МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ ISO 7870-5— 2023

Статистические методы

КОНТРОЛЬНЫЕ КАРТЫ

Часть 5

Специальные контрольные карты

(ISO 7870-5:2014, Control charts — Part 5: Specialized control charts, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 125 «Применение статистических методов»

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 марта 2023 г. № 160-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 апреля 2023 г. № 282-ст межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 7870-5—2023 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2024 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 7870-5:2014 «Контрольные карты. Часть 5. Специальные контрольные карты» («Control charts — Part 5: Specialized control charts», IDT).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5 (подраздел 3.6).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных (государственных) стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© ISO, 2014
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Обозначения и сокращения 3
5 Специальные контрольные карты 4
6 Контрольные карты скользящего среднего и скользящего размаха 4
7 *z*-карта 7
8 Групповая контрольная карта 8
9 Контрольная карта экстремальных значений 13
10 Контрольная карта с трендом 16
11 Контрольная карта коэффициента вариации 19
12 Контрольная карта ненормальных данных 22
13 Стандартизованная *p*-карта 27
14 Контрольная карта баллов качества 30
15 Контрольная карта контроля с помощью калибра 35
Приложение А (справочное) Коэффициенты для вычисления контрольных границ 40
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 42
Библиография 43

Введение

Контрольные карты[1)] Шухарта, рассмотренные в ISO 7870-2, помогают выявлять необычные структуры в данных для повторяющихся процессов и предлагают критерии выявления отсутствия статистической управляемости процесса.

Однако для количественных данных возможны особые ситуации, когда контрольные карты Шухарта могут быть неадекватными, недостаточными или менее эффективными при обнаружении необычных структур вариабельности/изменчивости процесса, особенно в тех случаях, когда:

a) для изготовления объекта требуется значительное время, и поэтому данные выборки доступны через большие промежутки времени;

b) существует несколько источников подгрупп, которые имеют примерно одинаковую производительность, среднее процесса и воспроизводимость процесса;

c) среднее процесса систематически изменяется;

d) объем выборки велик, а последовательность производства не существенна;

e) процесс не имеет постоянного целевого значения.

В таких ситуациях следует использовать специальные контрольные карты.

Аналогично особые ситуации могут возникнуть при работе с данными по альтернативному признаку. Могут возникнуть ситуации, когда критичность несоответствий в подгруппе вызывает озабоченность, но различные несоответствия имеют разную критичность. Таким образом, все типы несоответствий не могут быть рассмотрены одинаково. В зависимости от критичности каждому классу несоответствий должны быть присвоены различные ранги (веса), и, соответственно, рассчитаны негативные баллы/баллы качества. Контрольные границы рассчитывают на основе таких негативных оценок и, соответственно, строят контрольные карты.

Могут возникнуть ситуации, когда исходя из практических соображений контроль по альтернативному признаку предпочтительнее контроля по количественному признаку, как при контроле параметров положения, так и при контроле параметров изменчивости/вариабельности контролируемой характеристики процесса (например, контроль на основе калибров). В операциях сборки возможно наличие информации о количестве единиц продукции с характеристикой, меньше нижней границы поля допуска (калибр непроходной), а также о количестве единиц продукции с характеристикой, превышающей верхнюю границу поля допуска (калибр проходной). В такой ситуации может быть использована пара специальных контрольных карт.

Также могут возникнуть ситуации, когда данные не соответствуют нормальному распределению. Такие ситуации довольно часто встречаются в сфере услуг, кроме того, в специальных производственных процессах. В этом случае следует использовать специальную контрольную карту.

Настоящий стандарт является руководством по использованию специальных контрольных карт для решения вышеуказанных типовых, необычных ситуаций.

[1)] В Республике Беларусь контрольные карты называют также картами управления.

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Статистические методы

КОНТРОЛЬНЫЕ КАРТЫ

Часть 5

Специальные контрольные карты

Statistical methods. Control charts. Part 5. Specialized control charts

Дата введения — 2024—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает руководство по использованию и пониманию специальных контрольных карт в ситуациях, когда применение обычных контрольных карт Шухарта для статистического управления процессом может быть либо не возможно, либо менее эффективно для обнаружения необычных структур изменчивости процесса.

Специальными контрольными картами, рассмотренными в настоящем стандарте для количественных данных, являются:

a) контрольные карты скользящего среднего и скользящего размаха;

б) *z*-карты;

c) групповые контрольные карты;

d) контрольные карты экстремальных значений;

e) контрольные карты с трендом;

f) контрольные карты коэффициента вариации;

g) контрольные карты ненормальных данных.

Для альтернативных данных специальные контрольные карты, рассмотренные в настоящем стандарте, включают:

a) стандартизованные *p*-карты;

b) контрольные карты баллов качества;

c) контрольные карты контроля с помощью калибров.

В настоящем стандарте также приведены рекомендации относительно того, когда следует использовать каждую из вышеперечисленных контрольных карт, указаны преимущества и особенности их применения, а также рекомендации по определению соответствующих контрольных границ. Для каждой контрольной карты приведен пример.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующий стандарт [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 3534-2, Statistics — Vocabulary and symbols — Part 2: Applied statistics (Статистика. Словарь и условные обозначения. Часть 2. Прикладная статистика)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ISO 3534-2, а также следующие термины с соответствующими определениями.

Издание официальное

3.1 **контрольная карта** (control chart): График, на который наносят в установленном порядке значения статистического показателя в соответствии с последовательностью выборок, используемый для управления процессом и снижения изменчивости процесса.

Примечание 1 — Порядок нанесения на карту значений обычно привязан ко времени или порядку отбора выборок.

Примечание 2 — Применение контрольной карты обычно наиболее эффективно, если на ней отражают показатель процесса, коррелированный с качеством готовой продукции или услуги.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.1]

3.2 **контрольная карта Шухарта** (Shewhart control chart): Контрольная карта с контрольными границами Шухарта, предназначенная для разделения причин изменчивости контролируемой характеристики на случайные и специальные.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.2]

3.3 **карта контроля по количественному признаку** (variables control chart): Контрольная карта Шухарта, предназначенная для графического представления данных, измеряемых по непрерывной шкале.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.6]

3.4 **карта контроля по альтернативному признаку** (attributes control chart): Контрольная карта Шухарта, предназначенная для графического представления счетных или категоризированных данных.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.7]

3.5 **контрольная карта средних арифметических, *X*bar-карта** (*X*bar control chart, average control chart): Карта контроля по количественному признаку, предназначенная для оценки уровня процесса на основе средних арифметических в подгруппах.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.12]

3.6 **контрольная карта размахов, *R*-карта** (*R* chart, range control chart): Карта контроля по количественному признаку, предназначенная для оценки изменчивости процесса по размахам в подгруппах.

Примечание 1 — Значение размаха подгруппы, обозначаемое *R*, представляет собой разность между наибольшим и наименьшим наблюдениями в подгруппе.

Примечание 2 — Среднее значение размаха для всех подгрупп обозначают $\overline{R}$.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.18]

3.7 **контрольная карта скользящих средних** (moving average control chart): Контрольная карта, предназначенная для оценки уровня процесса по средним арифметическим последних *n* наблюдений.

Примечание 1 — Такая карта особенно полезна, когда доступно только одно наблюдение в подгруппе. Примеры — характеристики процесса, такие как температура, давление, время.

Примечание 2 — Новое наблюдение заменяет самое старое из последних (*n*+1) наблюдений.

Примечание 3 — Недостатком карты является отсутствие весовых коэффициентов при вычислении среднего арифметического, учитывающих состав используемых *n* точек.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.14]

3.8 **контрольная карта скользящих размахов** (moving range control chart): Карта контроля по количественному признаку, предназначенная для оценки изменчивости процесса по размаху *n* последовательных наблюдений.

Примечание — Новое наблюдение заменяет самое старое из (*n*+1) последних наблюдений.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.20]

3.9 ***z*-карта** (*z*-chart): Карта контроля по количественному признаку, предназначенная для оценки процесса на основе подгрупп со стандартизованной нормальной переменной.

3.10 **групповая контрольная карта средних** (group control chart for averages): Карта контроля по количественному признаку, предназначенная для оценки уровня процесса на основе наибольших и наименьших средних в подгруппах (имеющих различные источники), с указанием соответствующих обозначений входных данных.

3.11 **групповая контрольная карта размахов** (group control chart for ranges): Карта контроля по количественному признаку, предназначенная для оценки изменчивости процесса на основе наибольших размахов в подгруппах (имеющих различные источники), с указанием соответствующих обозначений входных данных.

3.12 **контрольная карта экстремальных значений** (high — low control chart): Карта контроля по количественному признаку, предназначенная для оценки уровня процесса на основе наибольших и наименьших значений в подгруппах.

3.13 **контрольная карта с трендом** (trend control chart): Контрольная карта, предназначенная для оценки уровня процесса на основе отклонений средних арифметических по подгруппам от ожидаемого изменения уровня процесса.

Примечание 1 — Тренд может быть определен экспериментально или с помощью регрессионного анализа.

Примечание 2 — Тренд — это тенденция роста или снижения центральной линии процесса после исключения случайной изменчивости и циклических воздействий, если наблюдаемые значения представлены на графике в порядке, соответствующем моментам времени наблюдений.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.17]

3.14 **контрольная карта коэффициента вариации** (control chart for coefficient of variation): Карта контроля по количественному признаку, предназначенная для оценки изменчивости процесса по коэффициентам вариации в подгруппах.

3.15 **контрольная карта долей или процента; *p*-карта** (*p* chart, proportion or percent categorized units control chart): Карта контроля по альтернативному признаку для контроля числа единиц продукции данного класса по отношению к общему числу единиц продукции в выборке, выраженному в виде пропорции или процента.

Примечание 1 — В области качества классом обычно является класс «несоответствующих единиц продукции».

Примечание 2 — Как правило, *p*-карты применяют в тех случаях, когда объем выборки является непостоянным.

Примечание 3 — Наносимые на карту данные могут быть долями или процентами.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.11]

3.16 **стандартизованная *p*-карта** (standardized *p*-chart): Карта контроля по альтернативному признаку, где доля единиц продукции данного класса представляет собой случайную величину, подчиняющуюся стандартному нормальному распределению.

Примечание — На этой карте центральная линия — нулевая, верхняя контрольная граница равна +3, а нижняя контрольная граница равна –3.

3.17 **контрольная карта баллов качества** (demerit control chart, quality score chart): Контрольная карта многомерной характеристики, предназначенная для оценки уровня процесса на основе присвоения весовых коэффициентов событиям в зависимости от их значимости.

[ISO 3534-2:2006, 2.3.23]

3.18 **контрольная карта контроля с помощью калибра** (control chart for inspection by gauging): Карта контроля по альтернативному признаку, когда контроль выполняют с помощью калибра и доступна информация о количестве единиц, превышающих верхний предел калибра (отклоненных проходным калибром) и лежащих ниже нижнего предела калибра (отклоненных непроходным калибром).

4 Обозначения и сокращения

4.1 Обозначения

В настоящем стандарте использованы следующие обозначения:

n — объем выборки (подгруппы);

k — количество подгрупп;

x — отдельное измеренное значение;

$\bar{x}_i$ — выборочное среднее i-й подгруппы;

$\bar{\bar{x}}$ — арифметическое среднее средних подгрупп;

μ — истинное среднее процесса;

σ — истинное стандартное отклонение процесса;

R — размах;

$\bar{R}$ — средний размах;

s — выборочное стандартное отклонение;

$\bar{s}$ — среднее арифметическое выборочных стандартных отклонений подгрупп;

p — доля или процент единиц продукции;
$\overline{p}$ — среднее арифметическое доли или процентов единиц продукции;
C_L — центральная линия;
U_{CL} — верхняя контрольная граница;
L_{CL} — нижняя контрольная граница;
$\overline{X}$ — среднее арифметическое переменной X, нанесенной на контрольную карту;
x_H — наибольшее наблюдение в подгруппе;
x_L — наименьшее наблюдение в подгруппе;
$\overline{x}_H$ — среднее арифметическое наибольших наблюдений в подгруппах;
$\overline{x}_L$ — среднее арифметическое наименьших наблюдений в подгруппах;
z — переменная, подчиняющаяся нормальному распределению с нулевым средним и единичным стандартным отклонением;
ν — коэффициент вариации;
$\overline{\nu}$ — среднее арифметическое значений коэффициента вариации.

4.2 Сокращения

В настоящем стандарте использованы следующие сокращения:
BPO — аутсорсинг бизнес-процессов;
CV — коэффициент вариации;
L_{GL} — нижний предел калибра;
U_{GL} — верхний предел калибра.

5 Специальные контрольные карты

Специальные карты контроля по количественному признаку включают следующие:
a) контрольные карты скользящего среднего и скользящего размаха;
b) z-карты;
c) групповые контрольные карты;
d) контрольные карты экстремальных значений;
e) контрольные карты с трендом;
f) контрольные карты коэффициента вариации;
g) контрольные карты ненормальных данных.
Специальные карты контроля по альтернативному признаку включают следующие:
a) стандартизованные p-карты;
b) контрольные карты баллов качества;
c) контрольные карты контроля с помощью калибра.

6 Контрольные карты скользящего среднего и скользящего размаха

В некоторых случаях для производства нового вида продукции требуется значительное время или испытания являются разрушающими. В результате неудобно часто отбирать выборку для накопления необходимого объема выборки (при $n > 1$). За это время среднее процесса или его дисперсия могут измениться, и это может привести к некоторым заметным потерям. В таких случаях для мониторинга процесса используют подгруппы, каждая из которых состоит из отдельных наблюдений.

В такой ситуации предложено использовать карты скользящего среднего и скользящего размаха вместо контрольных карт Шухарта. Скользящие средние для k подгрупп (каждая объема 1) формируют следующим образом. Первоначально значения характеристик первых k подгрупп усредняют. Затем (на втором этапе) значение характеристики первой подгруппы отбрасывают в пользу значения характеристики (k + 1)-й подгруппы и получают значение скользящего среднего. Затем отбрасывают значение характеристики второй подгруппы, но включают значение характеристики (k+2)-й подгруппы, эти значения усредняют, и так далее. Аналогичным образом получают скользящие размахи. Интенсивность производства помогает определить количество подгрупп, которые следует использовать одновременно для определения скользящего среднего и скользящего размаха. При этом, чем меньше величина сдвига среднего и вариации процесса, которые необходимо обнаружить, тем больше должно быть значение k.

6.1 Контрольные границы

6.1.1 Карта скользящего размаха

$C_L = \overline{R}$,

$U_{CL} = D_4\overline{R}$,

$L_{CL} = D_3\overline{R}$.

6.1.2 Карта скользящего среднего

$C_L = \overline{\overline{x}}$,

$U_{CL} = \overline{\overline{x}} + A_2\overline{R}$,

$L_{CL} = \overline{\overline{x}} - A_2\overline{R}$,

где $\overline{R}$ — усредненный размах. Значения A_2, D_3 и D_4 приведены в приложении А для различных объемов выборки (n) = k.

6.2 Интерпретация

В отличие от контрольных карт Шухарта последовательные значения скользящего среднего и скользящего размаха не являются независимыми. Следовательно, на контрольной карте скользящего среднего и скользящего размаха серии точек с любой стороны от центральной линии не могут быть интерпретированы так же, как на контрольной карте Шухарта. Однако точка за пределами контрольных границ здесь имеет тот же смысл, что и в случае контрольной карты Шухарта. Циклический участок и/или наличие тенденции к увеличению или уменьшению на карте скользящего размаха указывают на возможность улучшения. Однако специальные причины вариаций на картах скользящего среднего и картах скользящего размаха могут быть различными.

6.3 Преимущества

В некоторых ситуациях контрольные карты скользящего среднего и скользящего размаха являются более эффективными. Они дают сигнал предупреждения раньше, чем при использовании обычных карт ($\overline{X}$, R). Нет необходимости ждать, пока будет набрана вся новая выборка. Это может быть важно, если объект либо дорогой, либо объем производства не велик.

6.4 Особенности применения

Последовательные точки не являются независимыми. Поскольку вероятность получения серий на контрольных картах скользящего среднего или скользящего размаха намного выше по сравнению с контрольными картами Шухарта, традиционная интерпретация серий на этих контрольных картах не допустима.

6.5 Пример

Заводную головку на корпусе часов используют для настройки времени. Штифт заводной головки вставляется через отверстие в корпусе часов. Диаметр отверстия должен удовлетворять требованию 0,005 ± 0,001 мм. В таблице 1 приведены данные изготовления, в процессе которого выполняют операцию сверления корпуса, чтобы штифт заводной головки поместился в корпус часов. Принято решение об использовании контрольных карт скользящего среднего и скользящего размаха путем усреднения значений диаметра отверстия из трех последовательных подгрупп.

Таблица 1 — Данные подгрупп при определении диаметра отверстия для штифта головки

Номер подгруппы	Диаметр отверстия	Сумма трех последовательных скользящих наблюдений	Скользящее среднее	Скользящий размах	Примечания
1	0,003				
2	0,005				
3	0,001	0,009	0,0030	0,004	
4	0,003	0,009	0,0030	0,004	
5	0,002	0,006	0,0020	0,002	

Окончание таблицы 1

Номер подгруппы	Диаметр отверстия	Сумма трех последовательных скользящих наблюдений	Скользящее среднее	Скользящий размах	Примечания
6	0,005	0,010	0,0033	0,003	
7	0,006	0,013	0,0043	0,004	Пересменка
8	0,003	0,014	0,0047	0,003	
9	0,004	0,013	0,0043	0,003	
10	0,005	0,012	0,0040	0,002	
11	0,005	0,014	0,0047	0,001	
12	0,006	0,016	0,0053	0,001	
13	0,001	0,012	0,0040	0,005	
14	0,002	0,009	0,0030	0,005	Инструмент изменен
15	0,007	0,010	0,0033	0,006	
16	0,001	0,010	0,0033	0,006	
17	0,003	0,011	0,0037	0,006	
18	0,004	0,008	0,0027	0,003	
19	0,003	0,010	0,0033	0,001	
20	0,001	0,008	0,0027	0,003	
21	0,006	0,010	0,0033	0,005	
22	0,005	0,012	0,0040	0,005	
23	0,004	0,015	0,0050	0,002	
24	0,002	0,011	0,0037	0,003	
25	0,001	0,007	0,0023	0,003	
Сумма			**0,0829**	**0,080**	

6.5.1 Контрольные границы контрольной карты скользящего размаха

$$C_L = \overline{R} = \frac{0,080}{23} = 0,0035,$$

$$U_{CL} = D_4\overline{R} = 2,575 \cdot 0,0035 = 0,0090,$$

$$L_{CL} = D_3\overline{R} = 0 \cdot 0,0035 = 0.$$

Приведенные выше значения D_3 и D_4 взяты из приложения А для n = 3. Поскольку все значения размаха меньше U_{CL}, для вычисления контрольных границ контрольной карты скользящего среднего значение усредненного размаха принято равным 0,0035.

6.5.2 Контрольные границы контрольной карты скользящего среднего

$$C_L = \overline{\overline{x}} = \frac{0,0829}{23} = 0,0036,$$

$$U_{CL} = \overline{\overline{x}} + A_2\overline{R} = 0,0036 + 1,023 \cdot 0,0035 = 0,0072,$$

$$L_{CL} = \overline{\overline{x}} - A_2\overline{R} = 0,0036 - 1,023 \cdot 0,0035 = 0.$$

В соответствии с приложением А для A_2 принято значение 1,023 для n = 3. Контрольная карта приведена на рисунке 1.

6.5.3 Интерпретация

По карте видно, что процесс находится в статистически управляемом (стабильном) состоянии.

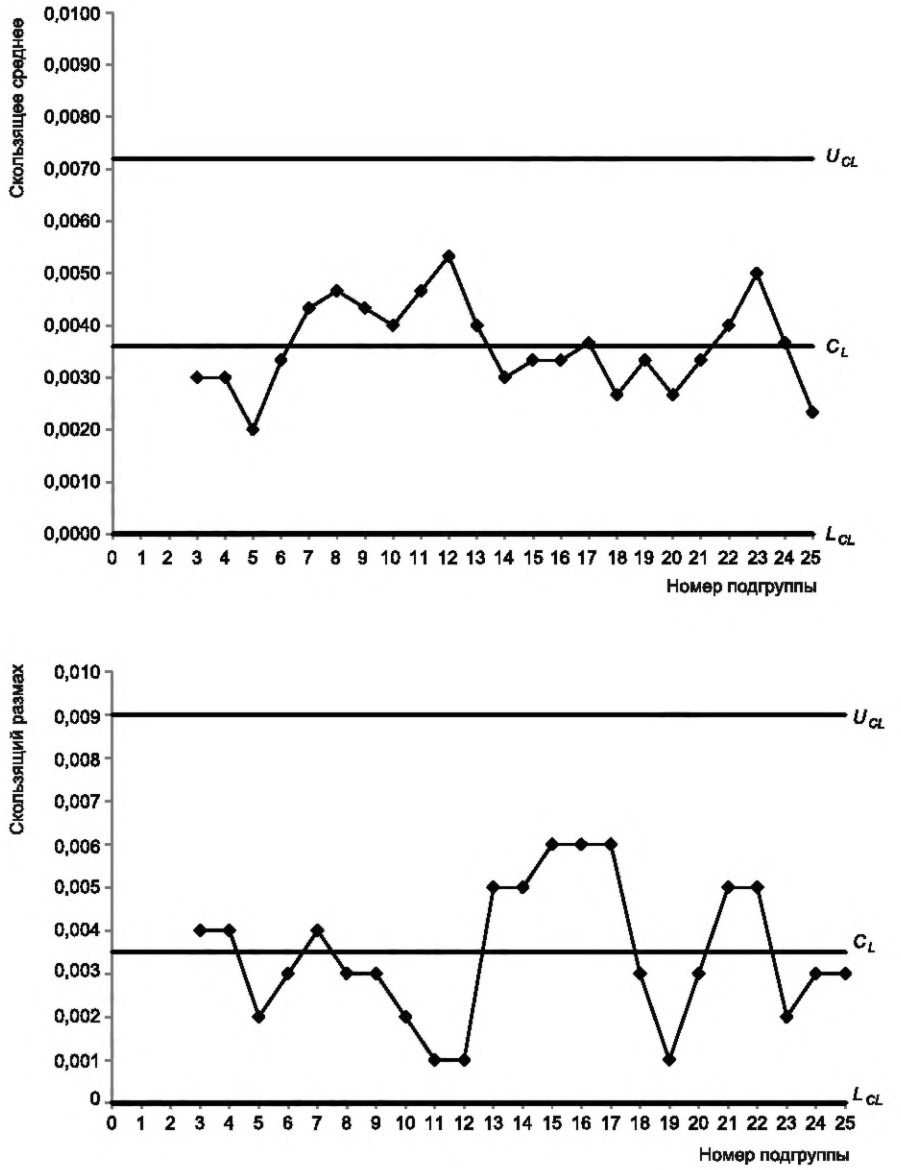


Рисунок 1 — Контрольные карты скользящего среднего и скользящего размаха

7 *z*-карта

Существуют ситуации, когда необходимо контролировать процессы с большим разнообразием продукции с различными техническими требованиями (ТУ), изготавливаемой небольшими производственными партиями и с различными объемами выборок. При наличии существенных различий в разбросе характеристик этой продукции использование отклонения от целевого показателя процесса становится проблематичным. Также возможны ситуации, когда у процесса не постоянное, а изменяющееся во времени целевое значение.

В таких случаях обычно используемые карты, такие как ($\overline{X}$, R) или ($\overline{X}$, s), не обеспечивают основу для правильной интерпретации контрольной карты и правильного принятия решений. Подходящей в этом случае картой, позволяющей увидеть закономерности и принять решение, является z-карта. Принцип построения карты состоит в стандартизации данных, обеспечивающей компенсацию различных параметров продукции относительно среднего и разброса процесса, и трансформацию каждой точки в стандартную нормальную переменную с помощью преобразования $z = (x - \mu)/\sigma$ при условии, что среднее значение стандартного отклонения известно (на тот момент). Если процесс находится в статистически управляемом состоянии (стабилен), то стандартизованные нормальные значения изменяются в диапазоне от +3 до –3. Такие карты называют z-картами.

7.1 Контрольные границы

$C_L = 0$,
$U_{CL} = +3$,
$L_{CL} = -3$.

7.2 Преимущества

Преимуществом *z*-карты является простота расчетов, интерпретации, и, что наиболее важно, *z*-карта способствует обычной интерпретации контрольных карт Шухарта для управления процессами и принятия решений.

7.3 Особенности применения

При отсутствии предыдущих данных эту карту трудно применять, поскольку для оценки изменчивости необходимы ранее полученные данные.

7.4 Пример

Графитовые стержни, используемые при производстве стали, обжигают в печах. В разные моменты времени (подгруппы) температура внутри печи различна. Целевые значения температуры и оценки присущего стандартного отклонения температуры в печи в разное время приведены в таблице 2. Рассчитанные стандартные значения нормальной переменной (z) для различных подгрупп приведены в таблице 2. Затем определяют, где находятся эти значения (между +3 и –3). Если они выше (+3) или ниже (–3), то это неконтролируемая ситуация. Контрольная карта приведена на рисунке 2.

8 Групповая контрольная карта

В промышленном производстве может сложиться ситуация, при которой данные для контроля качества поступают из нескольких источников, например с многошпиндельного станка с одной и той же стандартной производительностью шпинделей, или от нескольких рабочих, или с нескольких машин. В таких случаях, если при отборе образца не предприняты специальные меры, инженеру по качеству трудно выявить причину проблемы, когда контрольная карта показывает отсутствие управляемости. Одним из очевидных решений является ведение отдельной карты для каждого возможного источника вариаций, что довольно нерационально и отнимает много времени. Решение этой проблемы обеспечивает имеющая широкое применение групповая контрольная карта, впервые разработанная с целью контроля размеров продукции многошпиндельного автомата.

Групповые контрольные карты применимы только тогда, когда есть достаточно оснований предполагать, что средние каждого источника данных, а также дисперсии каждого источника одинаковы. Вместо использования пары карт среднего и размаха для каждого возможного источника изменчивости (например, машины или рабочего) применяют только одну пару карт среднего и размаха. На карте среднего отображают самые высокие и самые низкие средние значения вместе с идентификаторами источников (такими, как серийный номер шпинделей/станков/рабочих), а на карте размаха отображают наибольший размах. На карте среднего самые высокие, а также и самые низкие значения соединяют линией, чтобы избежать путаницы. Основная идея заключается в том, что если соответствующее определенному образцу наибольшее значение находится ниже верхней контрольной границы (U_{CL}), то остальные тоже обязательно являются такими. Аналогично если наименьшее значение не выходит за нижнюю контрольную границу (L_{CL}), то другие значения обязательно являются такими же. Идентификационный номер, соответствующий самому высокому значению за пределами U_{CL}, или самому низкому значению, ниже L_{CL}, сразу указывает источник проблем. Следует обращать внимание на конкретный идентификационный номер, который часто появляется среди высоких значений или среди низких значений. Если высокие и низкие значения вместе демонстрируют циклическую закономерность для одного и того же идентификационного номера, это требует особого внимания и анализа.

Таблица 2 — Данные подгрупп по температуре боковой поверхности печи

Номер подгруппы	Время (ч)	Целевое значение (μ)	Стандартное отклонение по прошлым данным (σ)	Наблюдаемое значение (x)	$z = \frac{(x - \mu)}{\sigma}$	Примечание
1	2	205	2,12	200	−2,36	
2	4	210	7,07	200	−1,41	
3	6	210	8,48	210	0,00	
4	8	220	6,36	215	−0,79	
5	10	220	7,07	215	−0,71	
6	12	230	7,07	220	−1,41	
7	14	230	6,36	225	−0,79	
8	16	230	17,68	240	0,57	
9	18	240	11,31	245	0,44	
10	20	240	10,61	260	1,89	
11	22	240	7,07	265	3,54	Неисправность системы нагрева
12	24	240	3,53	245	1,42	
13	26	240	5,53	255	2,71	
14	28	250	8,08	260	1,24	
15	30	250	12,65	270	1,58	
16	32	250	13,62	285	2,57	
17	34	260	10,5	285	2,38	
18	36	260	10,07	285	2,48	
19	38	270	8,48	285	1,77	
20	40	270	6,36	285	2,36	
21	42	270	7,07	285	2,12	
22	44	270	7,07	285	2,12	
23	46	280	6,36	300	3,14	
24	48	280	7,67	300	2,61	
25	50	320	4,95	330	2,02	
26	52	380	4,95	350	−6,06	
27	54	460	5,15	430	−5,83	
28	56	480	6,7	460	−2,99	
29	58	550	8,1	530	−2,47	
30	60	550	5,1	545	−0,98	
31	62	550	4,8	555	1,04	
32	64	550	5,25	550	0,00	
33	66	550	4,5	545	−1,11	
34	68	550	6,02	540	−1,66	
35	70	550	8,07	530	−2,48	
36	72	460	7,8	450	−1,28	
37	74	340	10,2	350	0,98	
38	76	300	8,76	310	1,14	

Примечание — Такие события, как изменение сырья, смены, оператора и т. п., могут быть записаны в разделе «Примечания», чтобы облегчить прослеживаемость специальной причины вариаций на этом этапе.

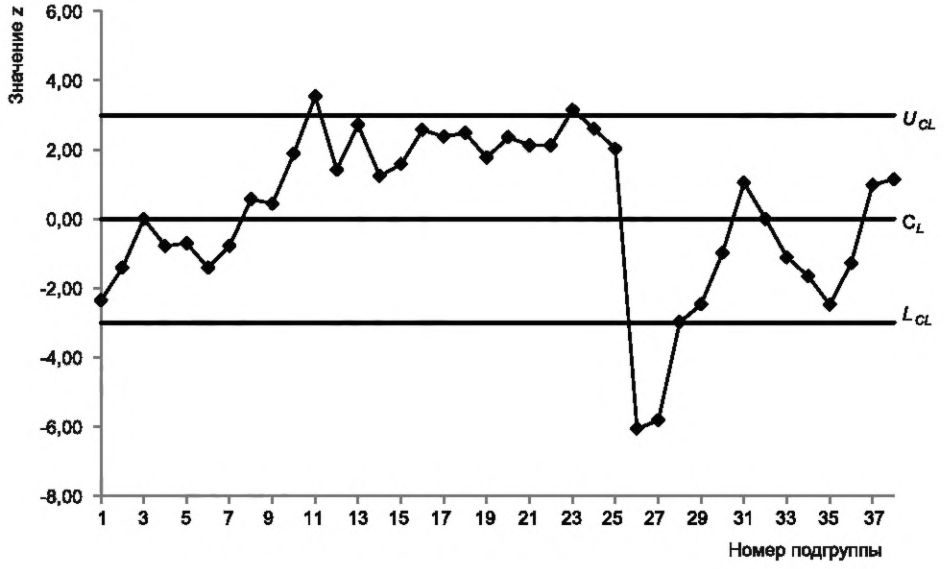


Рисунок 2 — z-карта

8.1 Контрольные границы

8.1.1 Групповая контрольная карта размаха

$C_L = \overline{R}$,

$U_{CL} = D_4\overline{R}$,

$L_{CL} = D_3\overline{R}$.

8.1.2 Групповая контрольная карта средних

$$C_L = \overline{\overline{x}} = \sum_{i=1}^{k} \overline{x}_i,$$

$$U_{CL} = \overline{\overline{x}} + A_2\overline{R},$$

$$L_{CL} = \overline{\overline{x}} - A_2\overline{R}.$$

Значения коэффициентов A_2, D_3 и D_4 приведены в приложении А для различных объемов выборки.

8.2 Преимущества

Преимущества заключаются в следующем:

a) карта требует меньше работы при построении графика;

b) компактное представление всей информации от группы машин на одной карте облегчает интерпретацию;

c) легче выяснить, дает ли конкретный источник стабильно высокие или низкие значения на карте среднего или размаха. Если между источниками нет реального различия, то в долгосрочной перспективе цифры, соответствующие различным источникам, будут появляться на картах почти одинаково часто.

8.3 Особенности применения

Особенностями применения карты являются следующие:

a) групповые контрольные карты требуют наличия нескольких источников, которые дают примерно равное количество подгрупп примерно с одинаковой интенсивностью, например, разные шпиндели на одном автоматическом станке, несколько идентичных станков или несколько операторов, каждый из которых выполняет одну и ту же операцию. Между средними значениями или дисперсиями различных подгрупп возможна согласованность, которая может быть устойчивой. Например, если на одном и том же задании задействовано 10 машин, но две из них имеют разные технологические возможности,

групповая контрольная карта не может быть применена ко всем 10 машинам, она не должна охватывать эти две машины. Две машины, которым соответствуют различные технологические возможности, следует контролировать отдельно;

b) для интерпретации необходимы опыт и навык;

c) общепринятая интерпретация серий точек выше и ниже центральной линии не применима.

8.4 Пример

В таблице 3 приведены два измерения диаметров двух деталей, изготовленных на каждом из шести шпинделей автоматического винтонарезного станка. Приведенные значения указаны в единицах 0,001 мм превышения 12 мм. Самые высокие (H) и самые низкие (L) средние значения указаны в таблице 3 соответственно. Самые высокие размахи также обозначены буквой H в таблице 3. Принято решение построить групповую контрольную карту.

8.4.1 Контрольные границы групповой контрольной карты размаха

$$C_L = \overline{R} = \frac{35}{36} = 0{,}97 \text{ мкм} = 0{,}00097 \text{ мм},$$

$$U_{CL} = D_4\overline{R} = 3{,}267 \cdot 0{,}97 = 3{,}17 \text{ мкм} = 0{,}00317 \text{ мм},$$

$$L_{CL} = D_3\overline{R} = 0 \cdot 0{,}97 = 0 \text{ мкм}.$$

Значения D_3 и D_4 для объема выборки (n) = 2 в соответствии с приложением A равны 0 и 3,267 соответственно. Поскольку все значения размаха меньше U_{CL}, размахи являются однородными. Таким образом, средний размах может быть использован для вычисления контрольных границ групповой контрольной карты среднего.

8.4.2 Контрольные границы групповой контрольной карты среднего

$$C_L = \overline{\overline{x}} = \frac{195{,}5}{36} = 5{,}43 \text{ мкм} = 0{,}00543 \text{ мм},$$

$$U_{CL} = \overline{\overline{x}} + A_2\overline{R} = 5{,}43 + 1{,}88 \cdot 0{,}97 = 7{,}25 \text{ мкм} = 0{,}00725 \text{ мм},$$

$$L_{CL} = \overline{\overline{x}} - A_2\overline{R} = 5{,}43 - 1{,}88 \cdot 0{,}97 = 3{,}61 \text{ мкм} = 0{,}00361 \text{ мм}.$$

Значение A_2 в соответствии с приложением A для выборки объема 2 составляет 1,880.

Поскольку значения превышают 12 мм, фактические контрольные границы для групповой контрольной карты среднего составляют:

C_L = 12,0054 мм,

U_{CL} = 12,0072 мм,

L_{CL} = 12,0036 мм.

Таблица 3 — Результаты измерений диаметра в подгруппах (мкм более 12 мм)

Номер подгруппы	Номер шпинделя	Диаметр		Среднее $\overline{x}$		Размах R		Примечание
		деталь 1	деталь 2					
1	1	6	7	6,5	H	1		
	2	4	6	5,0		2	H	
	3	6	4	5,0		2	H	
	4	5	4	4,5	L	1		
	5	6	5	5,5		1		
	6	4	5	4,5	L	1		
2	1	6	6	6,0	H	0		
	2	6	6	6,0	H	0		
	3	5	6	5,5		1		
	4	5	5	5,0	L	0		
	5	5	6	5,5		1		
	6	7	5	6,0	H	2	H	

Окончание таблицы 3

Номер подгруппы	Номер шпинделя	Диаметр		Среднее $\overline{x}$		Размах R		Примечание
		деталь 1	деталь 2					
3	1	5	6	5,5		1	H	
	2	6	6	6,0	H	0		
	3	5	5	5,0	L	0		
	4	6	5	5,5		1	H	
	5	5	5	5,0	L	0		
	6	6	6	6,0	H	0		
4	1	5	6	5,5		1		
	2	6	5	5,5		1		
	3	5	5	5,0		0		
	4	4	4	4,0	L	0		
	5	5	7	6,0	H	2	H	
	6	6	4	5,0		2	H	
5	1	5	6	5,5		1		
	2	5	4	4,5	L	1		
	3	6	5	5,5		1		
	4	7	4	5,5		3	H	
	5	7	6	6,5	H	1		
	6	5	7	6,0		2		
6	1	5	5	5,0	L	0		
	2	6	5	5,5		1		
	3	4	7	5,5		3	H	
	4	7	6	6,5	H	1		
	5	5	5	5,0	L	0		
	6	6	5	5,5		1		
		Итого		**195,5**		**35**		

Групповые контрольные карты среднего и размаха показаны на рисунке 3. На групповой контрольной карте среднего показаны самые высокие и самые низкие значения с соответствующими указателями, идентифицирующими источник (номер шпинделя). Аналогично на групповой контрольной карте размаха нанесен наибольший размах с соответствующими указателями источника, идентифицирующими номер шпинделя.

8.4.3 Интерпретация

Нет свидетельств какой-либо неконтролируемой ситуации.

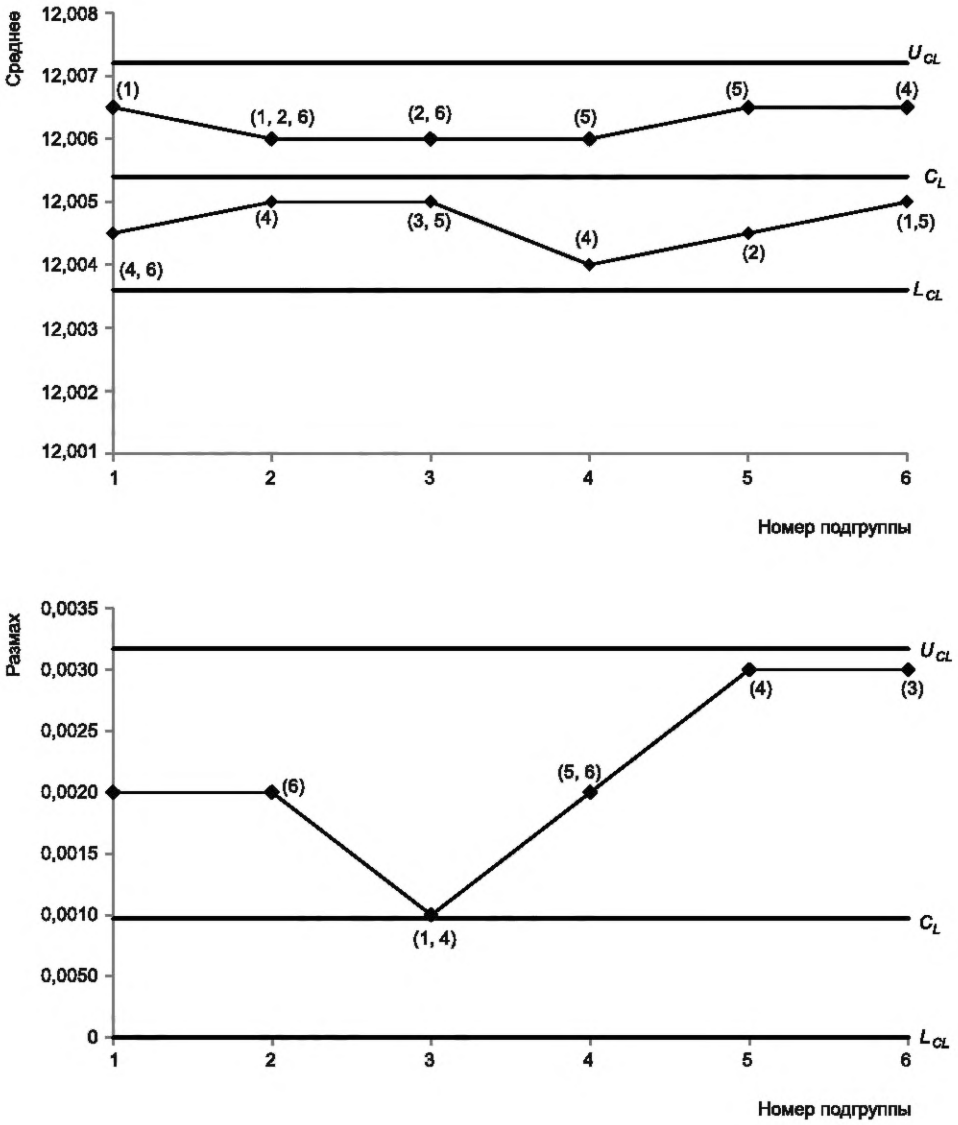


Рисунок 3 — Групповая контрольная карта средних и размахов

9 Контрольная карта экстремальных значений

Возможны ситуации, когда объем выборки велик, а последовательность производства невозможно отследить. Например, при производстве партиями (например, нанесение цинкового покрытия, термообработка при отжиге) последовательность производства трудно проследить. Кроме того, поскольку несколько партий смешивают, систематическая изменчивость становится неотъемлемой частью дальнейшей обработки. В таких ситуациях желательно использовать контрольную карту экстремальных (наибольших и наименьших) значений или контрольную карту «максимум-минимум», как ее часто называют, вместо обычной контрольной карты Шухарта.

9.1 Контрольные границы

9.1.1 Среднее и стандартное отклонение неизвестны

Если значения среднего и дисперсии процесса неизвестны из прошлых данных, их оценивают на основе собранных исходных данных, а контрольные границы вычисляют следующим образом:

$$C_L = \frac{(\bar{x}_H + \bar{x}_L)}{2} = \bar{M},$$

$$U_{CL} = \overline{M} + H_2\overline{R},$$

$L_{CL} = \overline{M} - H_2\overline{R}$,

где $\overline{R} = \overline{x}_H - \overline{x}_L$, x_H и x_L — наибольшие и наименьшие значения соответственно в каждой подгруппе, $\overline{x}_H$ и $\overline{x}_L$ — средние наибольших и наименьших значений соответственно по всем подгруппам. Значения H_2 приведены в приложении А.

9.1.2 Среднее и стандартное отклонение известны

Если значения среднего и стандартного отклонения процесса известны, μ и σ соответственно, то контрольные границы равны:

$C_L = \mu$,

$U_{CL} = \mu + H\sigma$,

$L_{CL} = \mu - H\sigma$.

Значения H приведены в приложении А.

9.2 Интерпретация

Несмотря на то, что, как правило, указывают верхнюю контрольную границу для x_H и нижнюю контрольную границу для x_L, можно определить верхнюю и нижнюю контрольные границы для x_H и x_L по формулам $\overline{x}_H \pm \left(H_2 - \frac{1}{2}\right)\overline{R}$ и $\overline{x}_L \pm \left(H_2 - \frac{1}{2}\right)\overline{R}$ соответственно. В таком случае сдвиг процесса выявлен, если как x_H, так и x_L находятся выше соответствующих верхней или нижней контрольных границ. С другой стороны, если x_H превышает соответствующую верхнюю контрольную границу, а x_L ниже соответствующей нижней контрольной границы, это является достаточным доказательством для вывода об увеличении изменчивости процесса.

Появление серии из шести или семи точек наибольших или наименьших значений ближе к центральной линии показывает улучшение процесса. Контрольные границы для последующего процесса могут быть последовательно изменены. Если существует одинаковый тренд как у x_H, так и у x_L, одновременное снижение или рост, то это указывает на сдвиг среднего. Аналогично все тенденции увеличения или уменьшения и циклические закономерности должны быть исследованы на наличие особых/специальных причин. Если точки x_H и x_L находятся очень близко к центральной линии, то либо метод отбора не подходит, либо данные являются недостоверными.

9.3 Преимущества

Данный вид карт чрезвычайно прост, так как для построения точек на контрольной карте не требуется никаких вычислений. Кроме того, в этом случае необходимо заполнять только одну карту вместо двух обычных карт, поскольку информация об уровне и дисперсии процесса представлена на одной карте.

Опыт показывает, что в большинстве условий контрольные карты экстремальных значений почти так же хороши, как карты ($\overline{X}$, R) для выявления отсутствия управляемости, и просты в интерпретации.

9.4 Особенности применения

Данный вид карт не очень полезен, если процесс неустойчив. Систематические изменения внутри партии могут остаться незамеченными.

9.5 Пример

Имеется 25 подгрупп болтов, изготовленных на токарном станке с револьверной головкой, отобранных через регулярные периоды производства и записанных в порядке изготовления. Каждая подгруппа имеет объем 5. В таблице 4 приведены наибольшие (x_H) и наименьшие (x_L) значения диаметра головки болта для всех 25 подгрупп в столбцах 2 и 3 соответственно. Контрольные границы для карты экстремальных значений рассчитывают следующим образом:

$$\overline{x}_H = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_{Hi}}{k} = \frac{99{,}59}{25} = 3{,}984,$$

$$\overline{x}_L = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_{Li}}{k} = \frac{98{,}98}{25} = 3{,}959,$$

$$\overline{R} = \overline{x}_H - \overline{x}_L = 3{,}984 - 3{,}959 = 0{,}025.$$

Контрольные границы составляют:

$$C_L = \frac{(\bar{x}_H + \bar{x}_L)}{2} = \frac{3{,}984 + 3{,}959}{2} = 3{,}972 = \bar{M},$$

$$U_{CL} = \bar{M} + H_2\bar{R} = 3{,}972 + 1{,}363 \cdot 0{,}025 = 4{,}006,$$

$$L_{CL} = \bar{M} - H_2\bar{R} = 3{,}972 - 1{,}363 \cdot 0{,}025 = 3{,}938.$$

Значение H_2 для объема выборки 5 в соответствии с приложением А составляет 1,363.

Данные таблицы 4 нанесены на контрольную карту экстремальных значений как для наибольших, так и для наименьших значений (см. рисунок 4).

Таблица 4 — Данные подгрупп по наибольшим и наименьшим значениям диаметра головки болта

Номер подгруппы	Наибольшее значение (x_H), мм	Наименьшее значение (x_L), мм	Примечание
1	4,00	3,96	
2	3,99	3,95	
3	3,99	3,97	
4	4,00	3,97	
5	3,99	3,97	
6	4,00	3,97	
7	3,98	3,96	
8	3,99	3,98	
9	4,00	3,98	
10	3,99	3,97	
11	4,00	3,98	
12	4,01	3,98	
13	3,98	3,97	
14	4,00	3,98	Изменение материала
15	3,98	3,97	
16	3,96	3,95	
17	3,96	3,94	
18	3,96	3,94	
19	3,98	3,93	
20	3,98	3,93	
21	3,97	3,94	Инструмент сломан и заменен
22	3,97	3,95	
23	3,97	3,94	
24	3,97	3,95	
25	3,97	3,95	
Итого	**99,59**	**98,98**	

Примечание — Такие события, как изменение сырья, смены, оператора и т. п., могут быть записаны в разделе «Примечания», чтобы облегчить прослеживаемость специальной причины вариаций на этом этапе.

9.5.1 Интерпретация

Данные строк 19 и 20 в таблице 4 указывают на увеличение изменчивости, связанной с состоянием инструмента. Среднее процесса непостоянно. Оно различно для более раннего периода (первые 7 строк), среднего периода (строки 8—15) и более позднего периода. Можно достичь стабильности, контролируя соответствующие независимые параметры процесса.

10 Контрольная карта с трендом

В некоторых отраслях промышленности в процессе производства уровень процесса систематически изменяется. Это связано, например, с износом инструмента в механическом цехе, падением давления при опорожнении резервуара и замедлением химических реакций по мере снижения концентрации химических веществ в партии с течением времени. В случае износа инструмента желательно отрегулировать или повторно заточить инструмент, чтобы избежать изготовления несоответствующей продукции. С другой стороны, может оказаться нецелесообразным чрезмерно часто прерывать производство для замены, повторной заточки или настройки инструмента. Целью является экономия совокупных затрат, связанных с продукцией и заменой, повторной заточкой или регулировкой инструмента.

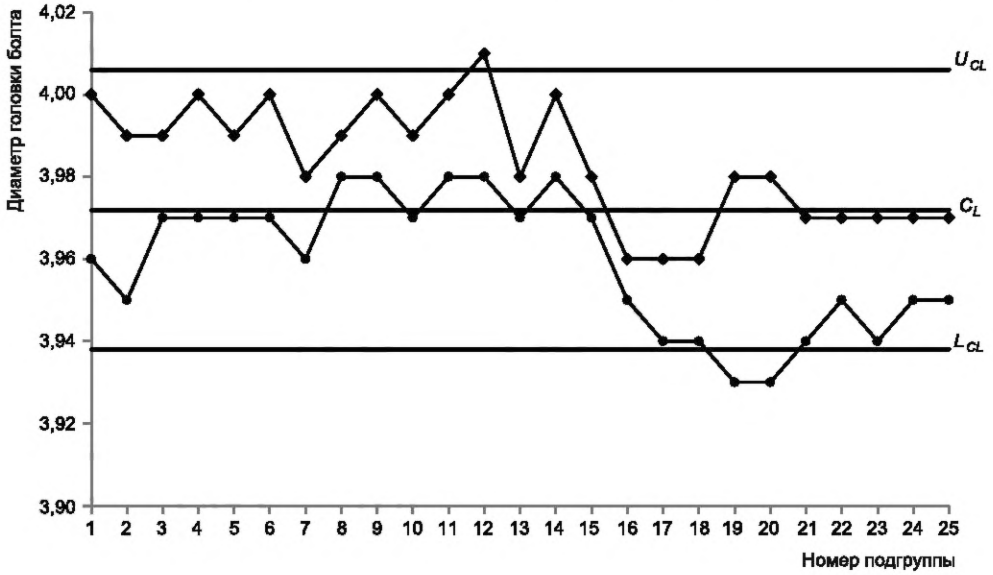


Рисунок 4 — Контрольная карта экстремальных значений

Для экономического контроля процесса недостаточно контрольных карт Шухарта ($\overline{X} - R$), потому что вариации в процессе происходят не только из-за одних случайных, но и из-за специальных причин вариаций, как обсуждалось выше. В этом случае полезна контрольная карта с трендом. Для такой карты выборки собирают таким образом, чтобы уровень процесса между двумя последовательными подгруппами оставался более или менее постоянным; и отдельные единицы в подгруппе были последовательными единицами продукции из производства, так чтобы тренд оказывал минимальное влияние на размах внутри подгруппы.

10.1 Контрольные границы

10.1.1 Контрольные границы карты размаха

$C_L = \overline{R}$,

$U_{CL} = D_4\overline{R}$,

$L_{CL} = D_3\overline{R}$,

где $\overline{R}$ — среднее усредненных размахов.

10.1.2 Контрольные границы карты среднего

Выборочное среднее k-й подгруппы ($\overline{x}_k$) можно представить как $\overline{x}_k = a + bk$, где a и b являются константами, их определяют следующим образом:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{k}(\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})(i - \bar{k})}{\sum_{i=1}^{k}(i - \bar{k})^2} = \frac{12\sum_{i=1}^{k}\bar{x}_i(i - \bar{k})}{k(k^2 - 1)},$$

$$a = \bar{\bar{x}} - b\bar{k}.$$

Контрольные границы среднего имеют вид:

$C_L = a + bk$,

$U_{CL} = a + bk + A_2\bar{R}$,

$L_{CL} = a + bk - A_2\bar{R}$.

Значения A_2, D_3 и D_4 приведены в приложении А для различных объемов выборки.

10.2 Преимущества

Контрольная карта минимизирует частоту регулировок процесса, что приводит к соответствующему снижению затрат. Кроме того, критерии для сигналов выхода процесса из-под контроля такие же, как и для контрольной карты Шухарта.

10.3 Особенности применения

Контрольная карта с трендом:

a) полезна только тогда, когда воспроизводимость процесса очень высока;

b) применима только в том случае, если дальнейшая сборка не требуется;

c) менее эффективна, чем карта средних.

10.4 Пример

В таблице 5 приведены данные о толщине головки стартера, обработанной новыми инструментами, для 25 подгрупп (объем каждой выборки 5), отобранных через регулярные периоды производства и записанных в порядке изготовления. Среднее и размах для каждой подгруппы рассчитаны и также приведены в таблице 5. Принято решение использовать контрольную карту с трендом.

10.4.1 Контрольные границы карты размаха

$$C_L = \bar{R} = \frac{0{,}40}{25} = 0{,}016,$$

$U_{CL} = D_4\bar{R} = 2{,}115 \cdot 0{,}016 = 0{,}034$,

$L_{CL} = D_3\bar{R} = 0 \cdot 0{,}016 = 0$.

Все значения размаха меньше $D_4\bar{R}$. Следовательно, полученные выше значения дают контрольные границы карты.

10.4.2 Контрольные границы карты среднего

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^{25} x_i}{25} = \frac{49{,}440}{25} = 1{,}9776,$$

$$\bar{k} = \frac{k+1}{2} = \frac{25+1}{2} = 13.$$

$$b = \frac{12\sum_{i=1}^{k}\bar{x}_i(i - k)}{k(k^2 - 1)} = \frac{12 \cdot 1{,}534}{25(25^2 - 1)} = 0{,}00118,$$

$$a = \bar{\bar{x}} - b\bar{k} = 1{,}9776 - 0{,}00118 \cdot 13 = 1{,}9623.$$

$C_L = a + bk = 1{,}9623 + 0{,}00118k$,

$U_{CL} = a + bk + A_2\bar{R} = 1{,}9623 + 0{,}00118k + 0{,}577 \cdot 0{,}016 = 1{,}9715 + 0{,}00118k$,

$L_{CL} = a + bk - A_2\bar{R} = 1{,}9623 + 0{,}00118k - 0{,}577 \cdot 0{,}016 = 1{,}9530 + 0{,}00118k$.

Таблица 5 — Данные подгрупп по толщине головки стартера

Номер подгруппы (i)	Среднее ($\bar{x}_i$)	Размах, мм	$(i-\bar{k})$	$x_i(i-\bar{k})$	U_{CL}	L_{CL}	C_L	Примечание
1	1,962	0,03	−12	−23,544	1,9727	1,9542	1,9635	
2	1,964	0,00	−11	−21,604	1,9739	1,9554	1,9647	
3	1,960	0,03	−10	−19,600	1,9750	1,9565	1,9658	
4	1,966	0,02	−9	−17,694	1,9762	1,9577	1,9670	Изменение партии
5	1,968	0,03	−8	−15,744	1,9774	1,9589	1,9682	
6	1,968	0,02	−7	−13,776	1,9786	1,9601	1,9694	
7	1,970	0,01	−6	−11,820	1,9798	1,9613	1,9706	
8	1,974	0,02	−5	−9,870	1,9809	1,9624	1,9717	
9	1,972	0,00	−4	−7,888	1,9821	1,9636	1,9729	Пересменка
10	1,976	0,01	−3	−5,928	1,9833	1,9648	1,9741	
11	1,976	0,01	−2	−3,952	1,9845	1,9660	1,9753	
12	1,980	0,01	−1	−1,980	1,9857	1,9672	1,9765	
13	1,978	0,02	0	0,000	1,9868	1,9683	1,9776	Замена инструмента
14	1,982	0,03	1	1,982	1,9880	1,9695	1,9788	
15	1,984	0,01	2	3,968	1,9892	1,9707	1,9800	
16	1,980	0,03	3	5,940	1,9904	1,9719	1,9812	
17	1,984	0,02	4	7,936	1,9916	1,9731	1,9824	
18	1,986	0,00	5	9,930	1,9927	1,9742	1,9835	
19	1,986	0,03	6	11,916	1,9939	1,9754	1,9847	
20	1,988	0,00	7	13,916	1,9951	1,9766	1,9859	
21	1,988	0,01	8	15,904	1,9963	1,9778	1,9871	
22	1,990	0,02	9	17,910	1,9975	1,9790	1,9883	
23	1,992	0,01	10	19,920	1,9986	1,9801	1,9894	
24	1,980	0,02	11	21,780	1,9998	1,9813	1,9906	
25	1,986	0,01	12	23,832	2,0010	1,9825	1,9918	
Итого	**49,440**	**0,40**	**0**	**1,5340**				

Примечание — Такие события, как изменение сырья, смены, замена оператора и т. д., должны быть записаны в разделе «Примечания», это облегчает отслеживание специальных причин вариаций на этом этапе.

Данные, приведенные в таблице 5, нанесены на контрольную карту с трендом для среднего и размаха (см. рисунок 5).

10.4.3 Интерпретация

Изменчивость процесса находится под контролем, что видно по карте размаха. Среднее (карта с трендом) показывает высокую однородность, при этом большая часть точек группируется вокруг центральной линии. Полученный график и метод отбора проб должны быть исследованы на наличие скрытого систематического влияния, чтобы оценить возможности улучшения.

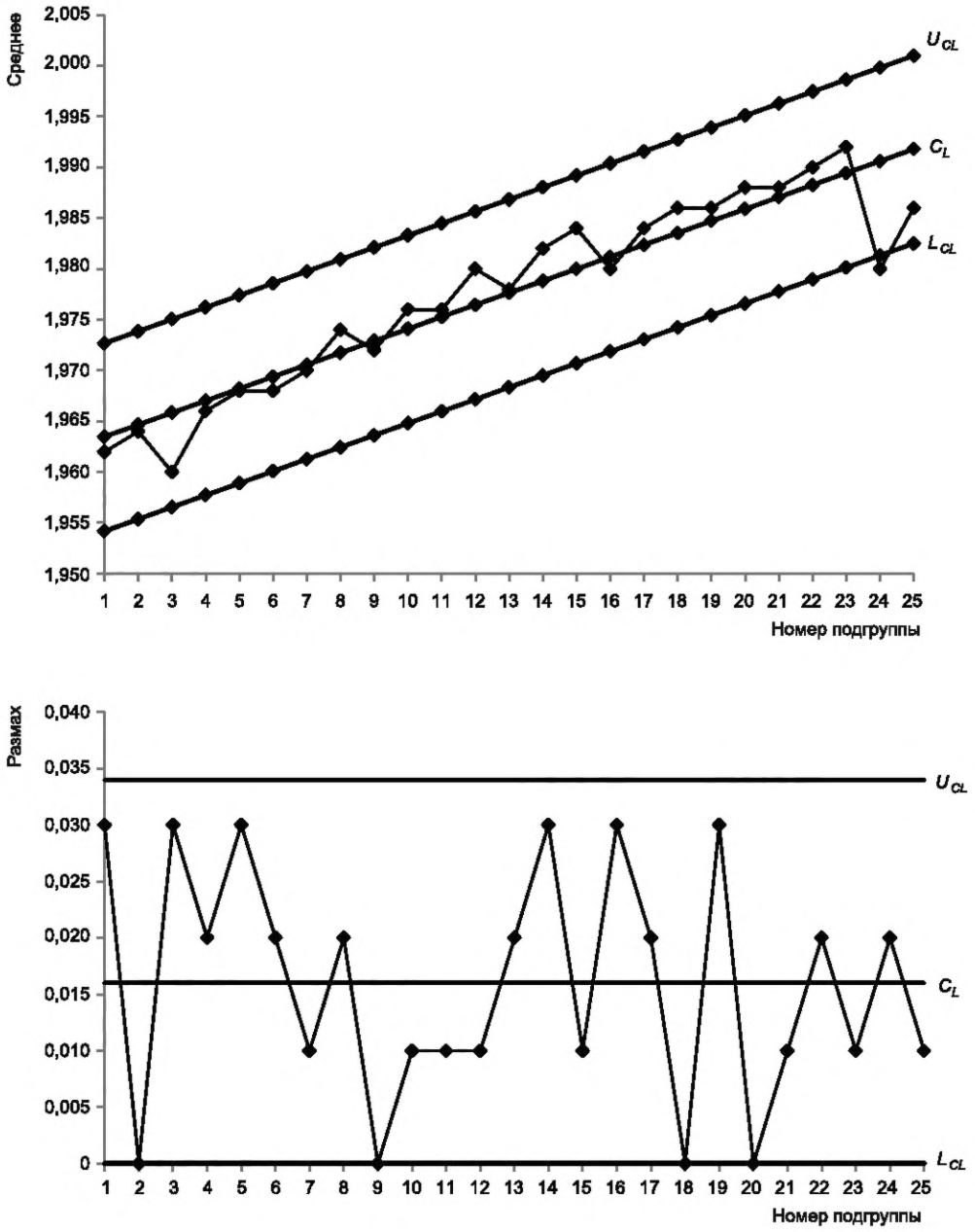


Рисунок 5 — Контрольная карта с трендом

11 Контрольная карта коэффициента вариации

Коэффициент вариации (v) может быть полезен для описания изменчивости в случаях, когда выборки отобраны из совокупности с различными средними и стандартными отклонениями, но их отношение (средних и стандартных отклонений) одинаково, например, при контроле прочности бетона. Фактически, средняя прочность на сжатие кубиков цементного раствора увеличивается со временем затвердевания, стандартное отклонение увеличивается в той же пропорции, при этом отношение остается практически постоянным. Другие примеры охватывают прочность кирпича к давлению, толщину джутового волокна на различных стадиях процесса (например, при вычесывании, вытягивании и т. д.).

Затем относительную изменчивость можно контролировать путем вычисления выборочных коэффициентов вариации и нанесения их на контрольную карту. Более высокие значения коэффициента вариации являются результатом либо высокой изменчивости, либо более низкого среднего значения,

либо и того, и другого вместе. Принято считать, что это свидетельствует о неудовлетворительном состоянии процесса. Соответствующие низкие значения коэффициента вариации считаются благоприятными. Поэтому на контрольных картах коэффициента вариации необходимо отмечать только появление производственной проблемы, вызывающей высокие значения выборочных коэффициентов вариации. Таким образом, в основном рассматривают верхнюю границу, например, на картах размаха или стандартного отклонения.

11.1 Контрольные границы

11.1.1 Среднее и дисперсия процесса неизвестны

$$C_L = \bar{\nu} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \nu_i}{k},$$

$$U_{CL} = B_4 \bar{\nu},$$

$$L_{CL} = B_3 \bar{\nu}.$$

Значения коэффициентов B_3 и B_4 приведены в приложении А для различных объемов выборки.

11.1.2 Среднее и дисперсия процесса известны

Если значения среднего процесса (μ) и стандартного отклонения процесса (σ) известны из прошлого опыта или записей, то:

$C_L = c_2\sigma/\mu$,
$U_{CL} = B_2\sigma/\mu$,
$L_{CL} = B_1\sigma/\mu$.

Значения коэффициентов c_2, B_1 и B_2 приведены в приложении А для различных объемов выборки.

11.2 Преимущества

Вместо двух карт заполняют только одну контрольную карту.

11.3 Особенности применения

Необходимо обращать внимание на то, чтобы снижение изменчивости не сопровождалось высоким значением среднего. Поскольку для конкретной продукции коэффициент вариации должен поддерживаться на желаемом уровне путем соответствия установленным значениям среднего и дисперсии, акцент только на коэффициент вариации иногда может вводить в заблуждение. В случае, если какое-либо значение коэффициента вариации выходит за контрольные границы на карте коэффициента вариации, прежде чем делать какие-либо выводы следует оценить вклад среднего и стандартного отклонения. Это также поможет определить корректирующие действия.

11.4 Пример

В джутовой промышленности равномерность линейной плотности пряди является важным критерием, который влияет на последующие операции прядения и ткачества. Поэтому желательно правильно управлять этим свойством. С целью применения контрольной карты коэффициента вариации ежедневно на последнем этапе собирают и взвешивают пять отрезков пряди длиной 10 м. Записи за 25 дней при определенной эталонной влажности приведены в таблице 6 вместе со средним и коэффициентом вариации (конкретный образец соответствует только одной машине в определенное время).

Таблица 6 — Данные веса образцов длиной 10 м в подгруппах

Номер подгруппы	Вес образца длиной 10 м (г) с установленным процентом влажности					Среднее	Стандартное отклонение	CV	Примечание
1	751	681	708	748	704	718,4	30,22	4,21	
2	808	794	839	887	811	827,8	36,90	4,46	
3	760	731	774	771	765	760,2	17,20	2,26	
4	794	794	777	774	811	790,0	14,98	1,90	
5	714	712	695	697	703	704,2	8,58	1,22	

Окончание таблицы 6

Номер подгруппы	Вес образца длиной 10 м (г) с установленным процентом влажности					Среднее	Стандартное отклонение	CV	Примечание
6	735	735	760	705	764	739,8	23,72	3,21	
7	730	735	780	715	705	733,0	28,85	3,94	
8	735	820	700	765	790	762,0	46,72	6,13	
9	740	745	705	765	715	734,0	24,08	3,28	
10	695	725	745	730	770	733,0	27,52	3,75	
11	645	640	685	660	657	657,4	17,50	2,66	
12	655	690	605	618	655	644,6	33,74	5,23	
13	662	682	655	705	670	674,8	19,64	2,91	
14	620	610	630	610	695	633,0	35,64	5,63	
15	760	710	740	690	745	729,0	28,37	3,89	
16	632	703	688	655	740	683,6	42,00	6,14	
17	720	700	681	777	792	734,0	48,41	6,60	
18	600	612	697	775	780	692,8	85,91	12,40	
19	717	690	753	686	681	705,4	30,04	4,26	Продукция изменена (соответственно скорректированы материал и влажность)
20	795	822	707	725	774	764,6	47,94	6,27	
21	605	715	764	655	660	679,8	61,10	8,99	
22	810	740	825	733	796	780,8	41,79	5,35	
23	650	600	693	651	666	652,0	33,86	5,19	
24	700	767	720	783	710	736,0	36,74	4,99	
25	665	640	700	653	704	672,4	28,47	4,23	
Итого								**119,10**	

Примечание — Такие события, как изменение сырья, смены, замена оператора и т. д., должны быть записаны в разделе «Примечания», это облегчает отслеживание специальных причин вариаций на этом этапе.

11.4.1 Контрольные границы

$$C_L = \overline{v} = \frac{\sum_{i=1}^{k} v_i}{k} = \frac{119{,}10}{25} = 4{,}76,$$

$$U_{CL} = B_4\overline{v} = 2{,}089 \cdot 4{,}76 = 9{,}94,$$

$$L_{CL} = B_3\overline{v} = 0 \cdot 4{,}76 = 0.$$

Значения B_3 и B_4 для объема выборки 5 в соответствии с приложением А равны 0 и 2,089 соответственно. Данные вместе с контрольными границами нанесены на контрольную карту коэффициента вариации (см. рисунок 6).

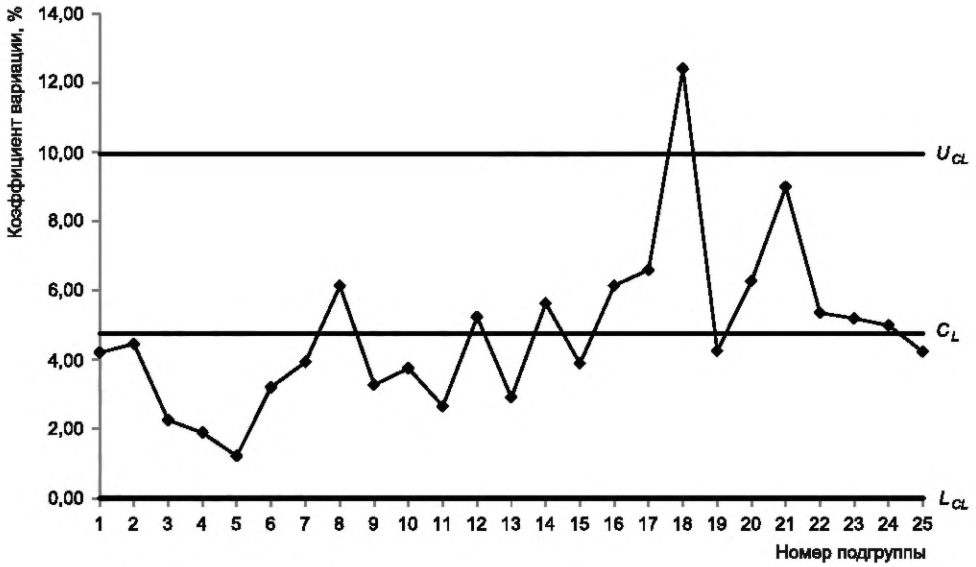


Рисунок 6 — Контрольная карта коэффициента вариации

11.4.2 Интерпретация

a) Имеется серия точек 1—7, указывающих на низкое выборочное среднее коэффициента вариации, это может быть обусловлено низкой вариацией или высоким средним процесса, или и тем и другим. Это необходимо исследовать.

b) Далее от точки 8 до точки 17 нет свидетельств какого-либо отсутствия управляемости процесса. В точке 18 процесс вышел из-под контроля либо из-за увеличения изменчивости, либо из-за снижения среднего, для устранения чего необходимо принять соответствующие меры.

12 Контрольная карта ненормальных данных

Фундаментальное предположение контрольных карт Шухарта состоит в том, что исследуемая характеристика качества подчиняется нормальному распределению. Чувствительность контрольных карт Шухарта уменьшается с увеличением отклонения распределения характеристики от нормального распределения. Существуют ситуации, когда распределение характеристик процесса не является нормальным, например сфера услуг (больницы, предприятия обрабатывающей промышленности и т.д.), специальные процессы (например, сварка), химические процессы и т. д.

Поэтому, прежде чем применять контрольные карты Шухарта, необходимо сначала проверить нормальность распределения данных, а если данные не соответствуют нормальному распределению, можно использовать следующие методы.

a) Использование больших подгрупп. В соответствии с центральной предельной теоремой при увеличении объема подгрупп распределение выборочных средних по подгруппам имеет тенденцию более точно соответствовать нормальному распределению.

b) Преобразование данных таким образом, чтобы преобразованные данные подчинялись нормальному распределению. Для этой цели можно использовать семейство преобразований Джонсона и/или преобразование Бокса-Кокса.

c) Если невозможно использовать большие подгруппы и/или трудно преобразовать данные, то с использованием соответствующей вероятностной бумаги или компьютерного программного обеспечения могут быть вычислены соответствующие процентили. Их также можно вычислить с использованием стандартизованных кривых Пирсона, требующих оценки коэффициентов асимметрии и эксцесса в дополнение к среднему и стандартному отклонениям. Более подробная информация приведена в ISO/TR 22514-4.

12.1 Контрольные границы

12.1.1 Контрольные границы карты размаха

$C_L = \overline{R}$,

$U_{CL} = D_4\overline{R}$,

$L_{CL} = D_3\overline{R}$.

12.1.2 Контрольные границы карты стандартных отклонений

$$C_L = \bar{s} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{k} s_i^2}{k}\right]^{1/2},$$

$U_{CL} = B_4\bar{s}$,

$L_{CL} = B_3\bar{s}$.

Значения коэффициентов D_3, D_4, B_3 и B_4 приведены в приложении А.

12.1.3 Контрольные границы карты среднего

12.1.3.1 Если выборочные средние соответствуют нормальному распределению и объем подгруппы составляет менее 10

$C_L = \bar{\bar{x}}$,

$U_{CL} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$,

$L_{CL} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$.

12.1.3.2 Если выборочные средние соответствуют нормальному распределению и объем подгруппы составляет 10 и более

$C_L = \bar{\bar{x}}$,

$U_{CL} = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{s}$,

$L_{CL} = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{s}$.

12.1.3.3 Если выборочные средние не соответствуют нормальному распределению

$$C_L = \bar{\bar{x}},$$

$$U_{CL} = \bar{\bar{x}} + \text{процентиль уровня } 99{,}865 \cdot s_{\text{средн}},$$

$$L_{CL} = \bar{\bar{x}} + \text{процентиль уровня } 0{,}135 \cdot s_{\text{средн}},$$

где $s_{\text{средн}}$ — стандартное отклонение выборочных средних подгрупп. Значения коэффициентов A_2, A_3, B_3, B_4 приведены в приложении А.

12.2 Пример

Данные о времени в минутах, затраченном на отправку образцов крови в лабораторию, приведены в таблице 7. Поскольку объем подгруппы равен 10, для контроля вариабельности используют карту стандартных отклонений. Проверка нормальности распределения с использованием нормальной вероятностной бумаги показала, что выборочные данные не подчиняются нормальному распределению. Однако выборочные средние по 28 подгруппам соответствуют нормальному распределению.

Таблица 7 — Данные времени (минуты), затраченного на доставку образцов в лабораторию по подгруппам

Номер подгруппы	Время (минуты), затраченное на единицу выборки										$\bar{x}_i$	s_i
1	0,12	0,06	0,06	0,19	0,14	0,04	0,14	0,04	0,09	0,10	0,098	0,050
2	0,06	0,12	0,16	0,17	0,20	0,19	0,16	0,17	0,06	0,14	0,143	0,049
3	0,15	0,14	0,07	0,13	0,17	0,08	0,16	0,13	0,16	0,15	0,134	0,034
4	0,14	0,13	0,17	0,19	0,13	0,10	0,21	0,08	0,17	0,18	0,150	0,041
5	0,17	0,10	0,10	0,18	0,18	0,17	0,15	0,20	0,18	0,16	0,159	0,034
6	0,08	0,16	0,16	0,17	0,17	0,11	0,11	0,15	0,14	0,17	0,142	0,032

Окончание таблицы 7

Номер подгруппы	Время (минуты), затраченное на единицу выборки										$\bar{x}_i$	s_i
7	0,14	0,19	0,15	0,16	0,14	0,17	0,16	0,16	0,16	0,07	0,150	0,032
8	0,18	0,09	0,06	0,13	0,13	0,08	0,14	0,07	0,10	0,11	0,109	0,037
9	0,08	0,08	0,13	0,10	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,082	0,020
10	0,08	0,06	0,05	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,08	0,09	0,076	0,013
11	0,08	0,09	0,08	0,09	0,12	0,08	0,08	0,06	0,08	0,09	0,085	0,015
12	0,10	0,08	0,10	0,07	0,14	0,12	0,12	0,08	0,10	0,11	0,102	0,021
13	0,09	0,10	0,10	0,09	0,11	0,10	0,08	0,08	0,09	0,10	0,094	0,010
14	0,09	0,08	0,18	0,11	0,08	0,10	0,10	0,13	0,12	0,12	0,111	0,030
15	0,08	0,08	0,08	0,15	0,16	0,19	0,19	0,16	0,13	0,09	0,131	0,045
16	0,11	0,06	0,07	0,14	0,11	0,18	0,15	0,09	0,13	0,14	0,118	0,037
17	0,13	0,17	0,12	0,14	0,13	0,16	0,08	0,16	0,12	0,11	0,132	0,027
18	0,09	0,13	0,07	0,12	0,11	0,07	0,12	0,16	0,07	0,16	0,110	0,035
19	0,12	0,13	0,15	0,22	0,17	0,17	0,14	0,17	0,12	0,16	0,155	0,030
20	0,07	0,14	0,19	0,11	0,18	0,09	0,08	0,08	0,09	0,11	0,114	0,042
21	0,08	0,14	0,13	0,05	0,06	0,07	0,05	0,14	0,12	0,11	0,095	0,037
22	0,10	0,07	0,09	0,14	0,13	0,11	0,10	0,05	0,08	0,06	0,093	0,029
23	0,05	0,09	0,07	0,13	0,07	0,05	0,08	0,08	0,10	0,07	0,079	0,024
24	0,05	0,08	0,05	0,06	0,03	0,07	0,09	0,10	0,05	0,07	0,065	0,021
25	0,06	0,09	0,06	0,08	0,07	0,08	0,05	0,04	0,08	0,08	0,069	0,016
26	0,07	0,08	0,08	0,05	0,08	0,08	0,05	0,07	0,05	0,10	0,071	0,017
27	0,07	0,04	0,06	0,05	0,06	0,08	0,05	0,07	0,07	0,05	0,060	0,012
28	0,04	0,07	0,09	0,05	0,07	0,08	0,07	0,05	0,06	0,14	0,072	0,028
										Итого	**2,999**	**0,818**

12.2.1 Контрольные границы

12.2.1.1 Контрольные границы карты стандартных отклонений

$$C_L = \bar{s} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{k} s_i^2}{k}\right]^{1/2} = \left(\frac{0{,}0273}{28}\right)^{1/2} = 0{,}0312,$$

$U_{CL} = 1{,}716 \cdot 0{,}0312 = 0{,}0535,$

$L_{CL} = 0{,}284 \cdot 0{,}0312 = 0{,}0089.$

Значения $B_3 = 0{,}0284$ и $B_4 = 1{,}716$ определены в соответствии с приложением А. Поскольку все значения стандартного отклонения находятся в пределах контрольных границ, $\bar{s}$ является усредненное значение стандартных отклонений.

12.2.1.2 Контрольные границы карты среднего

$$C_L = \bar{\bar{x}} = \frac{2{,}999}{28} = 0{,}1071,$$

$$U_{CL} = \overline{\overline{x}} + A_3\overline{s} = 0{,}107 + 0{,}975 \cdot 0{,}0312 = 0{,}1375,$$

$$L_{CL} = \overline{\overline{x}} - A_3\overline{s} = 0{,}107 - 0{,}975 \cdot 0{,}0312 = 0{,}0767.$$

Контрольные карты показаны на рисунке 7.

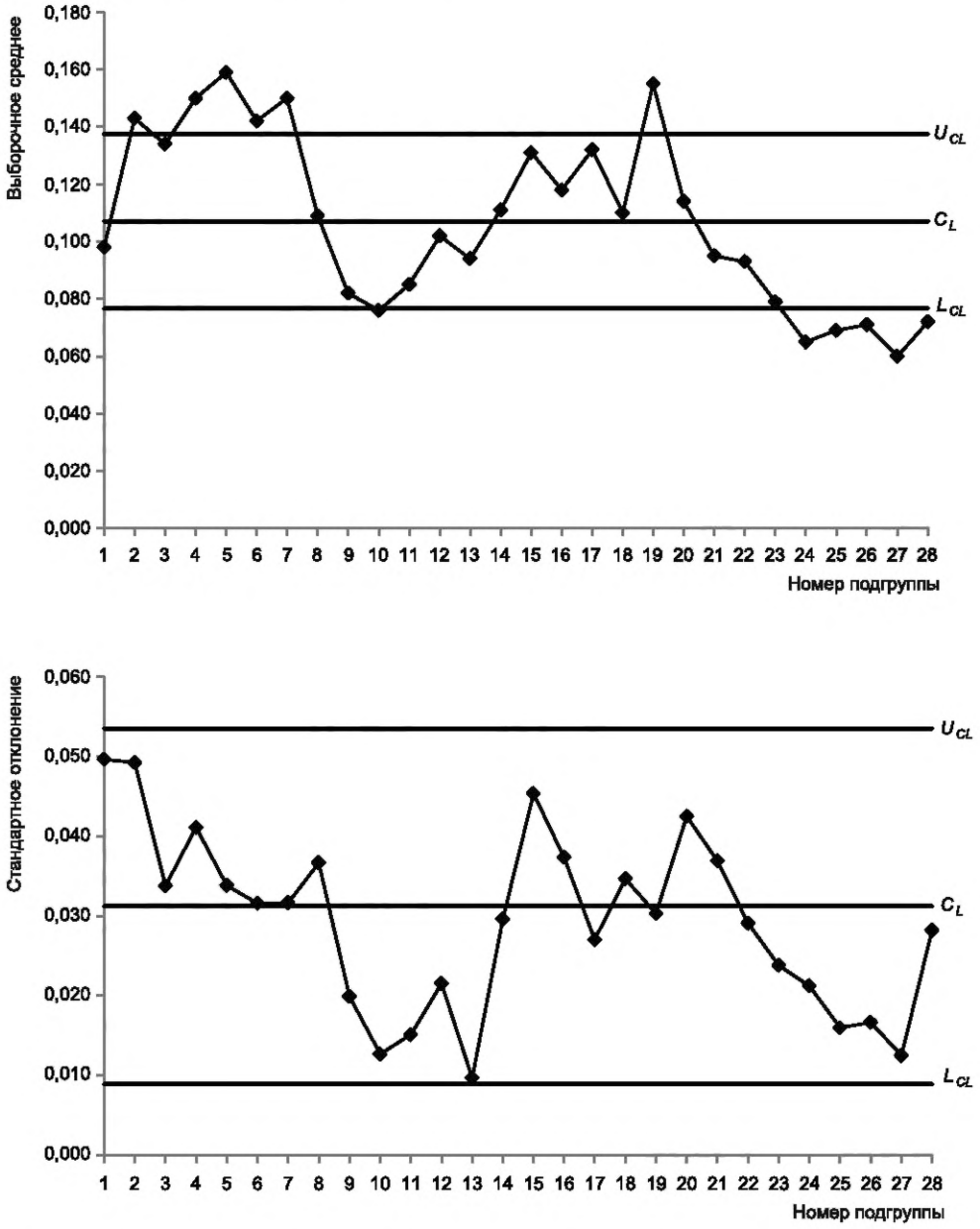


Рисунок 7 — Контрольные карты средних и стандартных отклонений в подгруппах

12.2.2 Интерпретация

a) По карте средних среднее время, затрачиваемое на доставку образцов крови в лабораторию, не находится в состоянии статистической управляемости (нестабильно). Фактически 12 из 28 точек находятся за пределами контрольных границ.

b) Значения стандартных отклонений стабильны, т.е. в течение суток точки находятся в пределах контрольных границ, но имеют высокое значение. Однако есть признаки трендов, которые означают, что существуют систематические изменения с периодом 7—8 дней. Это означает, что существует возможность уменьшения разброса. Ее следует изучить, проверить и внести соответствующие изменения.

12.2.3 Систематические факторы и корректирующие действия

В процессе обсуждения неконтролируемых точек на карте среднего было отмечено много систематических факторов, в том числе:

a) возраст пациентов;
b) размер используемых игл в шприце;
c) состояние пациента;
d) время суток;
e) наличие помощника;
f) мастерство специалиста по отбору крови;
g) наличие сотрудника лаборатории, документирующего данные;
h) количество крови, подлежащей отбору;
i) размещение пациента в лаборатории;
j) заболевания пациента.

Были выполнены следующие корректирующие действия:

a) стандартная процедура определена и зафиксирована;
b) специалисты по отбору крови обучены выполнению стандартной процедуры;
c) в любой момент времени доступны два специалиста по отбору крови или помощник.

После выполнения вышеуказанных корректирующих действий отобраны новые данные, приведенные в таблице 8.

Очевидно, что данные не являются нормальными, но выборочные средние по подгруппам подчиняются нормальному распределению. Новые контрольные границы рассчитаны в соответствии с 12.2.4.

12.2.4 Контрольные границы

12.2.4.1 Контрольные границы карты стандартных отклонений

$$C_L = \bar{s} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{k} s_i^2}{k}\right]^{1/2} = \left(\frac{0{,}0106}{20}\right)^{1/2} = 0{,}0231,$$

$U_{CL} = 1{,}716 \cdot 0{,}0231 = 0{,}0396,$
$L_{CL} = 0{,}284 \cdot 0{,}0231 = 0{,}0066.$

Таблица 8 — Данные времени (минуты), затраченного на доставку образцов в лабораторию после выполнения корректирующих действий по подгруппам

Номер подгруппы	Время (минуты), затраченное на единицу выборки										Среднее	Стандартное отклонение
1	0,06	0,04	0,08	0,08	0,08	0,08	0,04	0,10	0,11	0,13	0,080	0,0287
2	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,10	0,07	0,11	0,09	0,06	0,081	0,0152
3	0,04	0,06	0,13	0,05	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,089	0,0292
4	0,12	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,09	0,073	0,0231
5	0,07	0,08	0,06	0,04	0,04	0,12	0,11	0,06	0,04	0,03	0,065	0,0306
6	0,07	0,06	0,06	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,06	0,04	0,078	0,0230
7	0,05	0,05	0,11	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,11	0,066	0,0237
8	0,13	0,06	0,07	0,05	0,08	0,07	0,05	0,07	0,10	0,08	0,076	0,0241
9	0,06	0,04	0,06	0,09	0,07	0,08	0,07	0,08	0,10	0,07	0,072	0,0169
10	0,06	0,07	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,10	0,04	0,05	0,064	0,0165
11	0,08	0,08	0,08	0,11	0,11	0,06	0,06	0,07	0,06	0,09	0,080	0,0189
12	0,10	0,07	0,06	0,07	0,04	0,06	0,10	0,07	0,07	0,06	0,070	0,0183
13	0,07	0,07	0,02	0,02	0,07	0,07	0,09	0,05	0,06	0,05	0,057	0,0226
14	0,07	0,06	0,04	0,04	0,06	0,05	0,06	0,09	0,07	0,07	0,061	0,0152

Окончание таблицы 8

Номер подгруппы	Время (минуты), затраченное на единицу выборки										Среднее	Стандартное отклонение
15	0,07	0,06	0,06	0,04	0,07	0,03	0,08	0,05	0,06	0,06	0,058	0,0148
16	0,09	0,10	0,10	0,09	0,11	0,10	0,08	0,08	0,09	0,10	0,094	0,0097
17	0,12	0,13	0,05	0,12	0,10	0,09	0,07	0,07	0,05	0,06	0,086	0,0303
18	0,08	0,09	0,06	0,06	0,04	0,08	0,14	0,07	0,10	0,11	0,083	0,0287
19	0,07	0,04	0,06	0,05	0,06	0,08	0,05	0,07	0,07	0,05	0,060	0,0125
20	0,08	0,09	0,06	0,07	0,08	0,08	0,11	0,05	0,14	0,17	0,093	0,0371
										Итого	**1,486**	**0,4390**

12.2.4.2 Контрольные границы карты среднего

$$C_L = \overline{\overline{x}} = \frac{1,486}{20} = 0,0743,$$

$$U_{CL} = \overline{\overline{x}} + A_3\overline{s} = 0,0743 + 0,975 \cdot 0,0231 = 0,0968,$$

$$L_{CL} = \overline{\overline{x}} - A_3\overline{s} = 0,0743 - 0,975 \cdot 0,0231 = 0,0518.$$

Данные, полученные после выполнения корректирующих действий в соответствии с выявленными причинами, показали улучшение оценок как средних, так и стандартных отклонений. Контрольные карты показаны на рисунке 8.

13 Стандартизованная *p*-карта

Данную карту рекомендуется применять, когда объем выборки или объем партии изменяются непредсказуемо. Карта улучшает визуальное восприятие ситуации, поскольку использует только один набор контрольных границ, и позволяет избежать путаницы в случаях, когда большее значение *p* подгруппы находится в пределах своей верхней контрольной границы, а меньшее значение *p* другой подгруппы выходит за пределы своей верхней контрольной границы.

Карта состоит из соответствующего последовательности производства (ось x) графика выборочной статистики $z = (p - \overline{p})\sqrt{n} / \sqrt{\overline{p}(1 - \overline{p})}$ (ось y).

13.1 Контрольные границы

$C_L = 0$,
$U_{CL} = +3$,
$L_{CL} = -3$.

13.2 Преимущества и особенности применения

На стандартизованной *p*-карте контрольная граница и центральная линия фиксированы, что облегчает интерпретацию. Однако это требует дополнительных вычислений.

13.3 Пример

Количество изготовленных кинескопов, признанных не соответствующими требованиям за 25 дней подряд, приведено в таблице 9. Стандартизованные значения *p* для каждого дня вычисляют следующим образом:

$\overline{p}$ = 1467/28474 = 0,0515,

$(\overline{p}(1 - \overline{p}))^{1/2}$ = 0,2210.

Значения стандартизованных *p*, а также $z = \dfrac{(p - \overline{p})\sqrt{n}}{\sqrt{\overline{p}(1 - \overline{p})}}$ для каждого дня рассчитаны и приведены в таблице 9. U_{CL} и L_{CL} равны +3 и –3 соответственно.

Контрольная карта приведена на рисунке 9.

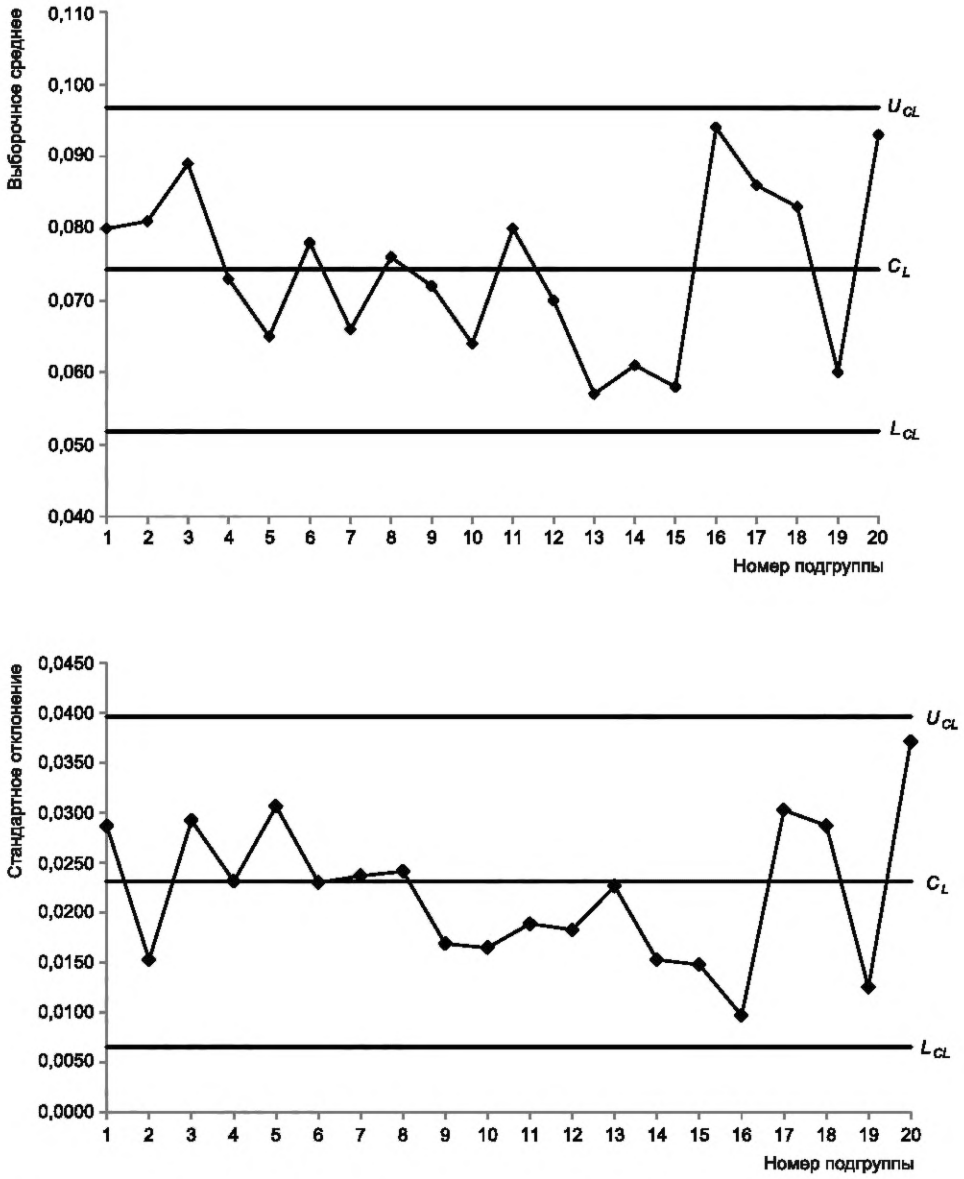


Рисунок 8 — Контрольная карта средних и стандартных отклонений по подгруппам

Таблица 9 — Данные о несоответствующих кинескопах по подгруппам

Номер подгруппы	Количество проверенных кинескопов	Количество несоответствующих кинескопов	*p*	*z*	Примечание
1	2417	143	0,059	1,705	
2	2334	105	0,045	−1,424	
3	954	63	0,066	2,032	
4	1104	55	0,050	−0,253	
5	1246	40	0,032	−3,098	Новый контролер
6	792	54	0,068	2,124	
7	1298	73	0,056	0,773	
8	321	12	0,037	−1,144	

Окончание таблицы 9

Номер подгруппы	Количество проверенных кинескопов	Количество несоответствующих кинескопов	*p*	*z*	Примечание
9	1204	51	0,042	−1,435	
10	576	15	0,026	−2,765	
11	1151	59	0,051	−0,037	
12	1256	53	0,042	−1,492	
13	1099	44	0,040	−1,720	
14	1811	98	0,054	0,503	
15	1073	65	0,061	1,346	
16	196	18	0,092	2,555	
17	1113	53	0,048	−0,586	
18	1066	59	0,055	0,568	
19	828	38	0,046	−0,730	
20	1083	63	0,058	0,993	
21	991	39	0,039	−1,730	
22	1102	57	0,052	0,034	
23	1226	60	0,049	−0,406	
24	1140	85	0,075	3,523	Новый контролер
25	1093	65	0,059	1,192	
Итого	**28474**	**1467**			

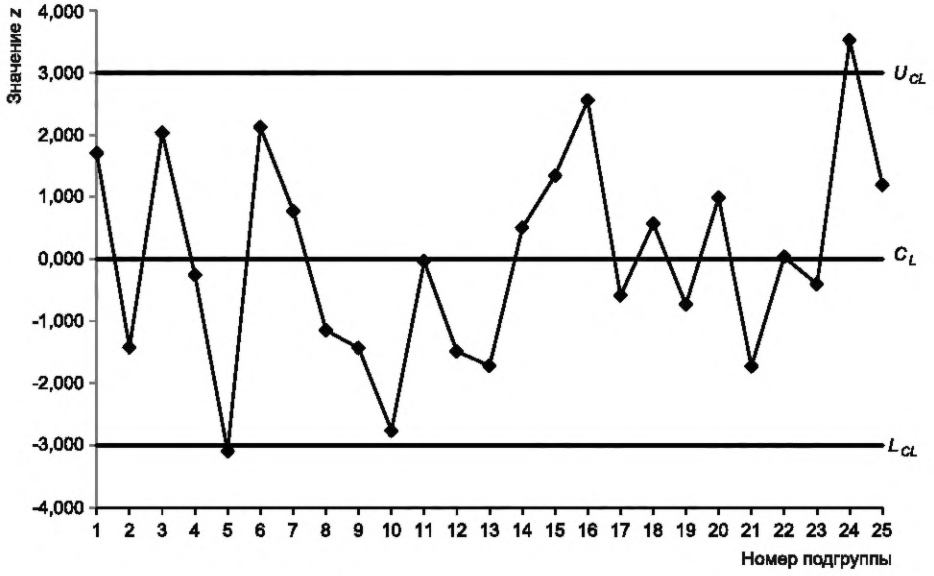


Рисунок 9 — Стандартизованная *p*-карта

13.3.1 Интерпретация

Из данных следует, что *p* для подгруппы 16 выше, чем *p* для подгруппы 24, однако значение *p* первой ниже ее U_{CL}, а значение второй выше ее U_{CL}. Кроме того, *p* для подгруппы 10 ниже, чем *p* для подгруппы 5, но значение первой выше ее L_{CL}, а значение *p* второй ниже ее L_{CL}. Это происходит потому, что больший размер выборки обеспечивает более узкие границы карты. Это видно на *p*-карте, но не на стандартизованной *p*-карте.

Для двух из 25 подгрупп процесс вышел из-под контроля. Кроме того, существует благоприятная серия из 6 точек (подгруппы 8—13). Это свидетельствует о возможных повторяющихся улучшениях. Поэтому нерационально принимать наблюдаемую фактическую среднюю долю несоответствующих единиц продукции $\overline{p}$ = 0,0515 в качестве стандарта процесса. Вместо этого среднее значение шести подгрупп с 8-й по 13-ю, составляющее 0,042, может быть принято в качестве первого итеративного ориентира, демонстрирующего улучшение по сравнению с фактическим средним 0,0515.

14 Контрольная карта баллов качества

При использовании контрольной карты числа несоответствий подсчитывают все несоответствия на единицу продукции и наносят на контрольную карту. Применение этой карты имеет ограничения, поскольку карта придает равный вес каждому виду несоответствий. Но различные несоответствия неодинаковы по своему влиянию на затраты и потери, к которым они могут привести. Некоторые из них могут быть устранены простой недорогой операцией по доработке продукции, другие могут потребовать дорогостоящей переработки, третьи могут включать утилизацию проверенных единиц продукции. Практическое решение этой проблемы состоит в том, чтобы классифицировать различные несоответствия по некоторым широким категориям, таким как критические, основные и незначительные несоответствия, и использовать отдельные контрольные карты для каждого вида несоответствий. Однако, если количество видов несоответствий велико, трудно использовать большое количество контрольных карт одновременно. Более простое решение состоит в том, чтобы присвоить различный ранг (вес) каждому виду несоответствий и рассчитать балл качества по всем проверенным единицам продукции. Эти баллы качества могут быть нанесены на контрольную карту.

14.1 Критерии выбора весовых коэффициентов

В случае баллов качества базовым распределением является распределение Пуассона. Несоответствиям присваивают веса, поскольку все виды несоответствий не следует рассматривать одинаково. Критерии выбора весов для различных несоответствий зависят от типа рассматриваемой продукции. В целом существует два типа продукции. В первом случае несоответствие можно устранить либо путем замены компонента, либо путем соответствующей доработки, либо путем его утилизации. Примером такого типа являются изделия машиностроительной промышленности, включающие большое количество компонентов. Во втором случае может оказаться невозможным провести доработку и продукцию классифицируют и продают такой, как она есть. Текстильные изделия являются примером такой категории. Большую часть несоответствий ткани, возникающих при ткачестве, отделке, печати и т. д., классифицируют и продают по разным ценам.

В случае продукции первого типа выбор весов несоответствий (w_i) зависит от их критичности, которую определяют с учетом различных аспектов продукции, таких как безопасность, особенности производства, соответствие обязательным/ законодательным требованиям и отзывы клиентов. В целом несоответствия можно разделить на три группы — незначительные, серьезные и критические. При необходимости эта классификация может быть расширена путем деления этих классов на два и более. Затем каждому классу присваивают вес с учетом аспектов, упомянутых выше. Другой подход к выбору весов заключается в оценке финансовых потерь от брака, переделок и потенциальных потерь из-за отвлечения производственных ресурсов. Также могут быть учтены финансовые потери от передачи несоответствующей единицы продукции, имеющей конкретное несоответствие, на сборку или на поставку. Затем веса могут быть установлены пропорционально финансовым потерям, связанным с наличием у продукции этого несоответствия. Как правило, затем может быть разработано небольшое количество классов на основе улучшения понимания этих потерь и весов, присвоенных каждому из этих классов, вместо того, чтобы рассматривать каждое несоответствие отдельно. Также может быть применен подход, при котором для присвоения весовых коэффициентов учитывают сочетание критичности несоответствия и финансовых потерь.

В случае продукции второго типа применяемый подход предполагает финальную классификацию продукции с самого начала. Затем эту классифицированную продукцию проверяют на наличие различных видов несоответствий. Веса для каждого вида несоответствий присваивают таким образом, чтобы каждому классу продукции можно было присвоить отдельный балл. Различным комбинациям несоответствий, приводящим к конкретному классу продукции, присваивают общий балл, который не должен перекрываться с баллами других классов.

14.2 Пример присвоения весов для тканей

a) Первоначально организовано совещание руководителей различных подразделений, а именно ткацкого, отделочного, принтового , складского и торгового. Классификацию несоответствий определяют путем отнесения несоответствий к двум или более классам. Степень несоответствий определенного вида на ткани также может быть принята во внимание при проведении этой классификации (например, дефектная или отсутствующая кромка может быть классифицирована по-разному в зависимости от количества и длины дефектов кромки). На совещании окончательный класс ткани определяют путем рассмотрения различных комбинаций несоответствий, имеющихся на отрезе или в куске.

b) Следующим этапом является отбор большого количества кусков с производственной линии, их независимо сортируют, относя к конечным классам (например, качественные, второсортные и некондиционные), четыре или пять опытных контролеров. Куски, которые могут быть исправлены, делят на две группы и снова оценивают.

c) Куски, отнесенные различными контролерами к разным классам, повторно рассматривают и после обсуждения должным образом классифицируют. Куски, по которым такой консенсус в отношении окончательной классификации не может быть достигнут, не принимают во внимание при дальнейшем анализе данных.

d) Различные комбинации несоответствий в различных классах затем перечисляют по кускам, по которым достигнут консенсус в отношении единообразной классификации. Это позволяет проводить перекрестную проверку определения классов, а также позволяет дополнять определения классов путем включения дополнительных комбинаций несоответствий, которые могли быть не замечены ранее. Следующим этапом является назначение различных комбинаций весов для каждой категории несоответствий и вычисление общего балла для каждого куска. Методом проб и ошибок баллы должны быть скорректированы таким образом, чтобы не было перекрытия общих баллов кусков, отнесенных к разным классам.

14.3 Контрольные границы

c_{ij} — число несоответствий i-го класса в j-й подгруппе, $i = 1, 2 \ldots m$, $j = 1, 2 \ldots k$;

$c_i = \sum_{j=1}^{m} c_{ij}$ — общее число несоответствий i-го класса во всех подгруппах;

w_i — весовой коэффициент i-го класса несоответствий;

n_j — количество единиц продукции в j-й подгруппе;

$N = \sum_{j=1}^{k} n_j$ — общее количество единиц продукции во всех подгруппах;

$D_j = \sum_{i=1}^{m} w_i c_{ij}$ — общий балл j-й подгруппы;

$d_j = \frac{D_j}{n_j} = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i c_{ij}}{n_j}$ — балл единицы продукции в j-й подгруппе;

$\overline{d} = \frac{\sum_{j=1}^{k} D_j}{N}$ — балл единицы продукции во всех подгруппах.

Альтернативно

$$\overline{d} = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i c_i}{N}.$$

Контрольные границы имеют вид:

$C_L = \overline{d}$.

Верхняя контрольная граница (U_{CL}) j-й подгруппы

$$U_{CL} = \bar{d} + 3\left(\frac{\sum_{i=1}^{m} w_i^2 c_i}{Nn_j}\right)^{1/2}.$$

Нижняя контрольная граница (L_{CL}) j-й подгруппы

$$L_{CL} = \bar{d} - 3\left(\frac{\sum_{i=1}^{m} w_i^2 c_i}{Nn_j}\right)^{1/2}.$$

Если вычисленное значение L_{CL} отрицательно, его принимают равным нулю.

Если балл на единицу продукции для каждой подгруппы меньше или равен соответствующей верхней контрольной границе, собранные исходные данные считают однородными для целей составления контрольной карты. Если балл на единицу продукции для одной или нескольких подгрупп превышает соответствующую верхнюю контрольную границу, то соответствующие подгруппы отбрасывают и вычисляют новый средний балл на единицу продукции для расчета пересмотренной верхней контрольной границы. Этот процесс продолжают до тех пор, пока не будет установлено, что балл на единицу продукции для всех остальных подгрупп меньше соответствующих верхних контрольных границ.

14.4 Интерпретация

В контрольной карте баллов качества балл качества может быть получен несколькими способами, он может включать несколько критических несоответствий или много незначительных несоответствий. Таким образом, даже если имеет место серия, ее не следует интерпретировать в обычном смысле, то есть как присутствие специальных причин вариаций.

14.5 Преимущества

a) в дополнение к преимуществам карт c или u, карта баллов качества учитывает степень и критичность несоответствий;

b) система назначения баллов учитывает степень и критичность несоответствий.

14.6 Особенности применения

a) система подсчета баллов должна быть разработана объективно, и ее использование следует объяснить надлежащим образом;

b) применение карты предусматривает больше вычислений.

14.7 Пример

При изготовлении дизельных двигателей выявлено несколько несоответствий, которые влияют на качество двигателя. Исходя из прошлого опыта, веса для каждого вида несоответствий приведены в таблице 10. Количество проверенных двигателей и количество выявленных несоответствий для каждого вида несоответствий также приведены в таблице 10. Необходимо вычислить контрольные границы контрольной карты баллов качества.

Поскольку количество двигателей, проверенных в каждый день, не сильно отличается, среднее количество двигателей (n), проверенных в каждый день, может быть использовано для расчета верхней контрольной границы для всех подгрупп.

В соответствии с таблицей 10:

$$N = \sum_{j=1}^{24} n_j = 4250,$$

$$\bar{n} = \frac{N}{24} = \frac{4250}{24} = 177,$$

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i c_i}{N} = \frac{17840}{4250} = 4{,}20,$$

$$\sum_{i=1}^{24} w_i^2 c_i = 881400,$$

$$U_{CL} = \bar{d} + 3\left(\frac{\sum_{i=1}^{m} w_i^2 c_i}{N n_j}\right)^{1/2} = 4{,}20 + 3\left(\frac{881400}{4250 \cdot 177}\right)^{1/2} = 4{,}20 + 3{,}25 = 7{,}45,$$

L_{CL} = 4,20 – 3,25 = 0,95.

Балл качества для каждого двигателя в каждой из подгрупп меньше U_{CL}. Полученные U_{CL} и L_{CL} принимают в качестве контрольных границ контрольной карты баллов качества.

С учетом этих контрольных границ используют контрольную карту баллов качества. Контрольная карта показана на рисунке 10.

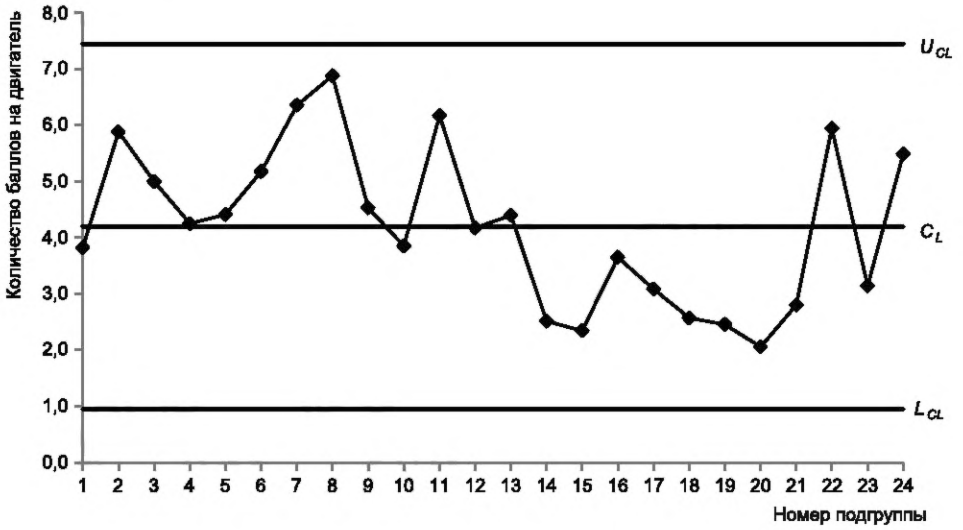


Рисунок 10 — Контрольная карта баллов качества

14.7.1 Интерпретация

Средний балл в первых 13 подгруппах составляет приближенно 5,0, а в последующих 8 подгруппах (подгруппы 14—21) — приближенно 2,7, что является убедительным доказательством возможности улучшения.

Таблица 10 — Данные числа несоответствий по подгруппам

Несоответствие	Балл	Номер подгруппы																								c_i	$w_i c_i$	$w_i^2 c_i$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
Блок	100	0	0	3	1	0	1	1	2	0	0	1	2	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	2	18	1800	180000
Жилье	100	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	9	900	90000
Головка блока цилиндров	100	0	2	0	0	1	0	0	1	0	1	4	2	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	16	1600	160000
Корпус фильтра	50	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0	2	3	3	0	1	0	2	0	1	0	1	3	3	3	26	1300	65000
Крышка фильтра	50	0	0	1	1	3	4	3	2	1	2	1	0	0	1	1	2	2	1	0	0	0	0	5	7	37	1850	92500
Колесо торцом наружу	50	5	7	3	5	2	2	2	2	0	2	1	1	4	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	4	56	2800	140000
Неправильный момент газораспределения	50	0	0	0	0	0	1	2	1	0	1	0	0	1	1	0	0	2	0	1	0	1	1	0	0	12	600	30000
Масляная труба	30	2	1	4	7	5	4	2	4	3	2	2	0	4	3	0	4	0	4	0	2	2	6	0	1	62	1860	55800
Сальник	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	60	1800
Осевой люфт (плотный)	20	0	0	0	2	2	2	8	5	11	4	5	2	2	2	1	6	0	2	1	1	2	6	1	0	65	1300	26000
Толкатель клапана	20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3	1	1	2	1	1	0	1	0	0	0	0	13	260	5200
Утечка в корпусе	10	22	20	16	18	15	23	32	29	28	26	14	5	3	7	6	4	1	5	3	6	14	6	2	2	307	3070	30700
Фильтровальная труба	10	2	2	2	2	4	4	4	1	3	2	0	2	2	2	1	1	1	2	3	0	0	2	1	1	44	440	4400
Сумма																											**17840**	**881400**
Количество проверенных двигателей (n)		170	170	170	200	170	170	170	170	170	200	175	175	175	175	175	200	175	175	175	175	175	190	175	175			
Общий балл на несоответствие (D)		650	1000	850	850	750	880	1080	1170	770	770	1080	730	770	440	410	730	540	450	430	360	490	1130	550	960		17840	
Оценка числа несоответствий на каждый двигатель (d)		3,8	5,9	5,0	4,3	4,4	5,2	6,4	6,9	4,5	3,9	6,2	4,2	4,4	2,5	2,3	3,7	3,1	2,6	2,5	2,1	2,8	5,9	3,1	5,5			

15 Контрольная карта контроля с помощью калибра

Помимо механического контроля технических объектов на соответствие требованиям к размерам с использованием пары калибров «проходной»/«непроходной» существует много других ситуаций, в которых результаты контроля формируют данные такого типа, например классификация объектов по весу на недостаточный вес, нормальный и избыточный вес; классификация головок предохранителей по их чувствительности на нечувствительные, нормальные и сверхчувствительные и т.д.

Контрольные карты, основанные на результатах контроля с помощью калибра «проходной»/«непроходной», могут быть использованы как для контроля уровня процесса, так и для изменения процесса, имеющего двусторонние требования.

Эти контрольные карты используют в ситуациях:

a) когда базовое распределение контролируемой характеристики является нормальным или близким к нормальному;

b) отклонения уровня процесса и измеряемых параметров являются двусторонними или односторонними (большими, чем отклонения целевых значений) соответственно;

c) известны значения среднего и изменчивости процесса (стандартного отклонения);

d) контроль по альтернативному признаку предпочтительнее контроля по количественному признаку из практических соображений.

15.1 Нижние и верхние границы калибра

Контроль с помощью калибра классифицирует объекты с помощью пары калибров, называемых нижним предельным калибром (L_{GL}) и верхним предельным калибром (U_{GL}) на следующие три категории:

a) контролируемая характеристика менее L_{GL};

b) контролируемая характеристика более U_{GL};

c) контролируемая характеристика находится между L_{GL} и U_{GL}.

Выборку объема n контролируют проходным и непроходным калибром:

a — количество объектов меньше нижнего предельного калибра (L_{GL});

b — количество объектов больше верхнего предельного калибра (U_{GL}).

Для симметричного распределения, такого как нормальное, когда выборку объемом n из каждой подгруппы контролируют с помощью такой пары калибров, получают значения a (менее L_{GL}) и b (более U_{GL}). Эти значения a и b используют при расчете верхнего и нижнего предельных калибров.

Поскольку U_{GL} и L_{GL}, как правило, отличаются от верхней границы поля допуска (U) и нижней границы поля допуска (L), соответственно, следует отметить, что объекты, не соответствующие предельным калибрам, не обязательно являются несоответствующими.

15.2 Предварительные этапы

15.2.1 Выбор вероятности ложной тревоги

Контрольные границы для контрольных карт, основанных на контроле с применением калибров, устанавливают для обеспечения заранее заданной вероятности α ошибочно отвергнуть решение о статистической управляемости. Несмотря на то, что значения $\alpha = 0{,}005$ и $\alpha = 0{,}01$ подходят как для контрольных карт, так и для карт (a, b), как правило, выбирают значение $\alpha = 0{,}005$, поскольку оно ближе к соответствующим границам 3σ, используемым для количественных контрольных карт.

15.2.2 Выбор объема подгруппы

Контрольные карты контроля с помощью калибров по сути являются картами контроля по альтернативному признаку, аналогичными обычным *np*-картам. Таким образом, обычно для обеспечения разумной защиты от ошибочных решений требуется бóльший объем подгруппы по сравнению с картами контроля по количественному признаку. Однако, благодаря оптимальному определению предельных калибров и контрольных границ (с использованием критериев принятия решений в условиях риска и/или неопределенности), свойства этих карт могут весьма выгодно отличаться от свойств карт контроля по количественному признаку даже при одинаковом объеме выборки. Поэтому, а также для того, чтобы объем подгруппы был небольшим, часто объем выборки от 7 до 10 единиц может быть достаточным, в отличие от более высокого объема выборки для карт контроля по альтернативному признаку.

15.2.3 Выбор контрольных карт

Показатели ($b - a$) и ($a + b$) чувствительны к изменениям среднего процесса (μ) и стандартного отклонения процесса (σ), соответственно. Следовательно, пару контрольных карт для ($b - a$) и ($a + b$) следует рассматривать как замену обычным картам ($\overline{X}$, R).

Однако обнаружено, что одна контрольная карта для *a* и *b* (построение двух точек, соответствующих этим показателям для каждого номера подгруппы) не только проще в использовании, но и обладает лучшими свойствами в отношении ошибок контроля по сравнению с парой карт для (*b* – *a*) и (*a* + *b*). Пара графиков работает лишь незначительно лучше, когда σ не изменяется. Таким образом, рекомендуется использовать единую карту для (*a, b*).

15.3 Предельные калибры и контрольные границы

Установив объем подгруппы *n* и вероятность α ложной тревоги, определяют значения коэффициента калибра (G_F) и значение единственной контрольной границы *r* по таблице 11.

15.3.1 Предельные калибры, когда известны среднее процесса (μ) и стандартное отклонение процесса (σ)

Нижний предельный калибр (U_{CL}) = $\mu - G_F\sigma$.

Верхний предельный калибр (L_{CL}) = $\mu + G_F\sigma$.

15.3.2 Контрольная граница

Единственную контрольную границу определяют при *y* = *r*. Нижняя контрольная граница равна нулю. Здесь нет центральной линии.

Таблица 11 — Значения коэффициентов G_F и *r* для различных комбинаций (*n*, α)

n	α = 0,005		α = 0,010		α = 0,025		α = 0,05	
	G_F	*r*	G_F	*r*	G_F	*r*	G_F	*r*
2	3,023	1	2,806	1	2,495	1	2,236	1
3	1,894	2	1,735	2	1,506	2	2,388	1
4	2,040	2	1,889	2	1,673	2	1,493	2
5	2,113	2	1,997	2	1,790	2	1,618	2
6	1,626	3	2,081	2	1,879	2	1,713	2
7	1,713	3	1,595	3	1,951	2	1,789	2
8	1,784	3	1,670	3	1,506	3	1,852	2
9	1,844	3	1,732	3	1,573	3	1,440	3
10	1,896	3	1,786	3	1,630	3	1,500	3
15	1,747	4	1,657	4	1,833	3	1,712	3
20	1,889	4	1,802	4	1,965	3	1,850	3
25	1,762	5	1,907	4	1,690	4	1,950	3
30	1,672	6	1,989	4	1,779	4	1,779	4
40	1,547	8	1,611	7	1,579	6	1,579	6
50	1,379	11	1,507	9	1,367	9	1,367	9

15.4 Построение графика

Объекты каждой группы последовательно один за другим сопоставляют с L_{CL} и U_{CL}, и отмечают значения a (ниже L_{CL}) и *b* (выше U_{CL}). Против каждого номера подгруппы наносят две точки A и B, соответствующие *a* и *b* соответственно. Последовательные точки, соответствующие *a* и *b*, могут быть соединены непрерывными и прерывистыми линиями отдельно, предпочтительно с использованием двух разных цветов.

15.5 Интерпретация

Если процесс находится в состоянии статистической управляемости (стабилен), ожидается, что две линии, соответствующие значениям *a* и *b*, будут часто пересекаться друг с другом. Если они не пересекаются в течение значительного периода времени, даже ниже контрольной границы, можно предположить наличие сдвига процесса. Статус каждой подгруппы, независимо от ее управляемости, должен быть указан в контрольной карте описанным ниже образом:

15.5.1 *a* и *b* находятся ниже контрольной границы

Эта ситуация указывает на то, что как среднее процесса, так и его стандартное отклонение находятся в состоянии статистической управляемости.

15.5.2 *a* находится выше контрольной границы, *b* находится на контрольной границе или ниже ее

Эта ситуация указывает на уменьшение среднего процесса.

15.5.3 *b* находится выше контрольной границы, а *a* находится на контрольной границе или ниже ее

Эта ситуация указывает на снижение среднего процесса.

15.5.4 *a* и *b* находятся на контрольной границе или выше ее

Эта ситуация указывает на увеличение изменчивости/вариабельности процесса.

15.6 Преимущества

Данный вид карты имеет следующие преимущества:

a) имеются данные о количестве объектов с превышением и занижением размеров;

b) измерение отдельных значений затруднено, неэкономично или невозможно, но легко определить, находятся ли они ниже или выше некоторой величины;

c) в качестве замены карты $\overline{X} - R$ требуется бóльший объем выборки, но сокращается общее время/затраты на контроль, ведение учета. Анализ результатов намного проще и менее трудоемкий, а следовательно, и более экономичный;

d) карта эффективнее, чем *p*-карта.

15.7 Особенности применения

Данная карта требует подготовки и уверенности в том, что предельные калибры не будут жесткими при применении, т.к. созданный искусственный уровень приемлемости соответствует требованиям качества.

15.8 Оценка среднего и изменчивости процесса

Если предельные калибры и значения *a* и *b* для каждой из *k* подгрупп, отобранных из процесса, находящегося в состоянии статистической управляемости, определены по выборочным данным, то среднее и изменчивость процесса могут быть оценены следующим образом:

$$\overline{a} = \sum_{i=1}^{k} a_i, \quad \overline{b} = \sum_{i=1}^{k} b_i,$$

$$p_{\overline{a}} = \frac{\overline{a}}{n}, \quad p_{\overline{b}} = \frac{\overline{b}}{n},$$

где n — постоянный объем подгруппы; $z(p_{\overline{a}})$ и $z(1-p_{\overline{b}})$ — значения стандартных нормальных переменных, соответствующих областям слева от $p_{\overline{a}}$ и $1-p_{\overline{b}}$ соответственно. Значения $z(p_{\overline{a}})$ отрицательны, а $z(1-p_{\overline{b}})$ — положительны.

Оценки среднего (μ) и стандартного отклонения (σ) процесса определяют следующим образом:

$$\mu = \frac{L_{GL} \cdot z(1-p_{\overline{b}}) - U_{GL} \cdot z(p_{\overline{a}})}{z(1-p_{\overline{b}}) - z(p_{\overline{a}})},$$

$$\sigma = \frac{U_{GL} - L_{GL}}{z(1-p_{\overline{b}}) - z(p_{\overline{a}})},$$

где U_{GL} и L_{GL} — соответствуют верхнему и нижнему предельным калибрам.

15.9 Пример

В таблице 12 приведены результаты испытаний на предел прочности при растяжении каждой из семи алюминиевых проволок, скрученных для получения композитного проводника, диаметром 2,79 мм. Из каждого кабельного барабана композитных проводников, рассматриваемого в качестве подгруппы, берут образец; семь результатов испытаний, соответствующих семи проволокам композитного проводника, приведены в таблице 12. Из прошлых данных установлено, что среднее значение этой характеристики процесса составляет 19,5 кгс/мм^2, а стандартное отклонение — 1,00 кгс/мм^2. Принято решение использовать карты (*a, b*) для определения предела прочности композитного проводника на растяжение, а также для сравнения ее чувствительности с картой $\overline{X} - R$.

Для формирования карты (*a, b*) выбрано значение α = 0,005, так как оно ближе к соответствующим границам 3σ, используемым в контрольных картах количественных переменных.

Для α = 0,005 и n = 7 в соответствии с таблицей 11 G_F = 1,713, r = 3. Таким образом

μ_0 = 19,5, σ_0 = 1,00, следовательно,

$$U_{GL} = 19{,}5 + 1{,}713 \cdot 1 = 21{,}213,$$

$$L_{GL} = 19{,}5 - 1{,}713 \cdot 1 = 17{,}787.$$

Контрольная граница r = 3.

В каждой подгруппе объекты последовательно сравнивают с U_{GL} и L_{GL} и отмечают значения *a* и *b*. Эти значения приведены в таблице 12. Контрольная карта показана на рисунке 11.

Таблица 12 — Данные испытаний на предел прочности при растяжении (кгс/мм^2) проволоки из композитного проводника по подгруппам

Номер подгруппы	Номер выборочной единицы							*a*	*b*	Среднее	Размах
	1	2	3	4	5	6	7				
1	19,63	19,30	18,81	18,98	19,30	18,98	19,80	0	0	19,26	0,99
2	19,47	19,14	19,96	18,00	18,49	18,32	19,80	0	0	19,03	1,96
3	19,14	18,98	18,32	19,63	19,30	19,30	19,30	0	0	19,14	1,31
4	18,49	18,81	18,65	18,98	18,81	18,81	19,47	0	0	18,86	0,98
5	18,32	18,80	18,81	18,98	18,32	18,02	18,81	0	0	18,58	0,96
6	18,81	18,00	18,00	18,32	19,96	19,30	19,80	0	0	18,88	1,96
7	19,14	18,65	18,00	18,32	18,49	17,51	18,65	0	1	18,39	1,63
8	18,98	18,32	19,63	19,80	18,00	22,74	19,14	1	0	19,52	4,74
9	19,80	18,32	20,78	19,63	19,43	19,63	20,94	0	0	19,79	2,62
10	19,11	18,00	21,74	19,27	18,65	20,75	19,96	1	0	19,64	3,74
11	18,32	20,92	19,96	19,96	20,78	21,08	20,78	0	0	20,26	2,76
12	18,16	18,00	17,34	18,65	19,14	18,32	18,00	0	1	18,23	1,80
13	18,12	18,61	18,28	18,61	18,32	18,32	17,62	0	1	18,27	0,99
14	22,90	22,90	20,94	21,60	19,96	21,27	21,90	5	0	21,64	2,94
15	22,09	19,47	22,90	23,39	18,32	22,90	22,90	5	0	21,71	5,07
16	18,00	18,32	19,63	18,12	18,81	19,63	20,12	0	0	18,95	2,12
17	17,83	19,14	18,32	19,60	17,79	19,30	18,28	0	1	18,61	1,81
18	19,96	18,80	21,76	19,27	21,25	20,94	20,29	2	0	20,47	2,49
19	16,80	17,79	20,42	18,32	19,76	17,29	18,28	0	2	18,38	3,62
20	18,00	18,32	19,63	18,12	18,81	19,63	20,12	0	0	18,95	2,12

Из контрольной карты видно, что значение *b* для подгрупп 14 и 15 вышло за контрольную границу. Для исправления ситуации по стабилизации процесса с точки зрения его положения приняты соответствующие меры, после чего процесс возвращается в состояние статистической управляемости.

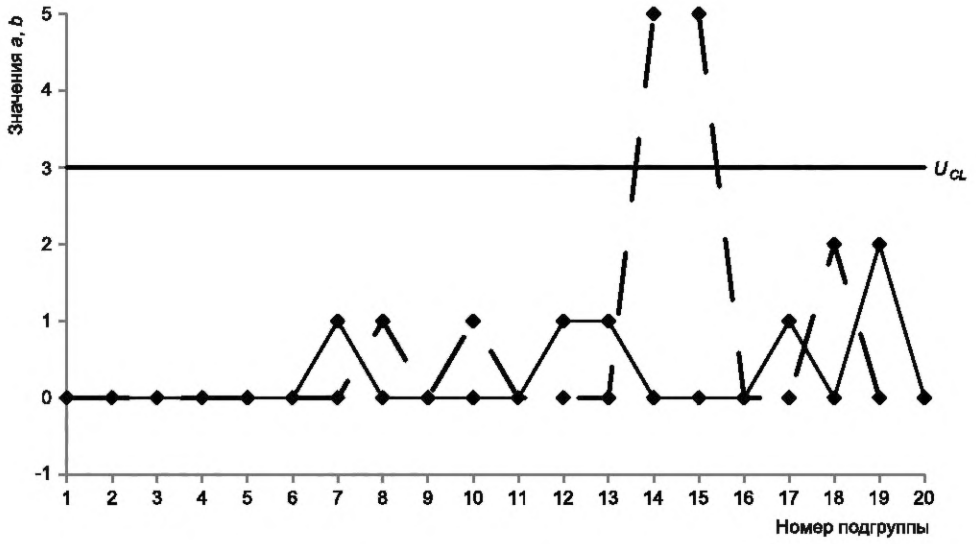


Рисунок 11 — Карта (*a*, *b*)

15.9.1 Сравнение с картой $\overline{X} - R$

Карта $\overline{X} - R$ также была применена к данным, приведенным в таблице 12, контрольные границы приведены ниже.

Карта среднего

$U_{CL} = \mu + A\sigma = 19{,}5 + 1{,}134 \cdot 1 = 20{,}634,$

$L_{CL} = \mu - A\sigma = 19{,}5 - 1{,}134 \cdot 1 = 18{,}366.$

Карта размаха

$U_{CL} = D_2\sigma = 5{,}203 \cdot 1 = 5{,}203,$

$L_{CL} = D_1\sigma = 0{,}205 \cdot 1 = 0{,}205.$

Значения A, D_1 и D_2 приведены в приложении А для различных объемов выборки.

По значениям средних и размахов, приведенных в таблице 12, видно, что на карте среднего также точки, соответствующие подгруппам 14 и 15, выходят за верхнюю контрольную границу и ни одна точка на карте размаха не выходит за контрольные границы; так же, как на карте (*a, b*). Таким образом, для данного примера карта (*a, b*) является такой же чувствительной, как карта $\overline{X} - R$.

Приложение А
(справочное)

Коэффициенты для вычисления контрольных границ

Таблица А.1 — Коэффициенты для вычисления контрольных границ

	Использование стандартных значений μ и σ								Использование (s)			Использование (R)			
	Карта экстремальных значений	Карта среднего	Карта CV			Карта размаха			Карта CV		Карта среднего	Карта экстремальных значений	Карта среднего	Карта размаха	
C_L	μ	μ	$\frac{c_2\sigma}{\mu}$			$d_2\sigma$			$\bar{\nu}$		$\bar{\bar{x}}$	$M = \frac{\bar{x}_H + \bar{x}_L}{2}$	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{R}$	
L_{CL}	$\mu - H\sigma$	$\mu - A\sigma$	$B_1\sigma/\mu$			$D_1\sigma$			$B_3\bar{\nu}$		$\bar{\bar{x}} - A_3\bar{s}$	$M - H_2\bar{R}$	$\bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	
U_{CL}	$\mu + H\sigma$	$\mu + A\sigma$	$B_2\,\sigma/\mu$			$D_2\sigma$			$B_4\bar{\nu}$		$\bar{\bar{x}} + A_3\bar{s}$	$M + H_2\bar{R}$	$\bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$	$D_4\bar{R}$	
(1)	(2)		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Количество наблюдений в выборке	H	A	c_2	B_1	B_2	d_2	D_1	D_2	B_3	B_4	A_3	H_2	A_2	D_3	D_4
2	3,041	2,121	0,564	0	1,843	1,128	0	3,686	0	3,267	2,659	2,695	1,880	0	3,267
3	3,090	1,732	0,724	0	1,858	1,693	0	4,358	0	2,568	1,954	1,826	1,023	0	2,575
4	3,133	1,500	0,798	0	1,808	2,059	0	4,698	0	2,266	1,628	1,522	0,729	0	2,282
5	3,170	1,342	0,841	0	1,756	2,326	0	4,918	0	2,089	1,427	1,363	0,577	0	2,115
6	3,202	1,225	0,869	0,026	1,711	2,534	0	5,078	0,030	1,970	1,287	1,263	0,483	0	2,004
7	3,230	1,134	0,888	0,105	1,672	2,704	0,205	5,203	0,118	1,882	1,182	1,194	0,419	0,076	1,924
8	3,256	1,061	0,903	0,167	1,638	2,847	0,387	5,307	0,185	1,815	1,099	1,143	0,373	0,136	1,864
9	3,278	1,000	0,914	0,219	1,609	2,970	0,546	5,394	0,239	1,761	1,032	1,104	0,337	0,184	1,816
10	3,299	0,949	0,923	0,262	1,584	3,078	0,687	5,469	0,284	1,716	0,975	1,072	0,308	0,223	1,777
11			0,930	0,299	1,561	3,173	0,812	5,534	0,321	1,679	0,927				
12			0,936	0,331	1,541	3,258	0,924	5,592	0,354	1,646	0,886				
13			0,941	0,359	1,523	3,336	1,026	5,646	0,382	1,618	0,850				
14			0,945	0,384	1,507	3,407	1,121	5,693	0,406	1,594	0,817				
15			0,949	0,406	1,492	3,472	1,207	5,737	0,428	1,572	0,789				
16			0,952	0,427	1,478	3,532	1,285	5,779	0,448	1,552	0,763				

Окончание таблицы А.1

	Использование стандартных значений μ и σ								Использование (s)			Использование (R)			
	Карта экстремальных значений	Карта среднего	Карта CV			Карта размаха			Карта CV		Карта среднего	Карта экстремальных значений	Карта среднего	Карта размаха	
17			0,955	0,445	1,465	3,588	1,359	5,817	0,466	1,534	0,739				
18			0,958	0,461	1,454	3,640	1,426	5,854	0,482	1,518	0,718				
19			0,960	0,477	1,443	3,689	1,490	5,888	0,497	1,503	0,698				
20			0,962	0,491	1,433	3,735	1,548	5,922	0,510	1,490	0,680				
21			0,964	0,504	1,424	3,778	1,606	5,950	0,523	1,477					
22			0,966	0,516	1,415	3,819	1,659	5,979	0,534	1,466					
23			0,967	0,527	1,407	3,858	1,710	6,006	0,545	1,455					
24			0,968	0,538	1,399	3,895	1,759	6,031	0,555	1,445					
25			0,970	0,548	1,392	3,931	1,804	6,058	0,565	1,435					

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO 3534-2	—	*
* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Официальный перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде стандартов.		

Библиография

[1] ISO 5479:1997 Statistical interpretation of data — Tests for departure from the normal distribution

[2] ISO 3534-1 Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: General statistical terms and terms used in probability

[3] ISO 7870-1 Control charts — Part 1: General guidelines

[4] ISO 7870-2 Control charts — Part 2: Shewhart control charts

[5] Rao C.R. ed. Formulae and Tables for Statistical Work. 1975

[6] Introduction to Statistical Quality Control, Douglas Montgomery, 2004

[7] Statistical procedures for machine and process qualification, Edgar Dietrich, Alfred Schulze, 1999

[8] ISO/TR 22514-4 Statistical methods in process management — Capability and performance — Part 4: Process capability estimates and performance measures

УДК 658.562.012.7:65.012.122:006.352 МКС 03.120.30

Ключевые слова: контрольная карта, контрольная карта скользящего среднего, контрольная карта скользящего размаха, z-карта, групповая контрольная карта, контрольная карта экстремальных значений, контрольная карта с трендом, контрольная карта коэффициента вариации, контрольная карта ненормальных данных, стандартизованная *p*-карта, контрольная карта баллов качества, контрольная карта контроля с помощью калибра

Редактор *В.Н. Шмельков*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 28.04.2023. Подписано в печать 23.05.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,05.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru