .

**Исследование рассеяния.** Как было сказано выше, рассеяние данных на шкале порядка характеризуют с помощью интерквартильного размаха  $R = q_3 - q_1$ .

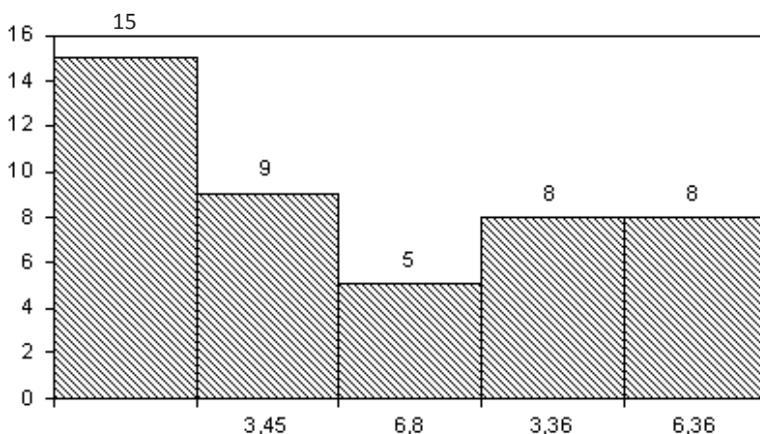
Возрастание рассеяния говорит о возникновении какого-то фактора, который по-разному действует на различные объекты. В некоторых из них значение регистрируемого показателя возрастает, а в некоторых – убывает (или остаётся прежним, если фактор избирательно действует лишь на часть объектов).

Достоверность влияния, проявляющегося в изменении рассеяния, можно проверить, выбирая положение двух границ, разделяющих новое, полученное после влияния фактора распределение (назовём его «В») на три части, и вычисляя  $\chi^2$  формуле (12.4).

**Пример 2.** Допустим, что для повышения виброустойчивости приборов были внесены изменения не в конструкцию (что коснулось бы всех механизмов), а в технологический процесс производства (что затронет лишь некоторые механизмы) и после этого испытания новой партии 45 устройств дали результаты, приведённые в столбце В табл. 12.1 и проиллюстрированные на рис. 12.2, б.



а)



б)

**Рис. 12.2. Распределение числа устройств, вышедших из строя в течение данного периода испытаний:**

а – до внесения изменений; б – в предположении внесения изменений в технологию

Рассчитанные значения  $\chi^2$  приведены в нижней части рис. 12.2, б.

Видно, что во втором положении обнаруживается достоверное возрастание рассеяния  $\chi^2 = 6,80 > \chi_{95}^2 = 5,99$ .

Сравнивая диаграммы, приведённые на рис. 12.2, а и б, можно заметить, что количество данных в правых градациях, соответствующих большей устойчивости, возросло, а в левых осталось почти неизменным. Это говорит о том, что воздействие нового фактора выразилось лишь в повышении устойчивости наиболее совершенных приборов. Достоверное возрастание рассеяния, обнаруживаемое при втором положении разделяющих границ, подтверждает вывод.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Оцените достоверность влияния конструктивных и технологических усовершенствований на виброустойчивость группы приборов по исходным данным своего варианта, приведённым в табл. 12.2 – 12.11.
3. Проанализировать полученные результаты и оформить отчёт.
4. Ответить на контрольные вопросы.

#### 12.2. Исходные данные для варианта 1

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	20	10	15
3	15	10	15
6	10	8	3
12	5	8	2
Более 12	2	1	1

#### 12.3. Исходные данные для варианта 2

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	30	22	20
3	15	10	9
6	5	4	4
12	2	2	1
Более 12	2	2	1

### 12.4. Исходные данные для варианта 3

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	25	24	23
3	9	9	5
6	9	8	3
12	8	8	2
Более 12	4	1	1

### 12.5. Исходные данные для варианта 4

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	14	12	7
3	12	7	5
6	10	5	1
12	8	5	1
Более 12	6	1	1

### 12.6. Исходные данные для варианта 5

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	27	21	18
3	10	10	5
6	7	5	2
12	5	5	2
Более 12	2	1	1

### 12.7. Исходные данные для варианта 6

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	40	10	15
3	15	8	7
6	20	8	3
12	8	5	2
Более 12	3	1	1

### 12.8. Исходные данные для варианта 7

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	30	22	10
3	17	10	7
6	5	3	4
12	3	2	2
Более 12	2	2	1

### 12.9. Исходные данные для варианта 8

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	24	21	18
3	9	9	5
6	10	8	4
12	9	7	2
Более 12	5	1	1

### 12.10. Исходные данные для варианта 9

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	15	12	7
3	12	8	3
6	9	5	1
12	8	6	1
Более 12	3	1	1

### 12.11. Исходные данные для варианта 10

Длительность вибрации, ч	Число механизмов, прекративших работу		
	до усовершенствований	после усовершенствований	
		конструктивных	технологических
	А	Б	В
1	28	21	14
3	12	9	8
6	10	5	2
12	4	1	2
Более 12	2	1	2

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «шкала порядка».
2. Для решения каких квалиметрических задач используется статистическая обработка данных, полученных по шкале порядка?
3. Какие параметры характеризуют центральную тенденцию распределения оценок по шкале порядка?
4. Как определяется положение медианы внутри медианной градации на шкале порядка?
5. Какие параметры характеризуют рассеяние оценок по шкале порядка?
6. Какие выражения используются для расчёта значений первого  $q_1$  и третьего  $q_3$  кварталов рассеяния по шкале порядка?
7. Что собой представляет второй квартал  $q_2$  рассеяния по шкале порядка?
8. Что характеризует и как рассчитывается интерквартильный размах?

9. В каком случае оценки, заданные с использованием шкалы порядка, считаются согласованными?

10. Какие значения уровня согласованности оценок рекомендуется использовать в наиболее и наименее ответственных случаях?

11. О чём свидетельствует сдвиг медианной градации к одному из концов шкалы порядка?

12. О чём свидетельствует изменение рассеяния оценок по шкале порядка?

13. Как можно проверить достоверность влияния некоторого фактора на показатели качества, если оно проявляется в сдвиге медианной градации?

14. Приведите формулы для расчёта критерия Пирсона и числа ожидаемых оценок слева и справа от выбранной границы.

15. Как можно проверить достоверность влияния некоторого фактора на показатели качества, если оно проявляется в изменении рассеяния оценок?

16. Каким образом определяется критическое значение критерия Пирсона?

17. Какие значения может принимать вероятность  $P$  при определении критического значения критерия Пирсона?

18. Какой вывод можно сделать, если рассчитанное значение критерия Пирсона меньше своего критического значения?

19. Какой вывод можно сделать, если рассчитанное значение критерия Пирсона больше своего критического значения?

20. Как изменится вид диаграммы распределения оценок по шкале порядка в случае достоверного влияния некоторого фактора на все объекты?

21. Как изменится вид диаграммы распределения оценок по шкале порядка в случае достоверного влияния некоторого фактора на часть объектов или на разные объекты?

## Практическая работа 13

### СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ИЗМЕРЕННЫХ ПО ШКАЛАМ ПОРЯДКА. ДИАГРАММА СДВИГА

**Цель работы:** приобрести умения решать квалиметрические задачи с использованием шкалы порядка и навыки построения диаграмм сдвига.

#### Краткие теоретические сведения

Многие полезные сведения может дать анализ статистических связей показателей, измеренных по шкалам порядка [1].

Для исследования статистической связи между показателями, измеренными в шкалах порядка, необходимо построить решётку сопряжённости этих показателей. В решётке сопряжённости по горизонтальной оси откладывают градации одного показателя –  $X$ , а по вертикальной градации другого –  $Y$ . В ячейках решётки сопряжённости помещают либо число объектов с данным сочетанием градаций  $X$  и  $Y$ , либо непосредственно их номера.

Пусть, например, подлежит исследованию связь показателя  $X$  – «длительность вибрации» с показателем  $Y$  – «сохранность внешнего вида» (градации «хорошая», «удовлетворительная», «неудовлетворительная»). Поскольку вибрация влияет на внешний вид всех объектов одинаковым образом, то наиболее плотно заполненные ячейки будут сконцентрированы вблизи главной диагонали решётки сопряжённости, т.е. будет иметь место корреляционная связь табл. 13.1.

### 13.1. Решётка сопряжённости показателей

$Y$						
Неудовлетворительная						
Удовлетворительная						
Хорошая						$X$
	–1	–3	–6	–12	Более 12	ч

Проверить достоверность наличия статистической связи (не только с корреляционной, но и любого другого типа) можно по критерию Пирсона  $\chi^2$ , который в данном случае рассчитывают по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(e_{ij} - o_{ij})^2}{o_{ij}}, \quad (13.1)$$

где  $e_{ij}$  – экспериментально наблюдаемое количество данных в ячейке  $ij$ ;  $o_{ij}$  – ожидаемое количество данных в этой ячейке.

Причём  $o_{ij}$  рассчитывают по формуле

$$o_{ij} = \frac{n_i m_j}{N}, \quad (13.2)$$

где  $n_i$  – общее количество данных в  $i$ -й строке;  $m_j$  – общее количество данных в  $j$ -м столбце;  $N$  – количество данных во всех ячейках.

Число степеней свободы  $f$  в этом случае рассчитывают по формуле

$$f = (k_1 - 1)(k_2 - 1), \quad (13.3)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – числа градаций показателей  $X$  и  $Y$ .

Построение решёток сопряжённости и их визуальная оценка – очень полезная операция. Можно, конечно, вычислить значение  $\chi^2$  непосредственно по числовым данным даже без построения решёток, но только визуальный анализ расположения групп объектов и даже отдельных объектов позволит извлечь максимум сведений о характере влияния.

Если один и тот же показатель зарегистрирован по группе объектов до и после некоторого воздействия на эти объекты, то для анализа его изменений используют «диаграмму сдвига».

На диаграмме сдвига по горизонтальной оси отложены оценки полученные объектами «до», а по вертикальной оси – «после» воздействия. Если оценка, полученная объектом, не изменилась, то точка, обозначающая объект, попадает в одну из диагональных ячеек (табл. 13.2). Если оценка изменилась в сторону возрастания, то точка попадает в ячейку выше диагонали, в противном случае – ниже диагонали. Для того чтобы наглядно видеть, какой именно объект получил те или иные оценки, удобно вместо точек использовать номера объекта.

Таким образом, расположение номеров объектов на диаграмме сдвига позволяет обнаружить группы объектов, оценки которых изменились в желаемом или же нежелаемом направлении и обнаружить объекты, оценки которых изменились аномально – вне типичных групп.

**Пример.** При оценивании качества технических вод, сбрасываемых предприятиями после использования, определяют величину превышения в этих водах предельно допустимых концентраций ПДК загрязняющих веществ. Очищенной считается вода, в которой концентрация загрязняющих веществ не превышает ПДК. Санитарно-эпидемиологической станцией (СЭС) была проведена контрольная проверка состояния сбросных вод на 50 предприятиях одного региона, после чего неблагоприятным в этом отношении предприятиям указано на необходимость улучшить очистку. Через некоторое время был проведён повторный контроль. Таким образом, каждое предприятие получало две оценки по качеству очистки, которые и определяли положение его номера на диаграмме сдвига табл. 13.2. Числа в ячейках обозначают номера обследованных предприятий. Жирными линиями выделены диагональные ячейки, в которые попали номера предприятий, не принявших мер по повышению качества очистки.

Как можно видеть из табл. 13.2, предприятия по-разному отреагировали на указания СЭС. Большинство предприятий, ранее неблагополучных, приняли эффективные меры по очистке сбросных вод и вошли в пределы гигиенических нормативов (не превышающих ПДК). Это предприятия, занявшие нижнюю строчку диаграммы: 22, 23 – 48.

### 13.2. Диаграмма сдвига распределения оценок качества сбросных вод 50 предприятий между двумя контрольными проверками

ПДК «после»					
Более 20	18		37		50
-20					
-10		24	30, 29	38, 39	
-5	16, 17	19, 20, 21	31, 32	40, 41, 42	49
-1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	22, 23	33, 34, 35, 36	24, 25, 26, 27, 43, 44, 45, 46	47, 48 ПДК «до»
	-1	-5	-10	-20	Более 20

Другие предприятия, чьи номера заняли правый нижний угол (31, 32, 38 – 49), но не нижнюю строчку, видимо, приняли определённые меры по очистке вод, но пока ещё недостаточные, так как нормативы остались превышенными.

Предприятия, попавшие в диагональные ячейки (19, 20, 21, 29, 30, 50), никаких мер не приняли. Наконец, на некоторых предприятиях (16, 17, 24) произошли события, повлиявшие на качество воды в сторону её ухудшения. На особо выделяющихся предприятиях 18 и 37, видимо, произошла какая-то техногенная катастрофа, приведшая к резкому возрастанию загрязнения воды.

Достоверность положительного (в целом) эффекта указаний СЭС, а именно преимущественного сдвига оценки загрязнённости в определённую сторону (в данном примере в сторону улучшения) можно проверить по критерию  $\chi^2$ , рассчитываемому по формуле (12.4), причём в качестве  $m_n$ ,  $m_n$  следует использовать числа объектов выше и ниже диагонали, а «ожидаемые» числа получают в предположении равновероятности изменения уровня загрязнения в сторону повышения и понижения:

$$m_{л}^{ож} = m_{п}^{ож} = \frac{m_{л} + m_{п}}{2}. \quad (13.4)$$

Здесь  $\chi^2$  рассчитывают при числе степеней свободы  $f = 2$ .

В примере с предприятиями эта проверка, конечно, не даст существенно новой информации – эффект виден и без  $\chi^2$ . Но если бы результаты были менее очевидны, то применение критерия стало бы необходимым.

Следует подчеркнуть, что применение критерия  $\chi^2$  не является чисто формальной операцией. Способ его использования должен опираться на содержательные представления о той гипотезе, которая подлежит проверке. В данном случае это была гипотеза о наличии положительного эффекта, выражающегося в концентрации данных в правом нижнем углу. В других случаях может потребоваться доказательство преимущественной концентрации оценок в диагональных ячейках и т.д.

Таким образом, диаграмма сдвига позволяет подробно исследовать характер изменений показателей качества, не только выявляя типичные группы изменений, но и обнаруживая индивидуальные изменения показателей в каждом отдельном объекте.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Проверьте достоверность положительного эффекта проводимых мероприятий на улучшение экологической ситуации, если диаграмма сдвига, отображающая распределение оценок качества сбросных вод 50 предприятий между двумя контрольными проверками, имеет вид, представленный в табл. 13.3 – 13.12.
3. Проанализировать полученные результаты и оформить отчет.
4. Ответить на контрольные вопросы.

### 13.3. Исходные данные для варианта 1

Более 20	22		4, 11		7, 10	
-20	21					
-10			23	16		
-5	8, 9	20, 24	12	19, 23		
-1	1, 2, 13, 25	15, 17	3, 5, 6	14, 18		
ПДК «после»						
	ПДК «до»	-1	-5	-10	-20	Более 20

### 13.4. Исходные данные для варианта 2

Более 20	25	24	19	20, 21, 22	12
-20			18, 23	4, 8	
-10	13,18			1, 5, 7	
-5		2, 3, 6	14, 15	16, 17	
-1	9, 10, 11				
ПДК «после»  ПДК «до»	-1	-5	-10	-20	Более 20

### 13.5. Исходные данные для варианта 3

Более 20				22	25
-20	4, 8		15, 16		9, 13, 18
-10	21, 23	11, 12		7, 10	20
-5		19, 24	14, 17	1, 2, 3	
-1	5, 6				
ПДК «после»  ПДК «до»	-1	-5	-10	-20	Более 20

### 13.6. Исходные данные для варианта 4

Более 20			14, 16	15, 17	18, 21
-20					3, 20, 22
-10	5, 10	11, 13	1, 7, 8		
-5	9, 25		12	19, 23	2, 4, 6
-1	24				
ПДК «после»  ПДК «до»	-1	-5	-10	-20	Более 20

### 13.7. Исходные данные для варианта 5

Более 20	13, 14			16, 18	10, 15	
-20		4, 23	11	2, 6	21	
-10	3, 7, 8	24, 25	2, 20, 22	12		
-5	17					
-1	19	1, 5, 9				
ПДК «после»	ПДК «до»	-1	-5	-10	-20	Более 20

### 13.8. Исходные данные для варианта 6

Более 20	9		1, 11		7, 10, 19	
-20	8					
-10		23	3, 5, 6	16	21	
-5	22	20, 24	12	4, 23		
-1	2, 13, 25	15, 17		14, 18		
ПДК «после»	ПДК «до»	-1	-5	-10	-20	Более 20

### 13.9. Исходные данные для варианта 7

Более 20	25	2,3	19	20, 21, 22	12	
-20			18, 23	4, 8	10, 11	
-10				1, 5, 7	18	
-5		6, 9	14	16, 17, 24		
-1	13, 15					
ПДК «после»	ПДК «до»	-1	-5	-10	-20	Более 20

### 13.10. Исходные данные для варианта 8

Более 20				22	18	
-20	8		1, 2		9, 13	
-10	25	11, 12	15, 16	7, 10	20, 21, 23	
-5		19, 24	14, 17	3		
-1	5, 6			4		
ПДК «после»	ПДК «до»	-1	-5	-10	-20	Более 20

### 13.11. Исходные данные для варианта 9

Более 20			14, 16	15, 17	2, 4, 6	
-20			18, 21		3	
-10	5, 10	11, 13, 24	19, 23			
-5	9, 25		12	20, 22	2, 4, 6	
-1	1, 7, 8					
ПДК «после»	ПДК «до»	-1	-5	-10	-20	Более 20

### 13.12. Исходные данные для варианта 10

Более 20	16			18	9	
-20	7	4,23	11	2, 6	1, 5	
-10		24, 25	2, 20, 22	12		
-5	17	19, 21		3, 8	14	
-1	10, 15				13	
ПДК «после»	ПДК «до»	-1	-5	-10	-20	Более 20

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «шкала порядка».
2. Какие задачи позволяет решить анализ статистических связей показателей, измеренных по шкалам порядка?
3. Дайте определение понятию «решётка сопряжённости».
4. Опишите алгоритм действий при построении решётки сопряжённости.
5. Как проверить наличие корреляционной связи между различными параметрами, используя решётку сопряжённости?
6. С какой целью используют критерий Пирсона и по какой формуле его рассчитывают?
7. Как рассчитывается ожидаемое количество данных в ячейках решётки сопряжённости?
8. Как определяется критическое значение критерия Пирсона?
9. Чему равно число степеней свободы при определении критического значения критерия Пирсона?
10. С какой целью используется решётка сопряжённости?
11. Приведите примеры задач, для решения которых может быть использована решётка сопряжённости.
12. Дайте определение понятию «диаграмма сдвига».
13. Приведите порядок действий при построении диаграммы сдвига.
14. С какой целью используются диаграммы сдвига?
15. Как проверить наличие корреляционной связи между различными параметрами, используя диаграмму сдвига?
16. О чём свидетельствует попадание объектов в диагональные ячейки диаграммы сдвига, в ячейки выше и ниже диагонали?
17. Какой критерий используется для проверки положительного эффекта от проводимых мероприятий?
18. В каких случаях необходимо использование критерия для проверки положительного эффекта от проводимых мероприятий?
19. Может ли использоваться диаграмма сдвига для выявления типичных изменений в большой группе объектов?
20. Может ли использоваться диаграмма сдвига для выявления индивидуальных изменений показателей в каждом отдельном объекте?
21. Приведите примеры задач, для решения которых может быть использована диаграмма сдвига.

### ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ НАДЁЖНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ

**Цель работы:** изучить основные показатели, характеризующие надёжность изделий.

#### Краткие теоретические сведения

Под надёжностью понимается способность изделия (единицы продукции) выполнять требуемые функции в заданных условиях в течение заданного периода времени. Надёжность – сложное свойство, представляющее собой комплексный показатель, включающий в себя такие показатели, как:

- безотказность;
- долговечность;
- ремонтпригодность;
- сохранность.

Показатели безотказности характеризуют свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. К ним относятся: вероятность безотказной работы  $P(t)$ ; интенсивность отказов  $\lambda(t)$ ; параметр потока отказов  $\varphi(t)$ ; средняя наработка до первого отказа  $T_{cp}$ ; наработка на отказ  $T$ ; условная средняя наработка до первого отказа  $T_{cp}^*$  [8].

Вероятностью безотказной работы называется вероятность того, что в пределах определённого времени  $t$  или объёма работы изделия не произойдёт отказа. Она определяется выражением

$$P(t) \approx \frac{N(t)}{N_0}, \quad (14.1)$$

где  $N_0$  – количество изделий, работавших в начале промежутка времени;  $N(t)$  – количество изделий, работавших в конце промежутка времени.

Интенсивностью отказов называют вероятность отказа неремонтируемого изделия в единицу времени при условии, что отказ до этого времени не возник. Она может быть определена по следующей формуле:

$$\lambda(t) \cong \frac{\Delta n}{N(t)\Delta t}, \quad (14.2)$$

где  $\Delta n$  – число изделий, отказавших за время  $t$ ;  $N(t)$  – количество исправных изделий в конце промежутка времени;  $\Delta t$  – промежуток времени, следующий после  $t$ , на котором определяется  $\lambda$ .

Средней наработкой до первого отказа  $T_{\text{cp}}$  является среднее значение наработки изделий в партии до первого отказа. Она определяется выражением

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, \quad (14.3)$$

где  $T_i$  – время работы  $i$ -го изделия до первого отказа;  $n$  – число изделий в партии.

Параметром потока отказов  $\varphi(t)$  называется среднее количество отказов ремонтируемого изделия в единицу времени для рассматриваемого момента времени. Он определяется по формуле

$$\varphi(t) = \frac{\Delta n}{N_0 \Delta t}, \quad (14.4)$$

где  $N_0$  – количество изделий, работавших в промежутке времени;  $\Delta n$  – количество отказов.

Необходимо учесть, что при определении величины  $\varphi(t)$  изделия, отказывающие в течение времени  $t$ , ремонтируются. В этом случае  $N_0 = N(t)$ .

Наработкой на отказ  $T$  называется среднее значение наработки ремонтируемого изделия между отказами:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{cp}}^i}{n}, \quad (14.5)$$

где  $T_{\text{cp}}^i$  – среднее значение наработки на отказ  $i$ -го изделия;  $n$  – число изделий в исследуемой партии.

Значение  $T_{\text{cp}}^i$  определяется по формуле

$$T_{\text{cp}}^i = \frac{\sum_{j=1}^m T_{ij}}{m}, \quad (14.6)$$

где  $T_{ij}$  – среднее время работы  $i$ -го изделия между  $j$ -м и  $(j + 1)$ -м отказами;  $m$  – число отказов  $i$ -го изделия.

Выбор показателей надёжности является одним из важных вопросов при формировании показателей качества продукции.

При выборе показателей надёжности технических изделий необходимо воспользоваться классификацией технических устройств по различным признакам, приведённой в табл. 14.1.

Все технические устройства принято классифицировать по конструктивному признаку: продолжительности эксплуатации, временному режиму использования по назначению, доминирующим факторам при оценке последствий отказа.

В таблице 14.1 перед классификационными признаками проставлены цифры разрядов классификационных шифров изделий.

Первый разряд шифра, если изделие неремонтируемое, обозначается цифрой 1, если изделие относится к ремонтируемым, то шифр обозначается цифрой 2. Цифра второго разряда определяется продолжительностью эксплуатации, третьего – временным режимом использования по назначению и четвёртого – доминирующим фактором при оценке последствий отказа.

Таким образом, для любого технического изделия можно получить соответствующий ему классификационный шифр, состоящий из четырёхзначного числа.

Реальным условиям эксплуатации изделия в соответствии с особенностями конструкции изделий соответствует 31 классификационный шифр изделий, представленных в табл. 14.3. В ней все они разбиты на 10 вариантов, каждому из которых соответствуют свои основные показатели, определяющие надёжность данных изделий.

Используя классификацию, можно определить шифр данного изделия и по полученному шифру выбрать основные показатели надёжности.

Например [9], бытовая аппаратура (телевизор) относится к группе ремонтируемых изделий (первая цифра шифра 2), эксплуатируется до предельного состояния (вторая цифра шифра 4), временный режим эксплуатации – прерывисто случайный (третья цифра шифра 3), доминирующим фактором при оценке последствий её отказа является отказ независимо от длительности простоя (четвёртая цифра шифра 1).

Таким образом, для телевизора нами получен шифр 2431, и, как следует из табл. 14.3, основными показателями надёжности для телевизора являются среднее значение параметра потока отказов –  $\varphi(t)$  (или наработка на отказ  $T$ ), ресурс  $T_d$  (или срок службы –  $T_{сл}$ ).

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Выбрать изделие из перечня, приведённого в табл. 14.2. Определить основные показатели надёжности для данного изделия. Определить значение показателей надёжности:  $p(t)$ ,  $\lambda(t)$ ,  $T_{ср}$ ,  $\varphi(t)$ ,  $T$  (задания 1 – 5). Исходные данные для каждого варианта взять из табл. 14.4 – 14.10.
3. Проанализировать полученные результаты и оформить отчёт.
4. Ответить на контрольные вопросы.

### *Задание 1*

Определить вероятность безотказной работы фотодиодов, если после их испытания в течение времени  $t_0$  исправных изделий оказалось  $N(t)$ . Количество изделий, подвергшихся испытанию,  $N_0$ . Данные взять из табл. 14.4.

### *Задание 2*

Определить интенсивность отказов, если в конце промежутка времени были исправными  $N(t)$  изделий и за время  $\Delta t$  вышли из строя  $\Delta n$  изделий. Исходные данные взять из табл. 14.5.

### *Задание 3*

Определить среднюю наработку до первого отказа для шести изделий в партии, если известно время работы  $i$ -го изделия до первого отказа. Исходные данные взять из табл. 14.6.

### *Задание 4*

Определить параметр потока отказов, для трёх изделий, если за время  $\Delta t$  первое изделие отказало  $n_1$  раз, второе изделие –  $n_2$ , третье изделие –  $n_3$ . Исходные данные взять из табл. 14.7.

### *Задание 5*

Определить наработку на отказ для трёх изделий. Пусть первое изделие исправно работало первые  $t_{11}$  ч, затем отказало и было отремонтировано. После этого до второго отказа оно работало  $t_{12}$  ч, до третьего –  $t_{13}$  ч и до четвёртого –  $t_{14}$  ч.

Второе изделие проработало до первого отказа –  $t_{21}$  ч, до второго –  $t_{22}$  ч, до третьего –  $t_{23}$  ч.

И, наконец, третье изделие до первого отказа работало –  $t_{31}$  ч, до второго –  $t_{32}$  ч, до третьего –  $t_{33}$  ч и до четвёртого –  $t_{34}$  ч. Исходные данные взять из табл. 14.8.

## 14.1. Классификация технических устройств

Конструктивные особенности изделия	1. Неремонтируемые	Продолжительность эксплуатации	1. До отказа изделия 2. До отказа до предельного состояния 3. До окончания выполнения им требуемой функции
		Режим использования по назначению	1. Непрерывный 2. Прерывисто-регулярный 3. Прерывисто-случайный
		Доминирующий фактор при оценке последствий отказа	1. Отказ 2. Выполнение или невыполнение изделием заданных функций в заданном объёме
	2. Ремонтируемые	Продолжительность эксплуатации	1. До первого отказа 2. До первого отказа или до предельного состояния 3. До первого отказа или до окончания выполнения требуемых функций 4. До предельного состояния 5. До предельного состояния в режиме ожидания или до окончания выполнения требуемых функций в режиме работы
		Режим использования по назначению	1. Непрерывный 2. Прерывисто-регулярный 3. Прерывисто-случайный
		Доминирующий фактор при оценке последствий отказа	1. Отказ независимо от длительности простоя 2. Выполнение или невыполнение изделием заданных функций в заданном объёме 3. Вынужденный простой 4. Отказ и вынужденный отказ 5. Выполнение или невыполнение изделием заданных функций в заданном объёме в произвольном моменте начала режима работы

## 14.2. Исходные данные для расчёта

№ варианта	Наименование изделия
1	Телефон
2	Велосипед
3	Калькулятор
4	Вольтметр
5	Сканер
6	Магнитофон
7	Микроволновая печь
8	Миксер
9	Кондиционер
10	Ноутбук

### 14.3. Классификационные шифры изделий

№ группы	Классификационный шифр группы изделия	Основные показатели надёжности
1	1111	$T_{\text{ср}}^i$ – средняя наработка до первого отказа
	1121	
	1131	
	2111	
	2121	
	2131	
2	1211	$T_{\text{ср}}^*$ – условная средняя наработка до первого отказа; $T_{\text{д}}$ – ресурс или $T_{\text{сл}}$ – срок службы
	1221	
	1231	
	2211	
	2221	
	2231	
3	1222	$P(t_{\text{р}})$ – вероятность безотказной работы за $t_{\text{р}}$ ; $T_{\text{д}}$ или $T_{\text{сл}}$
	2222	
4	1312	$P(t_{\text{р}})$ – вероятность безотказной работы за $t_{\text{р}}$ ; $T_{\text{д}}$ или $T_{\text{сл}}$
	2312	
5	2411	$\varphi(t)$ – среднее значение параметров отказов или $T$ – наработка на отказ; $T_{\text{д}}$ или $T_{\text{сл}}$
	2421	
	2431	
6	2413	$K_{\text{т.и}}$ – коэффициент технического использования; $T_{\text{д}}$ или $T_{\text{сл}}$
7	2423	$K_{\text{г}}$ – коэффициент готовности; $T_{\text{д}}$ или $T_{\text{сл}}$
	2433	
8	2414	$K_{\text{т.и}}$ и $\varphi(t)$ или $T$ ; $T_{\text{д}}$ или $T_{\text{сл}}$
9	2424	$K_{\text{г}}$ и $\varphi(t)$ или $T$ ; $T_{\text{д}}$ или $T_{\text{сл}}$
10	2415	$K_{\text{о.г}}$ – коэффициент оперативной готовности; $T_{\text{д}}$ или $T_{\text{сл}}$
	2425	
	2435	
	2515	
	2525	
	2535	

**14.4. Исходные данные для задания 1**

№ варианта	$t$	$N_0$	$N(t)$
1	1000	150	144
2	1000	130	126
3	1000	100	97
4	1000	90	87
5	1000	120	114
6	500	80	112
7	500	70	95
8	500	120	102
9	500	110	128
10	500	140	138

**14.5. Исходные данные для задания 2**

№ варианта	$N(t)$	$\Delta t$	$\Delta n$
1	1005		45
2	1002	100	48
3	1000	100	47
4	1010	100	47
5	1008	90	45
6	503	120	46
7	500	120	48
8	500	120	49
9	502	90	44
10	508		48

**14.6. Исходные данные для задания 3**

№ варианта	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
1	40	41	54	45	50	49
2	10	15	20	19	37	40
3	100	110	120	109	115	77
4	85	80	81	70	50	82
5	75	75	73	74	75	10
6	98	97	90	95	92	91
7	90	88	99	90	92	87
8	80	78	88	85	82	86
9	55	50	53	58	52	49
10	35	38	36	40	32	39

#### 14.7. Исходные данные для задания 4

№ варианта	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$\Delta t$	$N_0$
1	2	3	1	100	3
2	3	5	2	100	3
3	4	2	3	100	3
4	5	3	1	100	3
5	5	4	3	100	3
6	5	4	2	100	3
7	4	4	1	100	3
8	4	5	3	100	3
9	2	3	2	100	3
10	3	2	2	100	3

#### 14.8. Исходные данные для задания 5

№ варианта	$t_{11}$	$t_{12}$	$t_{13}$	$t_{14}$	$t_{21}$	$t_{22}$	$t_{23}$	$t_{31}$	$t_{32}$	$t_{33}$	$t_{34}$
1	120	107	97	93	117	100	90	127	128	88	110
2	130	111	103	120	100	122	97	135	127	108	101
3	90	87	100	80	110	70	73	97	98	81	108
4	500	453	504	490	478	483	499	467	473	450	458
5	400	324	397	350	330	340	345	360	355	370	378
6	125	105	95	92	118	104	91	122	123	88	112
7	135	116	100	127	108	124	91	132	123	108	102
8	95	82	110	87	118	74	71	92	93	88	102
9	505	451	500	497	478	484	491	427	433	458	452
10	405	328	390	357	338	344	341	320	353	378	372

#### Контрольные вопросы

1. Дайте определение термину «надёжность».
2. Из каких элементов состоит комплексный показатель надёжности?
3. Что называется вероятностью безотказной работы?
4. Что называется интенсивностью отказов?
5. Что называется средней наработкой до первого отказа?
6. Что такое параметр потока отказов?
7. Что называется наработкой на отказ?
8. Какие из вышеперечисленных показателей применяются для ремонтируемых изделий, а также для неремонтируемых?

9. Какие показатели, характеризуют долговечность?
10. Какие показатели, характеризуют сохраняемость и ремонтпригодность?
11. По каким признакам принято классифицировать технические устройства?
12. Что обозначает каждая из цифр в классификационном шифре технических изделий?
13. С какой целью используются классификационные шифры изделий?
14. На сколько групп разделяются классификационные шифры в зависимости от их основных показателей надёжности?
15. На какие подгруппы делятся неремонтируемые технические изделия в зависимости от их продолжительности эксплуатации?
16. На какие подгруппы делятся неремонтируемые технические изделия в зависимости от их режима использования по назначению?
17. На какие подгруппы делятся неремонтируемые технические изделия в зависимости от их доминирующего фактора при оценке последствий отказа?
18. На какие подгруппы делятся ремонтируемые технические изделия в зависимости от их продолжительности эксплуатации?
19. На какие подгруппы делятся ремонтируемые технические изделия в зависимости от их режима использования по назначению?
20. На какие подгруппы делятся ремонтируемые технические изделия в зависимости от их доминирующего фактора при оценке последствий отказа?
21. Можно ли использовать систему классификационных шифров для оценки надёжности нетехнической продукции?

## Практическая работа 15

### ОЦЕНКА УРОВНЯ КАЧЕСТВА РАЗНОРОДНОЙ ПРОДУКЦИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСОВ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

**Цель работы:** получить практические навыки систематизации выборочных данных и построения эмпирического закона распределения значений исследуемого показателя качества.

#### Краткие теоретические сведения

Для комплексной оценки уровня качества совокупности видов продукции (разнородной продукции) применяют индексы качества продукции [10]. *Индексом качества* продукции называется комплексный показа-

тель качества разнородной продукции, равный среднему взвешенному значению относительных показателей качества различных видов продукции за рассматриваемый период.

Индексы качества продукции целесообразно применять:

- при оценке уровня качества разнородной продукции, выпускаемой одним предприятием;
- при оценке уровня качества продукции, выпускаемой несколькими предприятиями, объединениями и отраслями;
- при оценке качества уровня продукции, выпускаемой районом, областью, республикой;
- при анализе динамики качества разнородной продукции за несколько лет;
- при сравнении работы предприятий, объединений и отраслей по выполнению планов повышения уровня качества продукции;
- при подведении итогов соревнования и выборе мер стимулирования с учётом качества выпускаемой продукции;
- при обработке информации о качестве продукции в автоматизированных управлениях.

Наиболее часто индекс качества вычисляют на основе главного показателя. Обычно это производительность или долговечность изделий.

Главный показатель качества может быть комплексным.

Для нескольких  $s$  видов продукции индекс качества вычисляется по формуле

$$U_{\kappa} = \left( \sum_{i=1}^s N_i Q_i C_i \right) / \left( \sum_{i=1}^s N_i C_i \right), \quad (15.1)$$

где  $Q_i$  – относительный позитивный показатель качества  $i$ -го вида продукции;  $N_i$  – количество изделий  $i$ -го вида или объём  $i$ -й продукции в текущем периоде;  $C_i$  – оптовая цена продукции  $i$ -го вида, р.

Если сумма, на которую выпущена продукция  $i$ -го вида,

$$C_N = N_i C_i, \quad (15.2)$$

а общая сумма, на которую выпущена продукция всех видов,

$$C = \sum_{i=1}^s C_N, \quad (15.3)$$

то индекс качества

$$U_k = \left( \sum_{i=1}^s Q_i C_N \right) / C. \quad (15.4)$$

При вычислении индексов качества, соответствующих базисному и отчётному периодам, берут фактические уровни качества для каждого периода, а цена для обоих периодов принимается одной и той же.

Индексы качества могут вычисляться для разных организационных уровней: для цеха, завода, отрасли. Для вышестоящей организации индекс качества находится как

$$U_{\text{кобщ}} = \left( \sum_{j=1}^m C_j U_{kj} \right) / \sum_{j=1}^m C_j, \quad (15.5)$$

где  $C_j$  – сумма, на которую выпущена продукция  $j$ -м объектом;  $U_{kj}$  – индекс качества  $j$ -го объекта;  $m$  – число объектов.

**Пример 1.** Предприятие занимается поставкой на мировой рынок трёх сортов кофе: первого, высшего и экстра прима. Нужно оценить уровень их качества в текущем интервале времени. Показатель качества – количество зёрен без дефектов на 300 г кофе. Кофе самого лучшего сорта – экстра прима – должен содержать не менее 281 зерна без дефектов, высшего – не менее 227, первого – не менее 190 (табл. 15.1).

### 15.1. Исходные данные для примера 1

Сорт кофе	Содержание зёрен без дефектов, шт.		Количество, кг	Оптовая цена за кг, тыс. р.
	базовое	оцениваемое		
Экстра прима	281	312	50	5,52
Высший сорт	227	228	360	2,57
Первый сорт	190	200	590	1,04

Вычисляем индекс качества по формуле (15.1):

$$U_k = ((312/281) \cdot 50 \cdot 5,52 + (228/227) \cdot 360 \cdot 2,57 + (200/190) \cdot 590 \cdot 1,04) / (50 \cdot 5,52 + 360 \cdot 2,57 + 590 \cdot 1,04) \approx 1,037.$$

Таким образом, уровень качества кофе превышает базовый на 3,7%.

Когда оцениваемая продукция имеет сортность, в роли индекса качества можно применить *коэффициент сортности*, равный отношению фактической стоимости выпущенной продукции в оптовых ценах к её условной стоимости при допущении, что вся она выпущена высшим сортом:

$$K_c = \left( \sum_{i=1}^s \left( \sum_{k=1}^n C_{ik} N_{ik} \right) \right) / \left( \sum_{i=1}^s C_{iv} \sum_{k=1}^n N_{ik} \right), \quad (15.6)$$

где  $s$  – количество видов продукции;  $n$  – количество сортов продукции;  $C_{ik}$  – цена продукции  $i$ -го вида  $k$ -го сорта;  $N_{ik}$  – объём выпуска продукции  $i$ -го вида  $k$ -го сорта;  $C_{iv}$  – цена продукции  $i$ -го вида наивысшего сорта.

**Пример 2.** Предприятие выпускает оцинкованную листовую сталь трёх видов: 08ПС, 08КП, 08Ю. В каждый её вид входит продукция I и II сорта с соответствующей ценой (табл. 15.2):

### 15.2. Исходные данные для примера 2

Сорт	08ПС			08КП			08Ю		
	$N_i$ , кг	$C_i$ , р./кг	$N_i C_i$	$N_i$ , кг	$C_i$ , р./кг	$N_i C_i$	$N_i$ , кг	$C_i$ , р./кг	$N_i C_i$
I	230	32,7	7521	150	30,5	4575	410	35,8	14678
II	350	25,8	9030	290	23,4	6786	570	28,4	16188

Вычислим коэффициент сортности по формуле (15.6).

$$K_c = ((7521 + 9030) + (4575 + 6786) + (14678 + 16188)) / (32,7 \cdot (230 + 350) + 30,5 \cdot (150 + 290) + 35,8 \cdot (410 + 570)) = 0,87.$$

Коэффициент сортности можно вычислять для цеха, завода, фирмы, отрасли в целом. Если для  $m$  объектов (цехов, заводов, фирм и т.п.) известны коэффициенты сортности  $K_{cj}$  и соответствующие суммы  $C_j$ , на которые выпущена продукция, то общий коэффициент сортности вычисляют по формуле

$$K_{\text{общ}} = \left( \sum_{j=1}^m C_j K_{cj} \right) / \sum_{j=1}^m C_j. \quad (15.7)$$

Видами индексов качества являются коэффициент и индекс дефектности продукции. Они характеризуют качество продукции, находящейся в процессе изготовления, и используются при оценке качества труда в отдельных производственных подразделениях (цех, участок).

*Коэффициент дефектности* – среднее взвешенное количество дефектов, приходящееся на единицу продукции  $i$ -го вида:

$$K_{di} = \left( \sum_{j=1}^d m_j r_j \right) / n, \quad (15.8)$$

где  $d$  – число видов дефектов в данной продукции;  $m_j$  – коэффициент весомости дефектов  $j$ -го вида;  $r_j$  – число дефектов  $j$ -го вида;  $n$  – объём выборки продукции.

Коэффициенты весомости  $m_j$  можно определять экспертным методом или принимать пропорциональными стоимости устранения дефектов.

Относительный показатель дефектности продукции  $i$ -го вида

$$q_{di} = K_{di} / K_{di}^{\bar{}}, \quad (15.9)$$

где  $K_{di}^{\bar{}}$  – базовое значение коэффициента дефектности, принятое по результатам работы предприятия в прошлом периоде (году, месяце и т.д.).

Если вычислены значения  $q_{di}$  для всех  $s$  видов продукции, то *индекс дефектности* разнородной продукции

$$U_d = \left( \sum_{i=1}^s C_N q_{di} \right) / \sum_{i=1}^s C_N, \quad (15.10)$$

где  $C_N$  – сумма, на которую выпущено продукции  $i$ -го вида за рассматриваемый период.

**Пример 3.** Для кофейных зёрен всех сортов установлены четыре вида дефектов (1 – ломаное зерно, 2 – незрелое зерно, 3 – повреждённое зерно и 4 – зерно неправильной формы). Эти дефекты имеют весовые коэффициенты, указанные в табл. 15.3. При проверке выборки из 300 зёрен было обнаружено 15 дефектов. Необходимо определить коэффициент дефектности данного вида продукции.

### 15.3. Исходные данные для примера 3

Дефект	Коэффициент весомости $m_j, \%$	Число дефектов в выборке $r_j$	$m_j r_j, \%$
1	50	0	0
2	25	2	50
3	15	5	75
4	10	8	80
Всего	100	15	205

Вычисляем коэффициент дефектности:  $K_{di} = 205/300 = 0,68\%$ .

**Пример 4.** Для трёх видов продукции в табл. 15.4 приведены базовые  $K_{di}^6$  и фактические значения  $K_{di}$  показателя дефектности, объёмы выпуска продукции в условных единицах  $C_N$ . Определить индекс дефектности для всей продукции.

### 15.4. Исходные данные для примера 4

$i$	$K_{di}$	$K_{di}^6$	$C_N$	$q_i$	$C_N q_i$
1	0,8	1,0	2	0,8	1,6
2	6,5	5	3	1,3	3,9
3	1,8	2,0	1	0,9	0,9
Всего			6		6,4

Вычисляем индекс дефектности:  $U_d = 6,4/6 = 1,07$ .

Уровень дефектности продукции повысился на 7%.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Рассчитать индекс качества, коэффициент сортности, коэффициент дефектности и индекс дефектности разнородной продукции по исходным данным своего варианта, приведённым в табл. 15.5 – 15.12.
3. Проанализировать полученные результаты и оформить отчёт.
4. Ответить на контрольные вопросы.



**15.7. Исходные данные для расчёта коэффициента сортности (варианты 1 – 5)**

Вид	А										Б									
	$N_i$ , кг					$C_i$ , р./кг					$N_i$ , кг					$C_i$ , р./кг				
	в1	в2	в3	в4	в5	в1	в2	в3	в4	в5	в1	в2	в3	в4	в5	в1	в2	в3	в4	в5
I	200	50	310	45	84	50	17	88	90	8	150	60	30	450	30	55	90	38	48	47
II	130	70	408	35	85	35	10	76	80	5	60	35	20	250	90	25	40	35	17	14
III	110	35	450	17	110	20	8	60	70	3	40	21	10	100	40	10	10	32	5	8

**15.8. Исходные данные для расчёта коэффициента сортности (варианты 6 – 10)**

Вид	А										Б									
	$N_i$ , кг					$C_i$ , р./кг					$N_i$ , кг					$C_i$ , р./кг				
	в6	в7	в8	в9	в10	в6	в7	в8	в9	в10	в6	в7	в8	в9	в10	в6	в7	в8	в9	в10
I	30	60	41	55	94	60	27	98	99	18	170	70	40	55	40	65	90	48	58	57
II	23	80	50	45	95	45	20	86	90	15	70	45	30	35	90	35	50	45	27	24
III	21	45	55	27	90	30	18	70	80	13	50	31	20	20	50	20	20	42	15	18

### 15.9. Исходные данные для расчёта коэффициента дефектности (варианты 1 – 5)

Вид дефекта	Коэффициент весомости $m_j$ , %										Число дефектов в выборке из двухсот экземпляров									
	в1	в2	в3	в4	в5	в1	в2	в3	в4	в5	в1	в2	в3	в4	в5	в1	в2	в3	в4	в5
1	45	10	18	34	73	8	20	3	10	4	8	20	3	10	4	8	20	3	10	4
2	15	28	44	51	8	3	5	7	5	8	3	5	7	5	8	3	5	7	5	8
3	33	22	23	7	7	0	15	2	7	8	0	15	2	7	8	0	15	2	7	8
4	7	40	15	8	12	5	1	1	8	8	5	1	1	8	8	5	1	1	8	8
Всего	100	100	100	100	100	16	41	13	30	28	16	41	13	30	28	16	41	13	30	28

### 15.10. Исходные данные для расчёта коэффициента дефектности (варианты 6 – 10)

Вид дефекта	Коэффициент весомости $m_j$ , %										Число дефектов в выборке из двухсот экземпляров									
	в6	в7	в8	в9	в10	в6	в7	в8	в9	в10	в6	в7	в8	в9	в10	в6	в7	в8	в9	в10
1	35	20	28	44	63	9	2	8	12	14	9	2	8	12	14	9	2	8	12	14
2	25	18	34	41	18	3	15	2	4	4	3	15	2	4	4	3	15	2	4	4
3	23	32	33	7	17	5	25	0	10	5	5	25	0	10	5	5	25	0	10	5
4	17	30	5	8	2	4	1	5	1	5	4	1	5	1	5	4	1	5	1	5
Всего	100	100	100	100	100	21	43	15	27	28	21	43	15	27	28	21	43	15	27	28

**15.11. Исходные данные для расчёта индекса дефектности (варианты 1 – 5)**

Вид	$K_{дi}$					$K_{дi}^6$					$C_N$				
	в1	в2	в3	в4	в5	в1	в2	в3	в4	в5	в1	в2	в3	в4	в5
1	0,5	6,7	3,7	8,7	1,7	0,7	6,0	3,4	9,0	1,6	6	3	5	1	3
2	3,4	0,1	4,4	5,5	1,9	3,2	0,2	4,2	5,0	1,2	8	7	7	2	2
3	8,6	0,4	7,7	2,2	4,3	8	0,6	7,9	2,1	3,7	4	1	9	3	3
Всего											18	11	21	6	8

**15.12. Исходные данные для расчёта индекса дефектности (варианты 6 – 10)**

Вид	$K_{дi}$					$K_{дi}^6$					$C_N$				
	в6	в7	в8	в9	в10	в6	в7	в8	в9	в10	в6	в7	в8	в9	в10
1	1,5	7,7	4,7	9,7	2,7	1,7	7,0	4,4	9,0	2,6	11	8	10	5	8
2	4,4	1,1	5,4	6,5	2,9	4,2	1,2	5,2	6,0	2,2	13	12	12	7	8
3	9,6	1,4	8,7	3,2	5,3	9,0	1,6	8,9	3,1	4,7	9	6	14	8	8
Всего											33	26	36	20	24

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «индекс качества».
2. В каких случаях используется индекс качества разнородной продукции?
3. Может ли использоваться индекс качества для разнородной продукции, выпущенной разными предприятиями внутри одной отрасли?
4. Может ли использоваться индекс качества для разнородной продукции, выпущенной предприятиями различных отраслей?
5. Может ли использоваться индекс качества для разнородной продукции, выпущенной как отечественными, так и иностранными предприятиями?
6. Приведите примеры показателей качества разнородной продукции, которые могут быть использованы в качестве «главных» при расчёте индекса качества.
7. Как вычисляется индекс качества разнородной продукции?
8. Как вычисляются индексы качества продукции для разных периодов (базисного и отчётного)?
9. Как вычисляются индексы качества продукции для разных организационных уровней?
10. Какой показатель используется в роли индекса качества для продукции, имеющей сортность?
11. Как рассчитывается коэффициент сортности?
12. Какие показатели используются для оценки качества продукции, находящейся в процессе изготовления?
13. Какие показатели используются для оценки качества труда в отдельных производственных подразделениях (цех, участок)?
14. Дайте определение понятию «коэффициент дефектности».
15. Как рассчитывается коэффициент дефектности?
16. Чему равен относительный коэффициент дефектности?
17. Каким образом определяются коэффициенты весомости каждого дефекта при расчёте коэффициента дефектности?
18. Как определяется базовое значение коэффициента дефектности при расчёте относительного показателя дефектности?
19. Дайте определение понятию «индекс дефектности».
20. Приведите выражение для расчёта индекса дефектности.
21. Приведите примеры продукции, для оценки качества которой могут быть использованы индекс качества, коэффициент сортности, коэффициент дефектности и индекс дефектности.

### КАЧЕСТВО И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ

**Цель работы:** изучить, что такое конкурентоспособность продукции и научиться определять её значения на практике.

#### Краткие теоретические сведения

Конкурентоспособность технической продукции – это интегральное понятие, отражающее способность изделий удовлетворять требованиям потребителей при их приобретении. В основе конкурентоспособности продукции лежит её качество, её совершенство. Конкурентоспособность продукции оценивается безотносительно к условиям конкретного рынка сбыта и сферы сервисного обслуживания.

Конкурентоспособность продукции определяется в основном совокупностью показателей качества, совершенством, уровнем качества, а для технических изделий – техническим уровнем.

Конкурентоспособность товара – это характеристика соответствия продаваемой продукции требованиям данного рынка в данный период времени. Следовательно, конкурентоспособность оценивается по-разному [11].

Конкурентоспособность продукции, оцениваемая по показателю её технического уровня, определяется соответствием продукции современным требованиям потребителей при достигнутом уровне социально-экономического развития общества и его научно-технического прогресса.

Конкурентоспособность, оцененная по показателям качества продукции, не является постоянной, а зависит от темпов научно-технического прогресса у ведущих мировых производителей такой же продукции.

Конкурентоспособность товара, т.е. продаваемой продукции, определяемая по коммерческим показателям, зависит от конъюнктуры конкретного рынка. Эту конкурентоспособность оценивают по таким основным показателям, как: уровень цены, сроки поставки, условия платежа, уровень таможенных пошлин, налоги и сборы (связанные с приобретением товара), степень ответственности производителей и продавцов за выполнение обязательств и гарантий. Конкурентоспособность товара возможна только при условии удовлетворительной конкурентоспособности товарной продукции по её качеству. У некачественной продукции нет товарной конкурентоспособности на рынке продаж, даже если она дешёвая и условия платежа приемлемы и т.д. Основа конкурентоспособности товара – в его качестве.

Каждый производитель продукции для обеспечения её конкурентоспособности должен рассчитать цену потребления, сравнить её с ценой потребления других производителей-конкурентов и добиться её максимального снижения при сохранении технических и нормативных параметров продукции.

Полная цена потребления, особенно для технических изделий – один из главных показателей для оценки их конкурентоспособности.

Общая методология оценки конкурентоспособности продукции состоит в сопоставлении численных значений показателей уровня качества (технического уровня) или основных обобщённых показателей, а также стоимостных показателей изделий оцениваемого товара и базового (базовых) образца (образцов).

Наиболее простой метод количественной оценки конкурентоспособности изделий основан на применении обобщённых (главного, группового и интегрального) показателей качества и экономических показателей продукции. Однако показатель (а не оценку) конкурентоспособности продукции обычно выражают отношением полезного эффекта к полной цене потребления, т.е. интегральным показателем качества.

При наличии достаточной информации о полезном эффекте и о всех затратах потребителя уровень конкурентоспособности  $Y_{к.с}$  определяется отношением интегральных показателей качества сравниваемых образцов по формуле

$$Y_{к.с} = \frac{Q_{ин.оц}}{Q_{ин.баз}} = \frac{W_{оц}}{W_{баз}} \frac{S_{баз}}{S_{оц}}. \quad (16.1)$$

где  $Q_{ин.оц}$  и  $Q_{ин.баз}$  – интегральные показатели качества оцениваемого и базового образцов;  $W_{оц}$  и  $W_{баз}$  – суммарные полезные эффекты от эксплуатации оцениваемого и базового образцов за весь срок службы;  $S_{баз}/S_{оц}$  – отношение затрат на приобретение, эксплуатацию и утилизацию базового и оцениваемого образцов.

Суммарные полезные эффекты от эксплуатации оцениваемого и базового образцов за весь срок службы определяются по следующей формуле:

$$W = Nnt \frac{(100 - q)}{100} c, \quad (16.2)$$

где  $N$  – производительность станка, т/сут.;  $n$  – количество дней работы станка в году;  $t$  – срок эксплуатации станка, лет;  $c$  – стоимость 1 т производимого данным станком продукта, р.;  $q$  – время простоев, %.

Отношение полных затрат на приобретение и эксплуатацию сравниваемых образцов определяется по формуле

$$\frac{S_{\text{баз}}}{S_{\text{оц}}} = \frac{S_{\text{с.баз}}}{S_{\text{с.оц}}} + \frac{S_{\text{э.баз}}}{S_{\text{э.оц}}} \frac{T_{\text{сл.баз}}}{T_{\text{сл.оц}}} . \quad (16.3)$$

где  $S_{\text{с.баз}}$  и  $S_{\text{с.оц}}$  – единовременные стоимостные затраты на приобретение базового и оцениваемого образцов;  $S_{\text{э.баз}}$  и  $S_{\text{э.оц}}$  – средние суммарные эксплуатационные затраты базового и оцениваемого образцов за год;  $T_{\text{сл.баз}}$  и  $T_{\text{сл.оц}}$  – срок службы базового и оцениваемого образцов.

На основании рассчитанных по формуле (16.1) значений  $Y_{\text{к.с}}$  делается вывод о конкурентоспособности оцениваемой продукции. При  $Y_{\text{к.с}} \geq 1$  продукция конкурентоспособна, при  $Y_{\text{к.с}} \leq 1$  продукция на конкретном рынке не конкурентоспособна.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Оценить конкурентоспособность продукции, используя данные своего варианта, приведённые в табл. 16.2.
3. Привести расчёт и заполнить табл. 16.1.
4. Проанализировать полученные данные, и сформулировать выводы по работе.
5. Ответить на контрольные вопросы.

#### 16.1. Сводная таблица

Наименование показателей	Новое изделие	Базовое
Количество дней работы в году		
Срок службы, лет		
Производительность, т/сут		
Стоимость 1 т продукта, р.		
Время простоев, %		
Стоимостные затраты на приобретение, р.		
Суммарные эксплуатационные затраты за год, р.		

### 16.2. Варианты задания для расчёта конкурентоспособности (варианты 1 – 5)

Наименование показателей	Варианты									
	1		2		3		4		5	
	Нов.	Баз.	Нов.	Баз.	Нов.	Баз.	Нов.	Баз.	Нов.	Баз.
Количество дней работы в году	340	350	340	350	340	350	340	350	340	350
Срок службы, лет	8	12	7	14	15	12	18	14	14	18
Производительность, т/сут	10	15	12	15	11	18	18	15	14	18
Стоимость 1 т продукта, р.	300	200	150	350	300	400	500	700	250	450
Время простоев, %	3	5	7	9	8	6	9	4	4	8
Стоимостные затраты на приобретение, тыс. р.	15	21	18	27	28	20	17	30	19	23
Суммарные эксплуатационные затраты за год, тыс. р.	1,5	2,0	2,5	1,5	3,5	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5

### 16.3. Варианты задания для расчёта конкурентоспособности (варианты 6 – 10)

Наименование показателей	Варианты									
	6		7		8		9		10	
	Нов.	Баз.	Нов.	Баз.	Нов.	Баз.	Нов.	Баз.	Нов.	Баз.
Количество дней работы в году	340	350	340	350	340	350	340	350	340	350
Срок службы, лет	5	3	8	4	20	15	12	14	17	18
Производительность, т/сут	5	8	10	12	22	18	14	8	14	18
Стоимость 1 т продукта, р.	250	200	100	350	350	400	400	700	300	450
Время простоев, %	4	6	8	10	4	6	8	3	3	8
Стоимостные затраты на приобретение, тыс. р.	20	20	20	27	25	18	8	10	5	12
Суммарные эксплуатационные затраты за год, тыс. р.	2,4	2,0	2,5	3,8	3,8	2,8	3,2	4,8	4,8	5,0

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «конкурентоспособность».
2. Назовите критерии, по которым может быть оценена конкурентоспособность продукции.
3. Чем определяется показатель конкурентоспособности, оцениваемой по показателю её технического уровня?
4. Чем определяется показатель конкурентоспособности, оцениваемой по показателям качества продукции?
5. Чем определяется показатель конкурентоспособности, оцениваемой по коммерческим показателям?
6. Какие действия требуются от производителя для обеспечения конкурентоспособности его продукции?
7. Назовите главный показатель конкурентоспособности.
8. Какие методы расчёта конкурентоспособности вы знаете?
9. По каким формулам рассчитывается уровень конкурентоспособности  $Y_{к.с}$  продукции?
10. Как определяется суммарный полезный эффект от эксплуатации продукции за весь срок её службы?
11. Как рассчитываются полные затраты на приобретение и эксплуатацию?
12. Какие показатели качества технической продукции сильнее всего влияют на уровень её конкурентоспособности?
13. Какие значения суммарного полезного эффекта от эксплуатации и затрат на приобретение, эксплуатацию и утилизацию принимаются за базовые?
14. При каких значениях показателя  $Y_{к.с}$  продукция считается конкурентоспособной?
15. При каких значениях показателя  $Y_{к.с}$  продукция считается неконкурентоспособной?
16. Может ли использоваться показатель  $Y_{к.с}$  для оценки конкурентоспособности не технической продукции?
17. Предложите методы повышения конкурентоспособности промышленной продукции.
18. Какие методы повышения конкурентоспособности могут рассчитывать только на кратковременный эффект?
19. Какие методы повышения конкурентоспособности могут дать длительный эффект?
20. Может ли продукция низкого качества оказаться конкурентоспособной?
21. Является ли реклама методом повышения конкурентоспособности продукции?

**СТРУКТУРИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА**

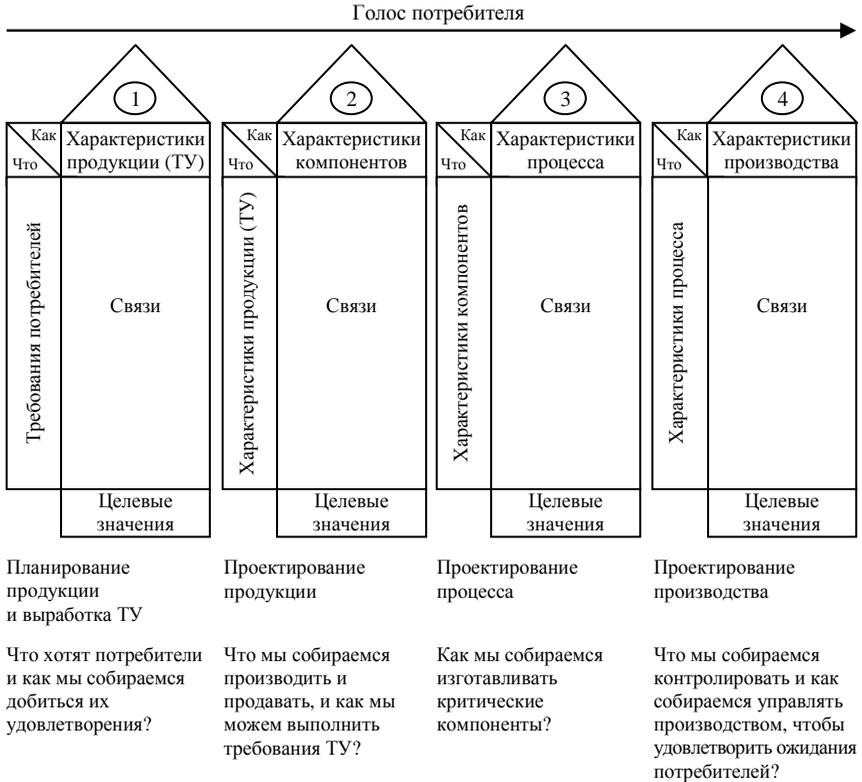
*Цель работы:* изучить метод структурирования функции качества.

**Краткие теоретические сведения**

Метод структурирования функции качества (СФК) представляет собой технологию проектирования изделий и процессов, которая позволяет преобразовывать пожелания потребителя в технические требования к изделиям и параметрам процессов их производств [12].

Метод структурирования функции качества – это экспертный метод, использующий табличный способ представления данных, причём со специфической формой таблиц, которые получили название «домов качества».

Всего существует четыре «дома качества», обобщённая структура которых приведена на рис. 17.1.



**Рис. 17.1. Структура четырёх «домов качества»**

Первый «дом качества» устанавливает связь между пожеланиями потребителей и техническими условиями, содержащими требования к характеристикам продукции. Для второго «дома качества» центром внимания является взаимосвязь между характеристиками продукции и характеристиками компонентов (частей) этой продукции. Третий «дом качества» устанавливает связь между требованиями к компонентам продукции и требованиями к характеристикам процесса. В результате устанавливаются индикаторы (критерии) выполнения важнейших (критических) процессов. Наконец, с применением четвёртого «дома качества» характеристики процесса преобразуются в характеристики оборудования и способы контроля технологических операций производства, которые следует применить для выпуска качественной продукции по приемлемой цене, что должно обеспечить высокий уровень удовлетворенности потребителей.

В результате проведения анализа с применением четырёх «домов качества» разрабатываются определённые требования к оборудованию и к технологическим операциям производства, которые включаются в качестве неотъемлемых частей в стандартные рабочие инструкции для каждого шага производственного процесса.

Рассмотрим алгоритм применения СФК на примере продукции «Эмаль ПФ-115 белого цвета». На рисунке 17.2 представлены заполненные таблицы первого «дома качества», использованные для перехода от выявленных ожиданий потребителей к характеристикам качества (техническим условиям) продукции.

**Этап 1. Определение ожиданий потребителей.** На первом этапе определяют конкретную группу потребителей, составляют реестр (список) установленных и предполагаемых потребностей (ожиданий) потребителей, а также оценивают приоритетность этих ожиданий с использованием, например, весовых коэффициентов. Список ожиданий потребителей может быть составлен путём проведения устных и письменных опросов, интервью, а также с применением «мозговой атаки».

По результатам первого этапа заполняют столбцы в левой части «дома качества» (рис. 17.2, блок 1, графы «Ожидания потребителя» и «Важность ожидания»).

В рассматриваемом примере оценки качества продукции «Эмаль ПФ-115 белого цвета» важность ожидания оценивалась по пятибалльной шкале:

- 5 – очень ценно;
- 4 – ценно;
- 3 – менее ценно, но хорошо бы иметь;
- 2 – не очень ценно;
- 1 – не представляет ценности.

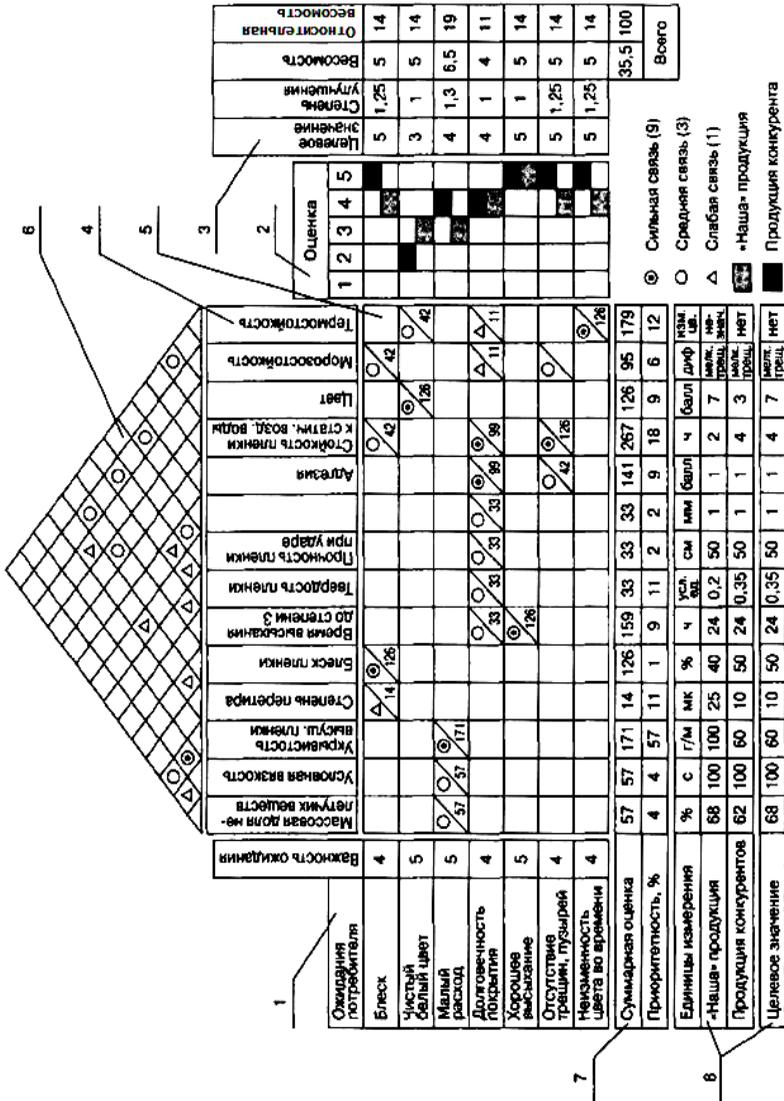


Рис. 17.2. Применение СФК на примере продукции «Эмаль ПФ-115 белого цвета»

**Этап 2. Определение сравнительной ценности продукции.** Выпускаемая фирмой продукция сравнивается с одним или несколькими лучшими видами конкурирующей продукции. В результате достигается понимание того, насколько производимая нами продукция является совершенной при сравнении с лучшими аналогами конкурирующих фирм. В этом случае также используется пятибалльная шкала от «отлично» до «плохо», а именно:

5 – отлично;

4 – хорошо;

3 – удовлетворительно (в основном соответствует);

2 – не очень удовлетворительно (соответствует отчасти);

1 – плохо (не соответствует ожиданиям).

По результатам второго этапа заполняют столбцы в правой части «дома качества» (рис. 17.2, блок 2, графа «Оценка»).

**Этап 3. Установление целей проекта.** Экспертной группой определяются *Целевые значения* для каждого ожидания потребителей продукции. При этом ещё раз используется пятибалльная шкала.

На базе определённых *Целевых значений* для каждой характеристики продукции рассчитывают *Степень улучшения* качества по формуле

$$\text{Степень улучшения} = \text{Целевое значение} / \text{Оценка продукции}.$$

После этого в рамках определения целей проекта должны быть установлены *Весомость* и *Относительная весомость* каждого ожидания потребителя, которые рассчитываются по формулам:

$$\text{Весомость} = \text{Важность ожиданий} \times \text{Степень улучшения};$$

$$\text{Относительная весомость} = \text{Весомость} \times 100\% / \text{Сумма весомостей}.$$

По результатам третьего этапа заполняют столбцы в крайней правой части «дома качества» (рис. 17.2, блок 3, графы «Целевое значение»; «Степень улучшения»; «Весомость»; «Относительная весомость»).

При этом следует проверить, чтобы сумма всех *Относительных весомостей*, помещённых в четвёртый столбец блока 3, была равна 100%.

**Этап 4. Подробное описание технических характеристик продукции.** После окончания этапа работы, связанного с визуализацией и оценкой весомости ожиданий потребителей, необходимо решить, как обеспечить выполнение этих ожиданий на практике. На этом этапе осуществляется перевод ожиданий потребителя на язык поддающихся количественному определению технических параметров и характеристик продукции, важных с точки зрения инженеров. Список технических характеристик продукции, полученный в результате «мозгового штурма» или опроса специалистов, помещают в верхнюю часть «дома качества» (рис. 17.2, блок 4).

**Этап 5. Заполнение матрицы связи.** Изучается сила влияния технических характеристик продукции на выполнение ожиданий потребителя. Для этого применяется матрица связей, которая является центральной частью «дома качества» (рис. 17.2, блок 5).

В каждой ячейке матрицы указывается взаимосвязь между ожиданиями потребителей и техническими характеристиками. При этом показатели взаимосвязи являются *Сила взаимосвязи* и *Значимость взаимосвязи*.

*Сила взаимосвязи* характеризуется определённым символом (⊙ – сильная; ○ – средняя; Δ – слабая) и числовым значением, которое присваивается экспертами каждой степени взаимосвязи (сильная – 9, средняя – 3, слабая – 1).

*Значимость взаимосвязи* рассчитывается по формуле

$$\text{Значимость взаимосвязи} = \text{Сила взаимосвязи (численное значение)} \times \text{Относительная весомость.}$$

Далее находят *Суммарную оценку* по каждому столбцу матрицы связей, а также *Приоритетность* технических характеристик, которая рассчитывается по формуле

$$\text{Приоритетность} = \frac{\text{Суммарная оценка} \times 100\%}{\text{Сумма значимостей взаимосвязи (по всем столбцам)}}.$$

По результатам расчётов заполняют нижний этаж «дома качества» (рис. 17.2, блок 7, графы «Суммарная оценка» и «Приоритетность, %»).

**Этап 6. Заполнение корреляционной матрицы.** Строится корреляционная матрица или так называемая «крыша» «дома качества» (рис. 17.2, блок 6), в которой указываются взаимосвязи между самими инженерными характеристиками. При этом в каждой ячейке, соответствующей определённой паре технических характеристик, ставится значок, характеризующий силу взаимосвязи (● – сильная; ○ – средняя; Δ – слабая).

**Этап 7. Технический анализ.** Заполняется «подвал» «дома качества» (рис. 17.2, блок 8). В графе «Единицы измерения» указываются единицы измерения для каждой технической характеристики продукции, а в графах ««Наша» продукция» и «Продукция конкурентов» – значения технических характеристик «нашей» и конкурирующей продукции, полученные экспертными и измерительными методами.

**Этап 8. Определение целевых значений.** Целевые значения технических характеристик продукции определяют экспертным методом на основе имеющихся данных с учётом их приоритетности (рис. 17.2, блок 8, графа «Целевое значение»). Целевые значения имеют непосредственное отношение к улучшению технических характеристик продукции, к которому стремятся менеджеры, поэтому команды проектировщиков в дальнейшем должны осуществлять эти улучшения.

Аналогичным образом строятся второй, третий и четвёртый «дома качества», с помощью которых вырабатываются рекомендации по улучшению качества исследуемой продукции.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Выбрать объект для исследования, выделить его основные потребительские свойства и технические характеристики.
3. Для выбранного объекта построить 4 «дома качества» и выработать рекомендации по улучшению на каждом этапе производства.
4. Проанализировать полученные данные, и сформулировать выводы по работе.
5. Ответить на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

1. В чём заключается метод СФК?
2. Что собой представляет «дом качества»?
3. Опишите структуру и назначение первого «дома качества».
4. Опишите структуру и назначение второго «дома качества».
5. Опишите структуру и назначение третьего «дома качества».
6. Опишите структуру и назначение четвёртого «дома качества».
7. Сколько этапов включает в себя алгоритм построения «дома качества»?
8. В чём заключается первый этап построения «дома качества»?
9. Опишите второй этап построения «дома качества»?
10. В чём заключается третий этап построения «дома качества»?
11. Опишите четвёртый этап построения «дома качества»?
12. В чём заключается пятый этап построения «дома качества»?
13. Опишите шестой этап построения «дома качества»?
14. В чём заключается седьмой этап построения «дома качества»?
15. Опишите восьмой этап построения «дома качества»?
16. Что такое рейтинг потребительских свойств?
17. Что собой представляет матрица связей?
18. Для чего строится корреляционная матрица?
19. На основании каких данных составляется список ожиданий потребителей и список технических характеристик продукции?
20. Как устанавливаются целевые значения технических характеристик продукции?
21. Назовите достоинства и недостатки метода СФК.

### ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ ИСИКАВЫ

**Цель работы:** получить навыки построения причинно-следственной диаграммы Исикавы.

#### Краткие теоретические сведения

Диаграмма Исикавы, известная также как причинно-следственный анализ или диаграмма «рыбьего скелета», является одним из самых важных инструментов улучшения качества [12, 13]. Впервые она была использована в 1943 г. К. Исикавой и получила большую популярность благодаря своему структурному подходу к решению проблемы.

Диаграмма Исикавы представляет собой графическое упорядочение факторов, влияющих на объект анализа. её главным достоинством является то, что она дает наглядное представление не только о тех факторах, которые влияют на изучаемый объект, но и о причинно-следственных связях этих факторов.

Изучаемая проблема на диаграмме – это «голова рыбьей кости». «Хребет» на диаграмме условно изображается в виде прямой горизонтальной стрелки. Причины и факторы, прямо и косвенно влияющие на проблему, изображаются наклонными стрелками – это «кости».

На диаграмму Исикавы по направлению влево наносят основные «кости» (категории), которые имеют отношение к рассматриваемой проблеме. Для начала команда экспертов может рассмотреть общие категории. Все возможные причины обычно распределяют по категориям по принципу «4М...6М» (рис. 18.1):

- *Man* (Человек) – причины, связанные с человеческим фактором;
- *Machines* (Машины, оборудование) – причины, связанные с оборудованием;
- *Materials* (Материалы) – причины, связанные с материалами;
- *Methods* (Методы, технология) – причины, связанные с технологией работы, с организацией процессов;
- *Measurements* (Измерения) – причины, связанные с методами измерения.
- *Media* (Среда) – температура, влажность воздуха, электрические и магнитные поля и т.д.

Основные категории распределяют в нисходящем порядке, начиная с той категории, которая имеет наибольшую вероятность того, что её причины вызвали проблему. То есть та категория с причинами, которая, по мнению экспертной команды, является основной, – будет ближе к «голове рыбы».

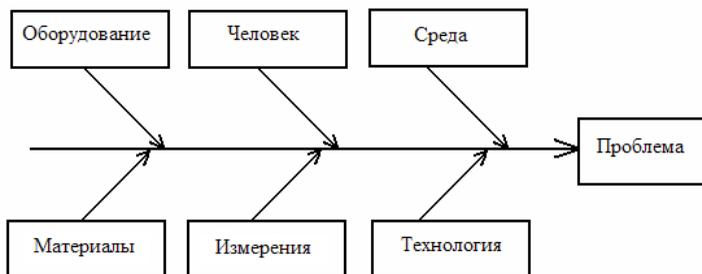


Рис. 18.1. Диаграмма Исикавы с основными категориями причин

Для каждой категории строятся дополнительные «кости», представляющие отдельные причины, а у тех, в свою очередь, добавляются свои подпричины. Продолжая таким образом, мы получаем разветвленное дерево, связывающее причины возникновения несоответствия, находящиеся на разном уровне детализации. Таким образом, можно добраться до первичных причин, устранение которых наиболее сильно повлияет на устранение всего несоответствия.

При построении диаграммы Исикавы (рис. 18.2) рекомендуется придерживаться следующего алгоритма [14]:

**Шаг 1.** Выберите показатель качества для улучшения (анализа). Запишите его в середине правого края чистого листа бумаги. Показатель необходимо сформулировать как можно точнее, иначе даже правильно построенную причинно-следственную диаграмму будет затруднительно использовать для решения конкретной проблемы.

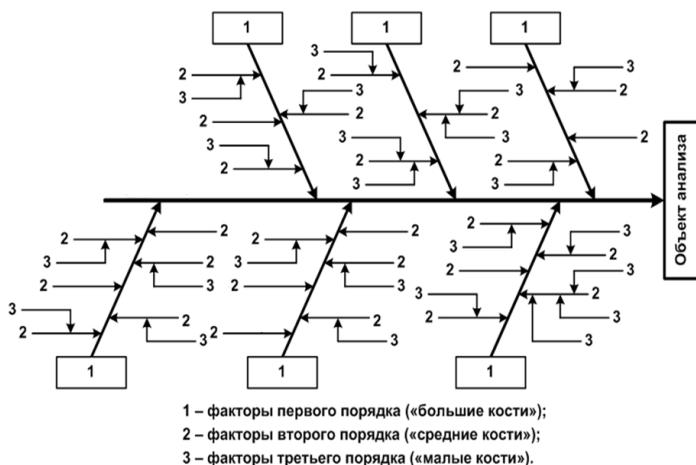


Рис. 18.2. Структурная схема диаграммы Исикавы

Через центр листа проведите прямую горизонтальную линию («хребет» диаграммы), слева упирающуюся в край листа, а справа в показатель для анализа.

**Шаг 2.** Определите главные факторы (факторы первого порядка), влияющие на показатель качества, используя принцип «4М...6М». Равномерно распределите их по верхнему и нижнему краю листа и проведите стрелки («большие кости») от названий главных факторов к «хребту» диаграммы.

На диаграмме для выделения показателя качества и главных факторов рекомендуется заключить их в рамку.

**Шаг 3.** Определите и запишите факторы второго порядка рядом с «большими костями» факторов первого порядка, на которые они влияют. Соедините стрелками («средние кости») названия факторов второго порядка с «большими костями».

**Шаг 4.** Определите и запишите факторы третьего порядка рядом со «средними костями» факторов второго порядка, на которые они оказывают влияние. Соедините стрелками («малые кости») названия факторов третьего порядка со «средними костями».

Для определения факторов второго, третьего и т.д. порядков рекомендуется использовать метод «мозгового штурма».

При нанесении стрелок на схему их наклон и размер не имеют значения. При построении диаграммы необходимо правильно отобразить соподчинённость и взаимозависимость факторов, а также оформить диаграмму таким образом, чтобы она легко читалась. В связи с этим наименования факторов рекомендуется записывать в горизонтальном положении.

**Шаг 5.** Удалите факторы, на которые невозможно повлиять или скомпенсировать их воздействие. Это правило можно использовать во время определения факторов, влияющих на объект анализа, т.е. на 2 – 4 этапах построения диаграммы.

**Шаг 6.** Оцените степень влияния (значимость) каждого, наиболее мелкого фактора, на который можно повлиять. Предпочтительно для оценки влияния факторов использовать данные измерений (контрольные листки, журналы измерений и т.д.). Если такой возможности нет, предлагается использовать метод командной оценки.

**Шаг 7.** Определите наиболее значимые факторы, влияющие на исследуемый показатель качества. Для анализа рекомендуется использовать диаграмму Парето.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Выбрать объект исследований и определить основные факторы, от которых зависит его качество.

3. Используя приведённый алгоритм, построить диаграмму Исикавы.
4. Проанализировать полученные данные и выработать рекомендации по улучшению качества объекта исследований.
5. Ответить на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Для чего используется диаграмма Исикавы?
2. Когда и кем была впервые предложена диаграмма Исикавы?
3. В чём заключается основное достоинство диаграммы Исикавы?
4. В чём заключается принцип «4М...6М»?
5. На какие категории обычно разделяют причины возникновения проблемы при построении диаграммы Исикавы?
6. Приведите примеры факторов, которые могут быть отнесены к категории *Man* (Человек).
7. Приведите примеры факторов, которые могут быть отнесены к категории *Machines* (Машины, оборудование).
8. Приведите примеры факторов, которые могут быть отнесены к категории *Materials* (Материал).
9. Приведите примеры факторов, которые могут быть отнесены к категории *Methods* (Методы, технология).
10. Приведите примеры факторов, которые могут быть отнесены к категории *Measurements* (Измерения).
11. Приведите примеры факторов, которые могут быть отнесены к категории *Media* (Среда).
12. Назовите основные этапы построения диаграммы Исикавы.
13. Опишите первый этап построения диаграммы Исикавы и его значение для всего процесса.
14. Опишите второй этап построения диаграммы Исикавы и его значение для всего процесса.
15. Опишите третий этап построения диаграммы Исикавы и раскройте его значение для всего процесса.
16. Опишите четвёртый этап построения диаграммы Исикавы и раскройте его значение для всего процесса.
17. Опишите пятый этап построения диаграммы Исикавы и раскройте его значение для всего процесса.
18. Опишите шестой этап построения диаграммы Исикавы и раскройте его значение для всего процесса.
19. Опишите седьмой этап построения диаграммы Исикавы и раскройте его значение для всего процесса.
20. Какие методы могут быть использованы для оценки значимости влияющих факторов?
21. Приведите структурную схему диаграммы Исикавы.

# ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

---

## Лабораторная работа 6

### УСТАНОВЛЕНИЕ НОРМ (НОРМИРОВАНИЕ) ЕДИНИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

**Цель работы:** ознакомиться с принципами установления нормативов числовых значений единичных показателей на основе вероятностной оценки качества товаров.

#### Краткие теоретические сведения

При контрольных испытаниях и оценке качества товаров фактические значения показателей сравнивают с установленными нормами. При установлении норм можно использовать формальный и вероятностный методы.

Формальный метод основан на сравнении сводных характеристик выборки с нормативом без учёта достоверности оценки характеристик партии по выборке. Этот метод работает и в том случае, если решение об уровне качества принимается по результатам сравнения индивидуальных значений. В этом случае в качестве норматива может быть принято наилучшее (наибольшее или наименьшее) выборочное значение за определённый период.

Вероятностный метод основан на оценке выборочного значения контролируемого параметра с учётом генеральной совокупности и сравнении его с установленным нормативом.

Оценка качества будет зависеть не только от используемого метода, но и от обоснованности и правильности установленных норм. Поэтому необходимо совершенствовать методы расчёта и установления норм.

Общая методика установления норм должна включать следующие последовательно выполняемые этапы:

- 1) выбор номенклатуры показателей;
- 2) разработка методов количественной оценки выбранных единичных показателей качества;
- 3) получение и анализ фактических данных о нормируемом показателе;
- 4) расчёт и установление норматива.

Рассмотрим два последних этапа процесса нормирования.

Прежде всего необходимо определить требуемый объём фактических данных (минимальное число испытаний  $N$ , необходимое для установления норм). Его величина, зависящая от требуемой точности и достоверности установления норматива, может быть найдена по формуле

$$N \geq t^2 v_p^2 / \delta^2, \quad (6.1)$$

где  $t$  – нормированное отклонение, соответствующее квантилю распределения Стьюдента при доверительной вероятности  $\gamma = 0,95$  или  $\gamma = 0,99$  и зависящее от числа предварительных испытаний  $N^*$  (выбирается для каждого конкретного случая);  $v_p$  – коэффициент вариации нормируемого единичного показателя;  $\delta$  – заданная относительная погрешность измерения нормируемого показателя.

Для нахождения  $v_p$  используются следующие формулы:

$$v_p = 100(\sigma_p / \bar{P}); \quad (6.2)$$

$$\bar{P} = \frac{1}{N^*} \sum_{i=1}^{N^*} P_j; \quad (6.3)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N^*} (P_j - \bar{P})^2}{N^* - 1}}, \quad (6.4)$$

где  $P_j$  – значения единичного показателя качества в  $j$ -м испытании;  $\bar{P}$  – среднее значение единичного показателя качества в серии из  $N^*$  испытаний;  $\sigma_p$  – выборочное среднеквадратическое отклонение единичного показателя.

Далее выполняют основную серию испытаний в количестве  $N$  и заново рассчитывают сводные характеристики выборки ( $\bar{P}$ ,  $\sigma_p$ ,  $v_p$ ) по формулам (6.2) – (6.4) при  $N^* = N$ .

Для оценки точности определения сводных выборочных характеристик необходимо вычислить гарантийную ошибку одноступенчатой выборки.

*Гарантийная ошибка  $\Delta_{\bar{P}}$  среднего арифметического*

$$\Delta_{\bar{P}} = \frac{t \sigma_p}{\sqrt{N-1}}. \quad (6.5)$$

*Гарантийная ошибка  $\Delta_{\sigma_p}$  среднеквадратического отклонения*

$$\Delta_{\sigma_p} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sigma_p}{C_N \sqrt{N-1}}, \quad (6.6)$$

где  $C_N$  – коэффициент, зависящий от  $N$  и определяемый по табл. 6.1 для нормального распределения.

## 6.1. Значения коэффициента

Значение коэффициента $C_N$ при числе испытаний $N$								
2	3	4	5	10	15	20	25	30 и более
0,798	0,886	0,922	0,940	0,973	0,982	0,987	0,990	~1,000

При  $N \leq 5$  и  $N > 30$  значение  $\Delta_{\sigma_P}$  определяется по формуле:

$$\Delta_{\sigma_P} = \frac{\sqrt{2}\sigma_P}{\sqrt{N}}. \quad (6.7)$$

Гарантийная ошибка  $\Delta_{v_P}$  коэффициента вариации:

$$\Delta_{v_P} = \frac{\sqrt{2}v_P}{C_N\sqrt{N-1}}, \quad (6.8)$$

При  $N > 30$  значение  $\Delta_{\sigma_P}$  определяется по формуле:

$$\Delta_{v_P} = \frac{\sqrt{2}v_P}{\sqrt{N}}. \quad (6.9)$$

Если  $v_P > 20\%$ , то

$$\Delta_{v_P} = \frac{\sqrt{2}v_P}{\sqrt{N}} \sqrt{1 + 2\left(\frac{v_P}{100}\right)^2}. \quad (6.10)$$

На основании полученных значений  $\bar{P}$ ,  $\sigma_P$  и  $\Delta_{\bar{P}}$  определяют верхние и нижние границы вероятного нахождения внутри них значений единичных показателей качества.

Для определения нижних  $m_{н1}$  и верхних  $m_{в1}$  односторонних границ используются формулы

$$m_{н1} = \bar{P} - t_1 \sigma_P / \sqrt{N-1} = \bar{P} - \Delta_{\bar{P}}; \quad (6.12)$$

$$m_{в1} = \bar{P} + t_1 \sigma_P / \sqrt{N-1} = \bar{P} + \Delta_{\bar{P}}. \quad (6.13)$$

где  $t_1$  – квантиль распределения Стьюдента при доверительной вероятности  $\gamma = 0,95$  и количестве испытаний  $N$ .

Для нахождения двусторонних границ используются формулы

$$m_{н2} = \bar{P} - t_2 \sigma_P / \sqrt{N-1} = \bar{P} - \Delta_{\bar{P}}; \quad (6.14)$$

$$m_{B2} = \bar{P} + t_2 \sigma_P / \sqrt{N-1} = \bar{P} + \Delta_{\bar{P}}, \quad (6.15)$$

где  $t_2$  – квантиль распределения Стьюдента при доверительной вероятности  $\gamma = 0,90$  и количестве испытаний  $N$ .

Рассчитанные границы могут быть использованы в качестве нормативов (базовых значений) при определении показателей качества в безразмерной форме при отсутствии установленных нормативных значений в стандартах и других нормативных документах.

При этом для перевода абсолютных значений в безразмерную форму используются выражения

$$K_i = P_i / P_i^{\text{баз}} \quad (6.16)$$

или

$$K_i = P_i^{\text{баз}} / P_i, \quad (6.17)$$

где  $P_i$  – значение  $i$ -го показателя качества оцениваемой продукции;  
 $P_i^{\text{баз}}$  – базовое значение  $i$ -го показателя качества.

Формула (6.16) используется, когда увеличение абсолютного значения показателя качества соответствует улучшению качества продукции.

Формула (6.17) используется тогда, когда улучшению качества продукции соответствует уменьшение абсолютного значения показателя качества.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Выбрать объект исследования, измеряемый единичный показатель и принять точность его определения  $\delta = 5\%$ .
3. Осуществить предварительную серию из 10 испытаний, вычислить сводные характеристики предварительной серии по формулам (6.2) – (6.4) и определить требуемое количество испытаний в основной серии по формуле (6.1). Результаты занести в табл. 6.2.
4. Провести основную серию испытаний или измерений единичного показателя и вычислить сводные выборочные характеристики основной серии по формулам (6.2) – (6.4). Результаты занести в табл. 6.2.
5. Вычислить гарантийную ошибку выборки по нормируемому показателю, используя формулы (6.5) – (6.10).
6. Определить тип ограничения нормируемого показателя: односторонний (максимум или минимум) или двухсторонний интервал.
7. Вычислить односторонние или двухсторонние границы по формулам (6.12) – (6.15).

8. Установить базовые значения показателя качества на основании полученных границ ( $m_{н1}$ ,  $m_{в1}$ ) или ( $m_{н2}$ ,  $m_{в2}$ ).

9. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по работе.

10. Ответить на контрольные вопросы.

### 6.2. Сводная таблица результатов

Результаты по предварительной серии		Результаты по основной серии					
№ п/п	Значение	№ п/п	Значение	№ п/п	Значение	№ п/п	Значение
1		1		11		21	
2		2		12		22	
3		3		13		23	
4		4		14		24	
5		5		15		25	
6		6		16		26	
7		7		17		27	
8		8		18		28	
9		9		19		29	
10		10		20		30	
Сумма							
$\bar{P}$							
$\sigma_P$							
$\nu_P$							

### Контрольные вопросы

1. Для каких целей необходимо установление нормативных значений?
2. Какие методы могут применяться при установлении норм?
3. В чём заключается формальный метод установления нормативных значений?
4. В каких случаях используется формальный метод установления нормативных значений?
5. В чём заключается вероятностный метод установления нормативных значений?
6. Перечислите основные этапы установления нормативных значений.
7. Приведите формулу для нахождения минимального числа испытаний для установления норм.

8. Приведите формулы для расчёта коэффициента вариации нормируемого единичного показателя и выборочного среднеквадратического отклонения единичного показателя.

9. Как находится гарантийная ошибка среднего арифметического?

10. Как находится гарантийная ошибка среднеквадратического отклонения?

11. Как находится гарантийная ошибка коэффициента вариации?

12. Приведите формулы для расчёта нижних и верхних односторонних границ вероятного нахождения единичного показателя качества.

13. Приведите формулы для расчёта двусторонних границ вероятного нахождения единичного показателя качества.

14. Какие значения может принимать доверительная вероятность  $P$  при определении границ вероятного нахождения внутри них единичных показателей качества?

15. Какие значения можно принять в качестве нормативных при вероятностном методе?

16. Как осуществляется перевод абсолютных значений в безразмерную форму в том случае, когда увеличение абсолютного значения показателя качества соответствует улучшению качества продукции?

17. Как осуществляется перевод абсолютных значений в безразмерную форму в том случае, когда улучшению качества продукции соответствует уменьшение абсолютного значения показателя качества?

18. Приведите примеры единичных показателей качества, для которых может быть использован вероятностный метод установления нормативных значений.

19. Приведите примеры единичных показателей качества, для которых целесообразно использовать формальный метод установления нормативных значений.

20. Какие измерительные приборы были использованы в ходе выполнения лабораторной работы?

21. Опишите порядок и ход выполнения лабораторной работы.

## Лабораторная работа 7

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЕСОМОСТИ ЕДИНИЧНЫХ СВОЙСТВ ПРОДУКЦИИ. МЕТОД СТОИМОСТНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

**Цель работы:** знакомство с аналитическими методами определения коэффициентов весомости единичных свойств продукции; получение практических навыков использования метода стоимостных регрессионных зависимостей для определения коэффициентов весомости свойств конкретных объектов.

## Краткие теоретические сведения

В соответствии с одним из основных принципов квалиметрии каждое свойство продукции, находящееся на любом уровне иерархической структуры её качества, в полной мере определяется двумя числовыми характеристиками:

- 1) относительным показателем качества  $P_i$ ;
- 2) коэффициентом весомости  $M_i$ .

Все существующие методы определения коэффициентов весомости  $M_i$  единичных показателей качества могут быть разделены на две группы: *аналитические* и *экспертные*.

Использование экспертных методов предполагает наличие субъективного фактора в определении взаимосвязи между единичными показателями, поэтому в тех случаях, когда это возможно, целесообразно использование аналитических методов.

Из аналитических методов оценки наибольшее распространение получили следующие три метода.

1. Метод стоимостных регрессионных зависимостей (стоимостной метод).
2. Метод предельных и номинальных значений (метод статистической обработки проектов или вероятностный метод).
3. Метод эквивалентных соотношений.

Одним из наиболее объективных методов оценки коэффициентов весомости является метод стоимостных регрессионных зависимостей (стоимостной метод).

В основе метода лежит посылка, что весомость  $M_i$  является монотонно возрастающей функцией аргумента  $S_i$ , выражающего денежные или трудовые затраты, необходимые для обеспечения  $i$ -го свойства определённого уровня. Тогда, если  $M_i = \varphi(S_i)$ , то при  $S_i > S_{i-1}$  должно выполняться также условие  $M_i > M_{i-1}$ . Зависимость  $M_i = \varphi(S_i)$  определяется либо аналитическим способом, либо обработкой эмпирических данных. На основе аналитического способа получается некоторая регрессионная зависимость. Таким образом, то свойство изделия, которое требует для его получения больших затрат (в денежном выражении), должно иметь большую весомость. Устанавливаемая пропорциональность стоимостей определяет соотношение весомостей для всех показателей свойств

из расчёта, что  $\sum_{i=1}^n M_i = \text{const}$ , где  $n$  – число рассматриваемых свойств изделия.

Данный метод применяют при выполнении следующих основных условий:

а) стоимостная зависимость определяется для продукции, у которой цена соответствует необходимым затратам на её создание и эксплуатацию (это условие считается выполненным для продукции, которая производится длительное время и пользуется устойчивым спросом, т.е. не является ни остродефицитной, ни «неходовой»);

б) число показателей качества, входящих в стоимостную зависимость, существенно меньше числа вариантов продукции, по которым построена стоимостная зависимость.

При составлении уравнения регрессии необходимо определить его вид, который определяется видом зависимости комплексного показателя качества продукции от единичных показателей качества. Если зависимость носит линейный характер, то для построения уравнения регрессии целесообразно выбрать следующее выражение:

$$\frac{S_j}{S_{\text{ср}}} = \sum_{i=1}^n \mu_i \frac{P_{ij}}{P_{i\text{ср}}}; \quad (7.1)$$

для нелинейных зависимостей следует использовать выражение вида:

$$\lg \frac{S_j}{S_{\text{ср}}} = \sum_{i=1}^n \mu_i \lg \frac{P_{ij}}{P_{i\text{ср}}}, \quad (7.2)$$

где  $j$  – номер рассматриваемого варианта продукции ( $j = 1, 2, \dots, m$ );  $i$  – номер рассматриваемого свойства или показателя качества ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $P_{ij}$  – оценка  $i$ -го показателя качества  $j$ -го варианта продукции;  $S_{\text{ср}}$  и  $P_{i\text{ср}}$  – величины, полученные усреднением по всем вариантам продукции фактических затрат и соответствующих оценок показателей качества;  $\mu_i$  – параметры аппроксимации. В данном случае  $M_i = \mu_i$ , т.е. коэффициенты весомости равны соответствующим параметрам аппроксимации или коэффициентам регрессионной зависимости.

При условии, что количество единичных показателей качества  $n$  равно количеству рассматриваемых вариантов продукции  $m$ , методика нахождения  $\mu_i$  заключается в решении системы из  $n$  уравнений вида (7.1) или (7.2) с  $n$  неизвестными одним из известных методов (метод Гаусса, матричный метод).

Достоинством метода стоимостных регрессионных зависимостей является его простота. Однако следует всегда иметь в виду, что стоимость (цена) – величина непостоянная и зависит от многих факторов, поэтому со временем происходит её изменение. Следовательно, будет происходить и изменение соотношения весомостей свойств. Этот фактор необходимо учитывать для получения достоверных результатов оценки качества продукции.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Выбрать  $m$  вариантов объектов исследования с различной стоимостью  $S_j$ .
3. Определить характер зависимости комплексного показателя качества от единичных показателей (линейный или нелинейный).
4. Измерить значения единичных показателей качества (инструментальными и экспертными методами), перевести их в безразмерную форму и заполнить табл. 7.1.
5. Составить систему из  $m$  уравнений вида (7.1) или (7.2) и решить её относительно  $\mu_i$  одним из известных способов.
6. Полученные коэффициенты весомости  $M_i = \mu_i$  представить в виде графика (рис. 7.1).
7. Проанализировать полученные данные и сделать выводы по работе.
8. Ответить на контрольные вопросы.

#### 7.1. Сводная таблица результатов

$j$	$P_{1j}$	$P_{2j}$	...	$P_{nj}$	$S_j$
1					
2					
...					
$m$					
Сумма					
Среднее					

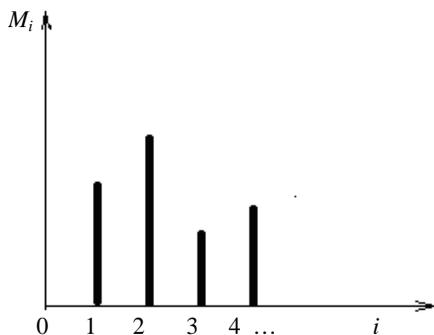


Рис. 7.1. Коэффициенты весомости единичных показателей качества

## Контрольные вопросы

1. Назовите основные числовые характеристики свойств продукции, находящихся на любом уровне иерархической структуры её качества.
2. Приведите определение понятия «относительный показатель качества».
3. Приведите определение понятия «коэффициент весомости».
4. Какие группы аналитических методов определения коэффициентов весомости вы знаете?
5. Назовите основные достоинства и недостатки экспертных методов определения коэффициентов весомости.
6. Назовите основные достоинства и недостатки аналитических методов определения коэффициентов весомости.
7. Какие аналитические методы определения коэффициентов весомости вы знаете?
8. В чём заключается метод стоимостных регрессионных зависимостей?
9. Какая посылка лежит в основе метода стоимостных регрессионных зависимостей?
10. Какие способы определения зависимости  $M_i = \varphi(S_i)$  вы знаете?
11. При выполнении каких условий может быть использован метод стоимостных регрессионных зависимостей?
12. Может ли метод стоимостных регрессионных зависимостей быть использован для новой продукции, недавно появившейся на рынке?
13. Может ли метод стоимостных регрессионных зависимостей быть использован для новой продукции, выпускаемой ограниченным тиражом?
14. Приведите свои примеры продукции, для которой метод стоимостных регрессионных зависимостей не может быть использован.
15. Что называется уравнением регрессии?
16. Какой вид может иметь уравнение регрессии при использовании стоимостного метода?
17. Как должно соотноситься количество единичных показателей качества  $n$  и количество рассматриваемых вариантов продукции  $m$  при использовании стоимостного метода?
18. Назовите основные достоинства стоимостного метода определения коэффициентов весомости единичных показателей качества.
19. Приведите недостатки стоимостного метода определения коэффициентов весомости единичных показателей качества.
20. Какие измерительные приборы были использованы в ходе выполнения лабораторной работы?
21. Опишите порядок и ход выполнения лабораторной работы.

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЕСОМОСТИ. МЕТОД НОМИНАЛЬНЫХ  
И ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ.  
МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СООТНОШЕНИЙ**

**Цель работы:** изучить особенности применения метода эквивалентных соотношений и метода номинальных и предельно допустимых значений для расчёта коэффициентов весомости.

**Краткие теоретические сведения**

Наиболее часто из известных аналитических методов определения коэффициентов весомости применяется метод, основанный на использовании номинальных и предельно допустимых значениях единичных показателей качества. Предельно допустимые значения ( $P_{inp}^{min}$ ,  $P_{inp}^{max}$ ) задаются в нормативных документах, определяющих требования к продукции заданного качества.

Этот метод используется в тех случаях, когда имеется достаточно большое количество модификаций рассматриваемой продукции и можно использовать аппарат математической статистики, поэтому сам метод иногда ещё называют *«методом статистической обработки проектов»* или *вероятностным методом*.

Основу метода предельных и номинальных значений составляет посылка, что важность свойства характеризуется степенью приближения номинального (среднего) значения показателя качества к его предельному значению. Среди всех свойств изделия всегда стремятся приблизить к предельному значению наиболее важные, определяющие свойства. Благодаря этому на основе статистической обработки показателей качества существующих изделий одного назначения можно получить значения весомостей  $M_i$  отдельных показателей.

Формулы для вычисления коэффициентов весомости единичных показателей качества, используемых при различных видах зависимости комплексного показателя качества  $Q$  от единичных показателей  $P_i$ , приведены в табл. 8.1

**8.1. Формулы для расчёта коэффициентов весомости**

Формула комплексного показателя	Формулы для расчёта $M_i$
$Q = \sum_{i=1}^n M_i P_i$	$M_i = (\Delta \bar{P}_i)^{-1} / \sum_{i=1}^n (\Delta \bar{P}_i)^{-1} \quad (8.1)$

Формула комплексного показателя	Формулы для расчёта $M_i$
$Q = \prod_{i=1}^n P_i^{M_i}$	$M_i = \lg(\overline{IP}_i) / \sum_{i=1}^n \lg(\overline{IP}_i) \quad (8.2)$
$Q = 1 / \sum_{i=1}^n (M_i / P_i)$	$M_i = \frac{P\overline{P}_i / \Delta\overline{P}_i}{\sum_{i=1}^n (P\overline{P}_i / \Delta\overline{P}_i)} \quad (8.3)$

*Примечание:*

для позитивных показателей:

$$\begin{cases} \Delta P_i = \overline{P}_i - P_{i\text{нп}}^{\min}; \\ IP_i = \overline{P}_i / P_{i\text{нп}}^{\min}; \\ PP_i = \overline{P}_i P_{i\text{нп}}^{\min}; \end{cases}$$

для негативных показателей:

$$\begin{cases} \Delta P_i = P_{i\text{нп}}^{\max} - \overline{P}_i; \\ IP_i = P_{i\text{нп}}^{\max} / \overline{P}_i; \\ PP_i = \overline{P}_i P_{i\text{нп}}^{\max}, \end{cases}$$

где  $\overline{P}_i$  – среднее статистическое значение  $i$ -го показателя качества нескольких вариантов продукции одного назначения;  $P_{i\text{нп}}^{\min}$  – предельное значение  $i$ -го позитивного показателя, определяющее наихудшее, но допустимое его значение, ниже которого этот показатель опускаться не может;  $P_{i\text{нп}}^{\max}$  – предельное значение  $i$ -го негативного показателя, определяющее наихудшее, но допустимое его значение, выше которого этот показатель подниматься не может.

Недостатком метода номинальных и предельно допустимых значений является то, что результат оценки может зависеть от фактических значений единичных показателей. Поэтому его применение возможно при стабильном состоянии процесса или при наличии установленных нормативов по выбранным единичным показателям.

Широкое распространение среди аналитических методов получил также *метод эквивалентных соотношений*, основанный на использовании

нормативной документации и статистических данных об объекте исследования.

Метод эквивалентных соотношений при определении коэффициентов весомости показателей качества можно применять в том случае, когда известно, что:

а) при исходной величине рассматриваемого  $i$ -го показателя качества продукции определённые потребности при использовании данной продукции по назначению будут удовлетворяться её объёмом  $V$ ;

б) при улучшении исходного показателя качества на  $\Delta P_i$  удовлетворение тех же потребностей будет производиться на  $\Delta V$  меньшим объёмом этой продукции.

Все это говорит о том, что метод эквивалентных соотношений следует применять в случаях, когда удаётся обосновать, какому относительно изменению количества продукции  $\frac{V + \Delta V}{V}$  эквивалентно, с точки зрения общего эффекта от использования продукции по назначению, относительное изменение соответствующего показателя качества  $\frac{P_i + \Delta P_i}{P_i}$  или на

сколько процентов можно, например, уменьшить число единиц продукции, чтобы удовлетворить те же потребности при изменении значения данного показателя качества на один процент. При наличии указанных условий коэффициенты весомости могут быть рассчитаны, например, с использованием формулы

$$M_i = \frac{\lg\left(1 + \frac{\Delta V}{V}\right)}{\lg\left(1 + \frac{\Delta P_i}{P_i}\right)}. \quad (8.4)$$

Недостатком этого метода является то, что его нельзя использовать для определения параметров весомости показателей качества продукции, не связанных непосредственно с эффективностью её использования (например, эстетических, эргономических и некоторых др.)

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Выбрать  $m$  вариантов продукции одного назначения.
3. Измерить значения  $P_j$  единичных показателей качества всех оцениваемых вариантов продукции, перевести их в безразмерную форму и рассчитать средние статистические значения:

$$\bar{P}_i = \frac{\sum_{j=1}^m P_{ij}}{m}.$$

4. Определить предельно допустимые значения ( $P_{i\text{пр}}^{\min}$ ,  $P_{i\text{пр}}^{\max}$ ) единичных показателей качества. За  $P_{i\text{пр}}^{\max}$  рекомендуется принять максимальное значение  $i$ -го показателя среди выбранных изделий, а за  $P_{i\text{пр}}^{\min}$  – минимальное значение. Результаты записать в табл. 8.2.

5. Определить характер зависимости комплексного показателя качества от единичных показателей и выбрать соответствующие формулы для расчёта коэффициентов весомости (табл. 8.1).

6. На основании данных табл. 8.2 рассчитать значения коэффициентов весомости методом номинальных и предельно допустимых значений.

7. Выявить у объекта исследования единичные показатели качества, которые могут быть рассмотрены с точки зрения эффективности использования.

8. Применяя нормативную документацию и статистические данные об эффективности использования объекта экспертизы, установить, какому изменению объёма продукции  $\Delta V$  эквивалентно изменение каждого из единичных показателей качества  $\Delta P_i$  на один процент.

9. Рассчитать значения коэффициентов весомости  $M_i$  единичных показателей методом эквивалентных соотношений по формуле (8.4). Результаты записать в табл. 8.3.

## 8.2. Сводная таблица результатов

Единичный показатель качества	Значение показателя для $j$ -го варианта продукции				$\bar{P}_i$	$P_{i\text{пр}}^{\min}$ или $P_{i\text{пр}}^{\max}$
	1	2	...	$m$		
1						
2						
...						
$n$						

### 8.3. Сводная таблица результатов

№ показателя	$\Delta P_i$	$\Delta V$	$M_i$
1			
2			
...			
$n$			

10. Сравнить коэффициенты весомости  $M_i$ , полученные различными аналитическими методами (стоимостных регрессионных зависимостей, номинальных и предельно допустимых значений, эквивалентных соотношений). Результаты сравнения представить в виде графика.

11. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по работе.

12. Ответить на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы

1. Какие аналитические методы определения коэффициентов весомости вы знаете?

2. Назовите достоинства и недостатки аналитических методов определения коэффициентов весомости.

3. В чём заключается метод номинальных и предельно допустимых значений?

4. В каких случаях целесообразно применение метода номинальных и предельно допустимых значений?

5. Приведите примеры продукции, для которой может быть использован метод номинальных и предельно допустимых значений.

6. Какая посылка лежит в основе метода номинальных и предельно допустимых значений?

7. Какие виды зависимостей комплексного показателя качества  $Q$  от единичных показателей  $P_i$  вы знаете?

8. Приведите формулы для расчёта коэффициентов весомости единичных показателей качества, если комплексный показатель качества определяется как среднее арифметическое взвешенное.

9. Приведите формулы для расчёта коэффициентов весомости единичных показателей качества, если комплексный показатель качества определяется как среднее геометрическое взвешенное.

10. Приведите формулы для расчёта коэффициентов весомости единичных показателей качества, если комплексный показатель качества определяется как среднее гармоническое взвешенное.

11. Каким образом задаются предельно допустимые значения  $P_{i\text{пр}}^{\min}$ ,  $P_{i\text{пр}}^{\max}$  единичных показателей качества продукции?
12. Какие показатели качества называются позитивными?
13. Какие показатели качества называются негативными?
14. В чём отличие методики расчёта коэффициентов весомости для позитивных и негативных показателей качества?
15. Назовите основные достоинства метода номинальных и предельно допустимых значений.
16. Какие недостатки присущи методу номинальных и предельно допустимых значений?
17. В чём заключается метод эквивалентных соотношений?
18. В каких случаях может быть использован метод эквивалентных соотношений?
19. Приведите формулы для расчёта коэффициентов весомости методом эквивалентных соотношений.
20. Приведите примеры показателей качества промышленной продукции (телевизора, автомобиля и т.д.), которые могут быть рассмотрены с точки зрения эффективности использования и для которых может быть применен метод эквивалентных соотношений.
21. Опишите порядок и ход выполнения лабораторной работы.

## Лабораторная работа 9

### ПОСТРОЕНИЕ ГИСТОГРАММЫ ВЫБОРОЧНОГО ЭМПИРИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Цель работы:** получить практические навыки систематизации выборочных данных и построения эмпирического закона распределения значений исследуемого показателя качества.

#### Краткие теоретические сведения

При оценке результатов испытаний необходимо знать закон их распределения. Он даёт полную картину варьирования исследуемого свойства и наглядно демонстрирует тенденции изменения наблюдаемых значений. Знание закона распределения позволяет определить границы между случайными и неслучайными (вызванными нарушениями технологического процесса) отклонениями сводных характеристик от запланированного значения.

Получение выборочного эмпирического распределения заключается в проведении испытаний по изучаемому показателю, систематизации и обработке полученных результатов.

Систематизация результатов испытаний выборки сводится к построению ряда распределения, таблицы распределения и в конечном итоге к построению гистограммы.

Ряд распределения строят при числе испытаний меньше 50, когда полученные результаты располагают последовательно по мере возрастания или убывания. В таблице, содержащей большое число испытаний (более 50), дают интервалы (классы) полученных результатов и отмечают число результатов (попаданий) в каждом интервале.

Гистограмма представляет собой столбчатый график, в котором ширина столбцов соответствует величине интервала, а высота пропорциональна количеству результатов в конкретном интервале.

Количество интервалов  $k$  распределения выбирают в зависимости от числа результатов, используя соотношение

$$k = 1 + 3,32 \ln n, \quad (9.1)$$

где  $n$  – количество результатов измерений.

Величина интервала значений показателя качества внутри каждого класса рассчитывается по формуле

$$\Delta x = (X_{\max} - X_{\min}) / k, \quad (9.2)$$

где  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$  – максимальное и минимальное значения выборки, соответственно.

Границы каждого класса вычисляются последовательно следующим образом. Для первого интервала наименьшее граничное значение вычисляют из условия

$$(x_1)_{\min} = X_{\min} - 5,5c, \quad (9.3)$$

где  $c$  – цена деления средства измерения контролируемого показателя.

Прибавляя к полученному значению величину  $\Delta x$ , получим наибольшее граничное значение первого интервала  $(x_1)_{\max}$ . Оно же будет являться нижней границей второго интервала. Аналогично, прибавляя  $\Delta x$  к каждому последующему значению, получим граничные значения для последующих классов. В интервал последнего класса должно входить наибольшее значение  $X_{\max}$ .

Центральные значения для каждого интервала определяют по формуле

$$(x_j)_c = 5,5 \left[ (x_j)_{\min} - (x_j)_{\max} \right]. \quad (9.4)$$

Далее по каждому классу необходимо определить абсолютные и относительные частоты попадания полученных значений показателя качества. Относительная частота попаданий в конкретный интервал определяется отношением абсолютной частоты к общему количеству результатов наблюдений.

Последним шагом является построение столбчатого графика или линейчатого графика (полигона). По оси абсцисс откладывают значения показателя качества, а по оси ординат – частоту. Для каждого класса строят прямоугольник с основанием, равным ширине интервала, и с высотой, соответствующей частоте попадания данных в этот интервал.

Гистограмма может иметь различную форму, по которой можно судить об условиях и результатах исследуемого процесса:

а) гистограмма с двухсторонней симметрией и острой вершиной указывает на стабильность процесса;

б) гистограмма с пологим плавно вытянутым вправо основанием получается в том случае, когда невозможно получить значения ниже определённого уровня (размер частиц сыпучего материала и др.);

в) гистограмма с пологим плавно вытянутым влево основанием получается в том случае, когда невозможно получить значения выше определённого уровня;

г) двугорбая гистограмма, которая содержит два возвышения с провалом между ними, отражает случаи объединения двух распределений с разными средними значениями (в случае значительной разницы между станками, операторами и т.д.);

д) гистограмма с форме обрыва, у которой один край как бы отрезан, представляет случаи, когда отобраны и исключены из партии все изделия с параметрами ниже (выше) контрольного норматива;

е) гистограмма с отделенным островком выражает случаи, когда была допущена грубая ошибка при измерениях или наблюдались отклонения от нормы в ходе процесса;

ж) гистограмма с провалом получается, когда величина интервала слишком мала и не кратна цене деления или когда оператор ошибается в считывании показаний шкалы.

После построения гистограммы вычисляют основные статистические характеристики полученного распределения. Известные числовые характеристики распределения можно разделить на три группы: характеристики центра группирования (положения), характеристики рассеивания и характеристики формы закона распределения.

К первой группе характеристик относят:

- *среднее арифметическое значение* для индивидуальных значений, рассчитанное по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (9.5)$$

при наличии распределённых частот

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k (x_j)_c n_j, \quad (9.6)$$

где  $x_i$  – индивидуальные значения показателя;  $n_j$  – абсолютная частота попадания в  $j$ -й интервал;

- *моду* – значение случайной величины, которое встречается в выборке наиболее часто. Точное значение моды можно определить по формуле

$$X_{mo} = \left[ (x_{j^*})_c - \frac{\Delta x}{2} \right] + \frac{\Delta x (n_{j^*} - n_{j^*-1})}{(n_{j^*} - n_{j^*-1}) + (n_{j^*} - n_{j^*+1})}, \quad (9.7)$$

где  $(x_{j^*})_c$  – центральное значение интервала с наибольшей частотой;

$n_{j^*}$  – значение наибольшей частоты попадания в гистограмме;  $n_{j^*-1}$  – частота попадания в интервал, предшествующий  $j^*$ -му интервалу;  $n_{j^*+1}$  – частота попадания в интервал, следующий за  $j^*$ -м интервалом;

- *медиану* – значение случайной величины, которое делит упорядоченный ряд на две равные по объёму группы. При наличии распределённых частот определяется значением параметра  $x$ , который соответствует уровню накопленной относительной частоты, равному 0,5.

Ко второй группе статистических характеристик относят:

- *размах варьирования* – разность между наибольшим и наименьшим значениями случайной величины:

$$R_x = X_{\max} - X_{\min}, \quad (9.8)$$

- *выборочную дисперсию* для индивидуальных значений, рассчитанную по формуле

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}, \quad (9.9)$$

при наличии частот – по формуле

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{j=1}^k n_j [(x_j)_c - \bar{x}]^2}{n - 1}, \quad (9.10)$$

- *выборочное среднеквадратическое отклонение* для индивидуальных значений, рассчитанное по формуле

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (9.11)$$

при наличии частот – по формуле

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k n_j [(x_j)_c - \bar{x}]^2}{n-1}}, \quad (9.12)$$

• *коэффициент вариации*, показывающий относительное колебание отдельных значений около среднего арифметического:

$$v_x = 100(\sigma_x / \bar{x}). \quad (9.13)$$

К третьей группе характеристик относят:

– *коэффициент асимметрии*, характеризующий «скошенность» распределения вправо или влево. При наличии распределённых частот значение коэффициента асимметрии вычисляется по формуле

$$K_a = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^k n_j [(x_j)_c - \bar{x}]^3}{\left( \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^k n_j [(x_j)_c - \bar{x}] \right)^{3/2}}. \quad (9.14)$$

Если  $K_a = 0$ , то распределение имеет симметричную форму и сходно с нормальным законом распределения. Если  $K_a > 0$ , то «центр тяжести» распределения смещен влево, а если  $K_a < 0$  – вправо;

– *коэффициент эксцесса*, характеризующий «островершинность» распределения.

При наличии распределённых частот значение коэффициента асимметрии вычисляется по формуле

$$K_3 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^k n_j [(x_j)_c - \bar{x}]^4}{\left( \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^k n_j [(x_j)_c - \bar{x}] \right)^2} - 3. \quad (9.15)$$

Например, для нормального закона распределения  $K_3 = 0$ , если  $K_3 > 0$ , то распределение значений на гистограмме имеет более острую вершину, чем у нормального закона, и большую концентрацию около среднего значения. При  $K_3 < 0$  распределение более растянуто вдоль горизонтальной оси.

Сравнивая полученные значения  $K_a$  и  $K_3$  с аналогичными характеристиками известных законов распределения, можно сделать предварительный вывод о соответствии данного эмпирического распределения известному теоретическому закону, например нормальному ( $K_a = 0, K_3 = 0$ ).

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями данной работы.
2. Выбрать объект исследования и его показатель качества, который можно измерить инструментальным путём.
3. Провести серию испытаний контролируемого показателя.
4. Определить количество классов распределения по формуле (9.1) и величину интервала в классе по формуле (9.2).
5. Сформировать таблицу распределения результатов по форме табл. 9.1, используя формулы (9.1) – (9.4).
6. Построить столбиковую диаграмму и полигон частот на координатной плоскости.
7. Построить график накопленных частот по данным графы 7 табл. 9.1.
8. Определить основные статистические характеристики эмпирического распределения: среднее арифметическое, моду, медиану, размах варьирования, выборочную дисперсию, выборочное среднее квадратическое отклонение, коэффициент эксцесса и коэффициент асимметрии.
9. Сделать предварительный вывод о соответствии фактических данных нормальному закону распределения.
10. Ответить на контрольные вопросы.

#### 9.1. Таблица распределения результатов

Номер класса $j$	Границы класса ( $x_j$ ) <sub>min</sub> ...( $x_j$ ) <sub>max</sub>	Среднее значение класса	Отметка числа попаданий	Абсолютная частота попаданий $n_j$	Относительная частота попаданий $n_j/n$	Накопленная относительная частота $\sum (n_j/n)$
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
...						
$k$						1,0
Сумма	–	–			1,0	–

Примечание: отметку числа попаданий (графа 4) можно делать любыми символами.

## Контрольные вопросы

1. Какие законы распределения случайных величин вы знаете?
2. Для чего необходимо знать закон распределения результатов испытаний при оценке качества продукции?
3. Каким образом можно систематизировать результаты испытаний образцов продукции при нахождении закона распределения?
4. Что собой представляет гистограмма выборочного эмпирического распределения?
5. Назовите этапы построения гистограмм выборочного эмпирического распределения.
6. Приведите формулы для нахождения количества интервалов на гистограмме, их величины, граничных и центральных значений.
7. Какую форму могут иметь гистограммы выборочного эмпирического распределения?
8. Какая форма гистограммы свидетельствует о стабильности процесса?
9. В каких случаях может быть получена гистограмма с пологим плавно вытянутым вправо основанием?
10. В каких случаях может быть получена гистограмма с пологим плавно вытянутым влево основанием?
11. В каких случаях может быть получена двугорбая гистограмма?
12. В каких случаях может быть получена гистограмма в форме обрыва?
13. Какая форма гистограммы свидетельствует об отклонениях от нормы в ходе процесса и допущении грубых ошибок при измерениях?
14. В каких случаях может быть получена гистограмма с провалом?
15. Перечислите основные статистические характеристики центра группирования эмпирического распределения и раскройте их значения.
16. Перечислите основные статистические характеристики степени рассеивания эмпирического распределения и раскройте их значения.
17. Перечислите основные статистические характеристики формы эмпирического распределения и раскройте их значения.
18. Приведите формулы для расчёта среднего арифметического, моды и медианы выборочного эмпирического распределения.
19. Приведите формулы для расчёта размаха варьирования, выборочной дисперсии, выборочного среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации.
20. Приведите формулы для расчёта коэффициентов асимметрии и эксцесса.
21. Какие измерительные и технические средства были использованы в ходе выполнения лабораторной работы?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

В учебном пособии рассмотрены теоретические и практические аспекты аналитических методов оценки коэффициентов весомости и комплексных показателей качества промышленной продукции, методы расчёта её надёжности, дефектности и конкурентоспособности, а также комплексные инструменты качества, позволяющие установить виды несоответствий продукции предъявляемым требованиям, причины их возникновения и способы устранения.

Изученные аналитические методы и комплексные инструменты качества наряду с экспертными методами, рассмотренными в первой части пособия, составляют полный цикл практических и лабораторных работ, изучаемых в рамках курса «Квалиметрия и управление качеством».

Полученные в ходе изучения курса знания могут применяться студентами при дальнейшем освоении дисциплин «Средства и методы управления качеством», «Всеобщее управление качеством», «Статистические методы в управлении качеством», изучаемых в 7–8 семестре, а также в ходе дипломного проектирования и в своей профессиональной деятельности на предприятиях различных отраслей промышленности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Методы квалиметрии в машиностроении : учебное пособие / под ред. В.Я. Кершенбаума, Р.М. Хвастунова. – М. : Технонефтегаз, 1999. – 210 с.
2. Азгальдов, Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) / Г.Г. Азгальдов. – М. : Экономика, 1982. – 256 с.
3. Исследование систем управления : учебное пособие для вузов / В.В. Мыльник, Б.П. Титаренко, В.А. Волочиенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Академический Проект ; Екатеринбург : Деловая книга, 2003. – 352 с.
4. Большев, Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1983. – 777 с.
5. Шишкин, И.Ф. Квалиметрия и управление качеством : учебник для вузов / И.Ф. Шишкин, В.М. Станякин. – М. : Изд-во ВЗПИ, 1992. – 210 с.
6. Азгальдов, Г.Г. О квалиметрии / Г.Г. Азгальдов, Э.П. Райхман. – М. : Изд-во стандартов, 1972. – 172 с.
7. Хахманова, Д.Н. Основы квалиметрии : учебное пособие / Д.Н. Хахманова. – Улан-Уде : Изд-во ВГСТУ, 2003. – 142 с.
8. Авдуевский, В.С. Надёжность и эффективность в технике : справочник. В 10 т. / В.С. Авдуевский, В.А. Кузнецова. – М. : Машиностроение, 1990. – 336 с.
9. Попов, Г.В. Лабораторный практикум по курсу «Квалиметрия и управление качеством» : учеб. пособие / Г.В. Попов, Л.Б. Лихачёва. – Воронеж : Изд-во ВГТА, 2005. – 88 с.
10. Прохоров, Ю.К. Управление качеством : учебное пособие / Ю.К. Прохоров. – СПб. : СПбГУИТМО, 2007. – 144 с.
11. Фатхутдинов, Р.А. Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление / Р.А. Фатхутдинов. – М. : ИНФРА-М, 2008. – 312 с.
12. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества : учебное пособие / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, В.Я. Белобрагин. – М. : РИА «Стандарты и качество». – 2005. – 248 с.
13. Гличев, А.В. Основы управления качеством продукции / А.В. Гличев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : РИА «Стандарты и Качество», 2001. – 424 с.

14. Управление качеством : учебное пособие. Ч. 1. Семь простых методов / Ю.П. Адлер, Т.М. Полховская, Л.А. Нестеренко. – М. : МИСИС, 1999. – 163 с.
15. Варжапетян, А.Г. Квалиметрия : учебное пособие / А.Г. Варжапетян. – СПб. : СПбГУАП, 2005. – 176 с.
16. Фомин, В.Н. Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация : курс лекций / В.Н. Фомин. – М. : ААИ «Тандем», Изд-во «ЭКМОС», 2000. – 320 с.
17. Управление качеством : учебное пособие / Б.И. Герасимов, Н.В. Злобина, С.П. Спиридонов. – М. : КНОРУС. – 2005. – 272 с.
18. Всеобщее управление качеством : учебник для вузов / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин ; под ред. О.П. Глудкина. – М. : Радио и связь, 1999. – 600 с.
19. Субетто, А.И. Квалиметрия / А.И. Субетто. – СПб. : Изд-во «Астерион», 2002. – 288 с.
20. Решение задач квалиметрии машиностроения : учебное пособие / под ред. В.Я. Кершенбаума, Р.М. Хвастунова. – М. : Технонефтегаз, 2001. – 157 с.
21. Статистические методы в повышении качества / под ред. Х. Кумэ ; пер. с англ. – М. : Финансы и статистика, 1990. – 304 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ</b> .....	4
<b>Практическая работа 10.</b> Использование шкалы наименований для решения квалиметрических задач ...	4
<b>Практическая работа 11.</b> Статистическая связь между показателями, измеренными по шкалам наименований .....	10
<b>Практическая работа 12.</b> Задачи обработки данных по шкалам порядка .....	17
<b>Практическая работа 13.</b> Статистические связи показателей, измеренных по шкалам порядка. Диаграмма сдвига .....	27
<b>Практическая работа 14.</b> Выбор основных показателей, характеризующих надёжность изделий .....	36
<b>Практическая работа 15.</b> Оценка уровня качества разнородной продукции. Определение индексов качества продукции .....	44
<b>Практическая работа 16.</b> Качество и конкурентоспособность изделий .....	55
<b>Практическая работа 17.</b> Структурирование функции качества .....	60
<b>Практическая работа 18.</b> Построение диаграммы Исикавы .....	66
<b>ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ</b> .....	70
<b>Лабораторная работа 6.</b> Установление норм (нормирование) единичных показателей качества .....	70
<b>Лабораторная работа 7.</b> Аналитические методы определения коэффициентов весомости единичных свойств продукции. Метод стоимостных регрессионных зависимостей .....	75
<b>Лабораторная работа 8.</b> Аналитические методы определения коэффициентов весомости. Метод номинальных и предельно допустимых значений. Метод эквивалентных соотношений .....	80
<b>Лабораторная работа 9.</b> Построение гистограммы выборочного эмпирического распределения и определение его статических характеристик .....	85
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	92
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	93

Учебное издание

ПОДОЛЬСКАЯ Мария Николаевна

# КВАЛИМЕТРИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Часть 2

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ КАЧЕСТВА

Лабораторный практикум

Редактор З.Г. Чернова  
Инженер по компьютерному макетированию Т.Ю. Зотова

Подписано в печать 16.09.2011  
Формат 60 × 84/16. 5,58 усл. печ. л. Тираж 80 экз. Заказ № 374

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14