**Лекция**

**Контрольные карты**

**1.1 Общие сведения о контрольных картах**

Одним из основных инструментов в обширном арсенале статистических методов контроля качества являются контрольные карты. Принято считать, что идея контрольной карты принадлежит Уолтеру Л. Шухарту. Она была высказана в 1924 г. и обстоятельно описана в 1931 г.

Первоначально они использовались для регистрации результатов измерений требуемых свойств продукции. Выход параметра за границы поля допуска свидетельствовал о необходимости остановки производства и проведении корректировки процесса в соответствии со знаниями специалиста, управляющего производством.

Карта Шухарта имеет две статистические определяемые контрольные границы относительно центральной линии, которые называются верхней контрольной границей () и нижней контрольной границей () (рисунок 1).

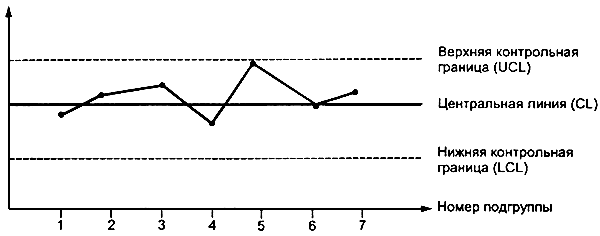


Рисунок 1 - Вид контрольной карты

Контрольные границы на карте Шухарта находятся на расстоянии 3 от центральной линии, где  - генеральное стандартное отклонение используемой статистики. Изменчивость внутри подгрупп является мерой случайных вариаций.

Для получения оценки  вычисляют выборочное стандартное отклонение или умножают выборочный размах на соответствующий коэффициент. Эта мера не включает межгрупповых вариаций, а оценивает только изменчивость внутри подгрупп.

Границы ±3 указывают, что около 99,7% значений характеристики подгрупп попадут в эти пределы при условии, что процесс находится в статистически управляемом состоянии.

Часто на контрольной карте границы проводят еще и на расстоянии 2. Тогда любое выборочное значение, попадающее за границы 2, может служить предостережением о грозящей ситуации выхода процесса из состояния статистической управляемости. Поэтому границы ±2 иногда называют "предупреждающими".

Карта Шухарта требует данных, получаемых выборочно из процесса через примерно равные интервалы. Интервалы могут быть заданы либо по времени (например ежечасно), либо по количеству продукции (каждая партия). Обычно каждая подгруппа состоит из однотипных единиц продукции или услуг с одними и теми же контролируемыми показателями, и все подгруппы имеют равные объемы. Для каждой подгруппы определяют одну или несколько характеристик, таких как среднее арифметическое подгруппы  и размах подгруппы  или выборочное стандартное отклонение *.*

Результаты измерений наносят на контрольную карту, и в зависимости от этого значения принимают решение о корректировке процесса или о продолжении процесса без корректировок.

Сигналом о возможной разладке технологического процесса могут служить:

* выход точки за контрольные пределы; (процесс вышел из-под контроля)
* расположение группы последовательных точек около одной контрольной границы, но не выход за нее, что свидетельствует о нарушении уровня настройки оборудования
* сильное рассеяние точек на контрольной карте относительно средней линии, что свидетельствует о снижении точности технологического процесса

При наличии сигнала о нарушении производственного процесса должна быть выявлена и устранена причина нарушения. Таким образом, контрольные карты используются для выявления определенной причины, но не случайной. Под определенной причиной следует понимать существование факторов, которые допускают изучение.

Вариация же, обусловленная случайными причинами необходима, она неизбежно встречается в любом процессе, даже если технологическая операция проводится с использованием стандартных методов и сырья. Исключение случайных причин вариации невозможно технически или экономически нецелесообразно.

Контролироваться должны естественные колебания между пределами контроля. Нужно убедиться, что выбран правильный тип контрольной карты для определенного типа данных. Данные должны быть взяты точно той последовательности, как они собраны, иначе они теряют смысл. Не следует вносить изменений в процесс в период сбора данных. Данные должны отражать, как процесс идет естественным образом. Контрольная карта может указать на наличие потенциальных проблем до того, как начнется выпуск дефектной продукции.

При применении контрольных карт возможны два вида ошибок: первого и второго рода.

Ошибка первого рода возникает, когда процесс находится в статистически управляемом состоянии, а точка выскакивает за контрольные границы случайно. В результате неправильно решают, что процесс вышел из состояния статистической управляемости, и делают попытку найти и устранить причину несуществующей проблемы.

Ошибка второго рода возникает, когда рассматриваемый процесс не управляем, а точки случайно оказываются внутри контрольных границ. В этом случае неверно заключают, что процесс статистически управляем и упускают возможность предупредить рост выхода несоответствующей продукции. Риск ошибки второго рода - функция трех факторов: ширины контрольных границ, степени неуправляемости и объема выборки. Их природа такова, что можно сделать лишь общее утверждение о величине ошибки.

Система карт Шухарта учитывает только ошибки первого рода, равные 0,3% в пределах границ 3. Поскольку в общем случае непрактично делать полную оценку потерь от ошибки второго рода в конкретной ситуации, а удобно произвольно брать малый объем подгруппы (4 или 5 единиц), целесообразно использовать границы на расстоянии ±3 и сосредоточивать внимание в основном на управлении и улучшении качества самого процесса.

Когда наносимое значение выходит за любую из контрольных границ или серия значений проявляет необычные структуры, о которых будет рассказано ниже, состояние статистической управляемости подвергается сомнению. В этом случае надо исследовать и обнаружить неслучайные (особые) причины, а процесс можно остановить или скорректировать. Если контрольную карту процесса строят впервые, то часто оказывается, что процесс статистически неуправляем. Контрольные границы, рассчитанные на основе данных такого процесса, будут иногда приводить к ошибочным заключениям, поскольку они могут оказаться слишком широкими. Следовательно, прежде чем устанавливать постоянные параметры контрольных карт, надо привести процесс в статистически управляемое состояние.

**1.2 Типы контрольных карт**

Контрольные карты Шухарта бывают двух основных типов: для количественных и альтернативных данных. Для каждой контрольной карты встречаются две ситуации:

а) стандартные значения не заданы;

б) стандартные значения заданы.

Стандартные значения - значения, установленные в соответствии с некоторыми конкретными требованиями или целями.

Контрольные карты, для которых не заданы стандартные значения

Цель таких карт - обнаружение отклонений значений характеристик (например, ,  или какой-либо другой статистики), которые вызваны иными причинами, чем те, которые могут быть объяснены только случайностью. Эти контрольные карты основаны целиком на данных самих выборок и используют для обнаружения вариаций, которые обусловлены неслучайными причинами.

Контрольные карты при наличии заданных стандартных значений

Целью таких карт является определение того, отличаются ли наблюдаемые значения ,  и т.п. для нескольких подгрупп (каждая объемом  наблюдений) от соответствующих стандартных значений  (или ) и т.п. больше, чем можно ожидать при действии только случайных причин. Особенностью карт с заданными стандартными значениями является дополнительное требование, относящееся к положению центра и вариации процесса. Установленные значения могут быть основаны на опыте, полученном при использовании контрольных карт без априорной информации, или на заданных стандартных значениях, а также на экономических показателях, установленных после рассмотрения потребности в услуге и стоимости производства, или указаны в технических требованиях на продукцию.

Также контрольные карты можно разделить на контрольные карты для количественных и качественных признаков

* **X-карта.** На эту контрольную карту наносятся значения выборочных средних для того, чтобы контролировать отклонение от среднего значения непрерывной переменной (например, диаметров поршневых колец, прочности материала и т.д.).
* **R-карта.** Для контроля за степенью изменчивости непрерывной величины в контрольной карте этого типа строятся значения размахов выборок.
* **S-карта.** Для контроля за степенью изменчивости непрерывной переменной в контрольной карте данного типа рассматриваются значения выборочных стандартных отклонений.
* **S\*\*2-карта.** В контрольной карте данного типа для контроля изменчивости строится график выборочных дисперсий.

Для контроля качества продукции по альтернативному признаку обычно применяются следующие типы контрольных карт:

* **C-карта.** В таких контрольных картах строится график числа дефектов. При использовании карты этого типа делается предположение, что дефекты контролируемой характеристики продукции встречаются сравнительно редко, при этом контрольные пределы для данного типа карт рассчитываются на основе свойств [распределения Пуассона](http://www.statsoft.ru/home/textbook/glossary/gloss_r.html%20#Poisson Distribution) (распределения редких событий).
* **U-карта.** В карте данного типа строится график относительной частоты дефектов, то есть отношения числа обнаруженных дефектов к n - числу проверенных единиц продукции В отличие от C-карты, для построения карты данного типа не требуется постоянство числа единиц проверяемых изделий, поэтому ее можно использовать при анализе партий различного объема.
* **Np-карта.** В контрольных картах этого типа строится график для числа дефектов (в партии, в день, на станок), как и в случае С-карты. Однако, контрольные пределы этой карты рассчитываются на основе биномиального распределения, а не распределения редких событий Пуассона. Поэтому данный тип карт должен использоваться в том случае, когда обнаружение дефекта не является редким событием (например, когда обнаружение дефекта происходит более чем у 5% проверенных единиц продукции). Этой картой можно воспользоваться, например, при контроле числа единиц продукции, имеющих небольшой брак.
* **P-карта.** В картах данного типа строится график процента обнаруженных дефектных изделий (в расчете на партию, в день, на станок и т.д.). График строится так же, как и в случае U-карты. Однако контрольные пределы для данной карты находятся на основе биномиального распределения (для долей), а не распределения редких событий. Поэтому P-карта наиболее часто используется, когда появление дефекта нельзя считать редким событием (если, например, ожидается, что дефекты будут присутствовать в более чем 5% общего числа произведенных единиц продукции).

Все перечисленные выше типы карт допускают возможность построения кратких карт для производственных серий ([краткие контрольные карты](http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stquacon.html#short)) и контрольных карт для нескольких процессов ([многопоточные групповые карты](http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stquacon.html#multiple)).

Контрольные карты для количественных данных имеют следующие преимущества:

а) большинство процессов и их продукция на выходе имеют характеристики, которые могут быть измерены, так что применимость таких карт потенциально широка;

б) измеренное значение содержит больше информации, чем простое утверждение "да - нет";

в) характеристики процесса могут быть проанализированы безотносительно установленных требований. Карты запускаются вместе с процессом и дают независимую картину того, на что процесс способен.

г) хотя получение количественных данных дороже, чем альтернативных, объемы подгрупп для количественных данных почти всегда гораздо меньше и при этом намного эффективнее. Карты средних () и размахов () или выборочных стандартных отклонений ()

Карты для количественных данных отражают состояние процесса через разброс (изменчивость от единицы к единице) и через расположение центра (среднее процесса). Поэтому контрольные карты для количественных данных почти всегда применяют и анализируют парами - одна карта для расположения и одна - для разброса. Наиболее часто используют пару - и -карту. В таблице 1 приведены формулы контрольных границ и коэффициенты для соответствующих карт.

Таблица 1 - Формулы контрольных границ для карт Шухарта с использованием количественных данных

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Статистика | Стандартные значения не заданы | | Стандартные значения заданы | |
|  | Центральная линия | и | Центральная линия | и |
|  |  |  | или |  |
|  |  | , | или | , |
|  |  | , | или | , |

Карты медиан - альтернатива *-* и -картам для управления процессом с измеряемыми данными. Они обеспечивают аналогичные выводы и имеют определенные преимущества. Такие карты просты в применении и не требуют больших вычислений.

Это может облегчить их внедрение в производство. Поскольку на карты наносят значения медиан наряду с индивидуальными значениями, карта медиан дает разброс результатов процесса и подробную картину вариаций.

Часто бывает затруднительно, экономически не оправдано или невозможно проводить измерения, необходимые для построения контрольных карт по количественным признакам. В этом случае используют контрольные карты по альтернативному признаку. Это значит, что после проверки изделие считается либо годным, либо дефектным и решение о качестве контролируемой совокупности принимают в зависимости от числа обнаруженных в выборке или пробе дефектных изделий или от числа дефектов, приходящихся на определенное число изделий (единиц продукции).

В тех случаях, когда контроль по альтернативному признаку применяется для определения состояния технологического процесса, соответствующий метод статистического регулирования технологических процессов называют методом учета дефектов.

Наиболее распространенными для метода учета дефектов являются контрольные карты доли дефектных единиц продукции, называемые р – картами, и количества дефектов на единицу продукции, называемые с – картами. Два других вида контрольных карт этой группы – контрольные карты количества дефектных единиц продукции np – карты и u – карты.

Одним из видов контрольных карт по альтернативному признаку являются р – карты.

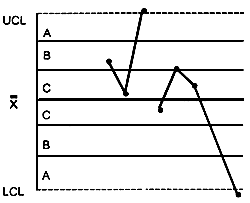
При использовании контрольных карт для альтернативных данных достаточно одной карты, так как предполагаемое распределение имеет только один независимый параметр - средний уровень. - и -карты основаны на биномиальном распределении, а  - и -карты - на распределении Пуассона.

Расчеты для этих карт одинаковы, за исключением случаев непостоянства объема подгрупп. Когда объем подгрупп постоянен, для каждой подгруппы могут быть выбраны одни и те же контрольные границы. Если число контролируемых единиц в каждой подгруппе различно, должны быть рассчитаны контрольные границы отдельно для каждого объема подгруппы. Таким образом, - и -карты могут быть применены при постоянном объеме подгруппы, а - и -карты - в любой ситуации.

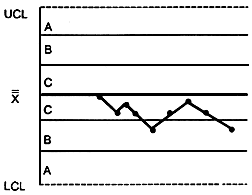
Когда объем подгруппы изменяется от выборки к выборке, для каждой подгруппы рассчитывают свои контрольные границы, при этом чем меньше объем подгруппы, тем шире полоса между этими границами, и наоборот. Если объем подгрупп меняется несущественно, то можно ограничиться одним набором контрольных границ, основанным на среднем объеме подгруппы. Для практических целей достаточно, если объемы подгрупп находятся в пределах ±25% целевого объема подгруппы.

**1.3 Критерии нестабильности процесса**

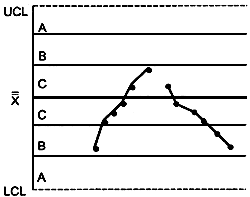
Для интерпретации хода процесса по картам Шухарта существует набор из восьми дополнительных критериев, который схематически показан на рисунке 2



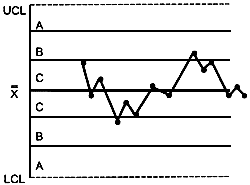
КРИТЕРИЙ 1 - Одна точка вне зоны



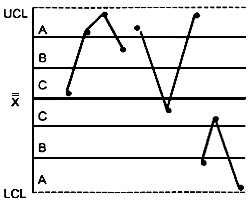
КРИТЕРИЙ 2 - Девять точек подряд в зоне  или по одну сторону от центральной линии



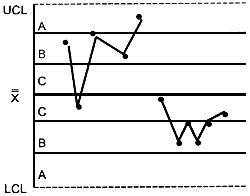
КРИТЕРИЙ 3 - Шесть возрастающих или убывающих точек подряд



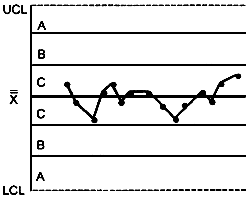
КРИТЕРИЙ 4 - Четырнадцать попеременно возрастающих и убывающих точек



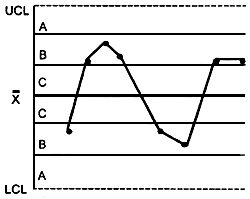
КРИТЕРИЙ 5 - Две из трех последовательных точек в зоне  или вне ее



КРИТЕРИЙ 6 - Четыре из пяти последовательных точек в зоне  или вне ее



КРИТЕРИЙ 7 - Пятнадцать последовательных точек в зоне  выше и ниже центральной линии



КРИТЕРИЙ 8 - Восемь последовательных точек по обеим сторонам центральной линии и ни одной в зоне 

Рисунок 2 - Критерии для особых причин

Этот набор критериев можно принять за основу, но НЕ эталон поэтому нужно обращать внимание на любую необычную структуру точек, которая может указывать на проявление особых (неслучайных) причин. Поэтому эти критерии следует рассматривать только как примеры ситуаций, когда может быть установлено проявление неслучайных причин. Появление любого из случаев, описанных в этих критериях, - указание на присутствие особых причин, которые должны быть проанализированы и скорректированы.

**1.4 Рекомендации по применению контрольных карт**

1 Выбор показателей качества

Необходимо выбрать показатели качества для программы контроля. Основными являются показатели, влияющие на эксплуатационные характеристики продукции или услуги. Статистические методы управления должны быть введены в первую очередь там, где контрольные карты будут помогать в сборе информации о процессе во времени, что позволит корректировать процесс и производить лучшую продукцию или услугу. Показатели качества продукции или услуги должны быть выбраны таким образом, чтобы оказывать решающее влияние на их качество и обеспечить стабильность процессов.

2 Анализ процесса производства

Детальный анализ процесса производства проводят для того, чтобы определить:

а) вид и локализацию причин, которые могут возникнуть нерегулярно;

б) влияние вводимых норм;

в) методы и место контроля;

г) все другие существенные факторы, которые могут влиять на процесс производства.

Анализ следует также проводить для определения стабильности производственных процессов, точности производственного и контрольного оборудования, качества производимой продукции или услуги и характера связи между типами и причинами несоответствий. Условия выполнения производственных операций и обеспечения качества должны быть отрегулированы одновременно с корректировкой производственного процесса и оборудования, а также с разработкой планов статистического управления процессами.

3 Выбор рациональных подгрупп

В основе контрольных карт лежит идея Шухарта о разделении наблюдений на так называемые "рациональные" подгруппы, внутри которых могут возникнуть вариации, обусловленные только случайными причинами, в то время как различия между ними могут быть обусловлены особыми причинами, которые контрольные карты и должны обнаружить.

Для этого необходимы определенные технические знания и знакомство с условиями производства и получения данных. При отнесении каждой подгруппы к определенному интервалу времени или источнику неслучайные причины, нарушающие ход процесса, можно более точно проводить и скорректировать, если это необходимо. Записи данных контроля и испытаний, представленные в том порядке, в котором проводились наблюдения, дают основание для выбора подгрупп во времени. Это всегда полезно в производстве, где важно постоянно поддерживать во времени систему причинно-следственных связей.

Следует помнить, что анализ сильно упрощается, если при планировании сбора данных обращать внимание на то, чтобы данные от каждой подгруппы можно было рассматривать именно как отдельную рациональную подгруппу. Необходимо, насколько это, возможно, объем подгрупп  поддерживать постоянным, чтобы избежать ошибок в пересчетах и интерпретации. Однако принципы, на которых основаны карты Шухарта, применимы и в случаях переменного значения параметра .

4 Частота и объем подгрупп

Нет общих правил для выбора частоты отбора подгрупп и их объемов. Частота может зависеть от стоимости процедур взятия и анализа выборки, а объем подгрупп - от ряда практических соображений. Например, большие подгруппы, берущиеся с меньшей частотой, могут обнаружить малый сдвиг среднего процесса более точно, но малые подгруппы, берущиеся чаще, обнаруживают большие сдвиги быстрее. Часто объем подгруппы берется из 4 или 5 единиц, а частота отбора обычно выше в начале работы, чем при достижении состояния статистической управляемости. Обычно 20-25 подгрупп объема 4 или 5 рассматриваются как приемлемые для получения предварительных оценок.

Частота выборок, стабильность и возможности процесса должны рассматриваться совместно, так как для оценки  часто используют среднее значение размаха , и количество источников вариаций увеличивается с ростом временного интервала между выборочными единицами внутри подгруппы. Поэтому увеличение времени между выборочными единицами в подгруппе увеличивает  и оценку , расширяет контрольные границы и тем самым уменьшает индекс возможностей процесса.

Можно увеличить индекс возможностей, выбрав последовательные единицы продукции, получая малые значения  и оценки , но состояния статистической управляемости будет трудно достигнуть.

5 Предварительный сбор данных

После решения о выборе характеристики (показателя) качества, которую следует контролировать, частоты и объема подгрупп должны быть собраны и проанализированы некоторые первоначальные данные контроля или измерений, чтобы определить предварительные параметры контрольных карт: центральную линию и контрольные границы. Предварительные данные могут быть собраны последовательно, пока не будет получено 20-25 подгрупп при непрерывном ходе производственного процесса. При их сборе важно позаботиться, чтобы процесс не подвергался особым внешним влияниям, таким как изменения в подаче материалов, операциях, режимах станков и т.п. Другими словами, процесс должен быть достаточно стабилен в период сбора предварительных данных.