ГОСТ Р 50779.40—96
(ИСО 7870—93)

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Статистические методы

КОНТРОЛЬНЫЕ КАРТЫ

Общее руководство и введение

Издание официальное

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 125 «Стандартизация статистических методов управления качеством»,

Акционерным обществом «Нижегородский научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АО «НИЦ КД»)

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 14 августа 1996 г. № 511

3 Настоящий стандарт, за исключением приложения А, представляет собой полный аутентичный текст ИСО 7870—93 «Контрольные карты. Общее руководство и введение» с дополнительными требованиями, отражающими потребности экономики страны

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Август 2006 г.

© ИПК Издательство стандартов, 1996
© Стандартинформ, 2006

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

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Статистические методы

КОНТРОЛЬНЫЕ КАРТЫ

Общее руководство и введение

Statistical methods.
Control charts. General guide and introduction

Дата введения 1997—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает ключевые элементы и основные принципы применения контрольных карт (далее — КК). В стандарте приведена характеристика видов КК, включающих в себя КК, аналогичные КК Шухарта, а также КК приемки и прогноза состояния процесса.

Стандарт содержит обзор основных принципов и положений и сравнительные примеры применения различных КК с целью найти наиболее приемлемые из них для данных конкретных условий.

В стандарте не приведены специальные методы статистического управления, использующие КК. Эти методы рассмотрены в ГОСТ Р 50779.41 и ГОСТ Р 50779.43.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 50779.10—2000 (ИСО 3534-1—93) Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения

ГОСТ Р 50779.11—2000 (ИСО 3534-2—93) Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения

ГОСТ Р 50779.41—96 (ИСО 7873—93) Статистические методы. Контрольные карты для арифметического среднего с предупреждающими границами

ГОСТ Р 50779.42—99 (ИСО 8258—91) Статистические методы. Контрольные карты Шухарта

ГОСТ Р 50779.43—99 (ИСО 7966—93) Статистические методы. Приемочные контрольные карты

3 Определения

В настоящем стандарте применяют термины с соответствующими определениями, данные в ГОСТ Р 50779.10 и ГОСТ Р 50779.11.

4 Общие требования

Контрольные карты являются основным инструментом статистического управления качеством. КК применяют для сравнения получаемой по выборкам информации о текущем состоянии процесса с контрольными границами, представляющими пределы собственной изменчивости (разброса) процесса. КК используют для оценки того, находятся или не находятся производственный процесс, процесс обслуживания или административного управления в статистически управляемом состоянии. Первоначально КК были разработаны для применения в промышленном производстве. В настоящее время их широко используют в сфере обслуживания и других областях. Их также применяют как в высших уровнях управления, так и непосредственно на рабочих местах.

Собственный разброс характерен для всех процессов из-за большого числа незначительных случайных воздействий. Вследствие этого результаты измерений, полученные в ходе нормального

Издание официальное

течения процесса, непостоянны. Непостоянны и отслеживаемые статистические характеристики, например выборочное среднее, медиана и т.п. Поэтому необходимо ввести статистически обоснованные границы для данной отслеживаемой характеристики с целью минимизировать ошибочные решения при управлении процессом.

Считают, что процесс находится в статистически управляемом состоянии при отсутствии в нем систематических сдвигов. Если процесс находится в статистически управляемом состоянии, можно предсказывать его ход до тех пор, пока неслучайные (особые) причины не станут воздействовать на него, в результате чего процесс будет выведен из статистически управляемого состояния. В последнем случае результат не может быть предсказан при отсутствии информации об этих воздействиях. Такой статистически неуправляемый процесс нуждается в определенном вмешательстве для того, чтобы он стал статистически управляемым. Если отсутствуют способы вмешательства в процесс по некоторым экономическим или другим причинам, то по КК определяют только факт статистически неуправляемого состояния.

Метод контрольных карт представляет собой простой графический метод оценки степени статистически неуправляемого состояния процесса путем сравнения значений отдельных статистических данных из серии выборок или подгрупп с контрольными границами. Существует множество типов КК в зависимости от принимаемых решений, природы данных и вида статистической обработки данных. Слово «статистические» в выражении «статистические данные» указывает, что эти данные имеют статистические отклонения из-за наличия собственной изменчивости процесса.

Преимущество контрольной карты — простота ее построения и применения. Она служит своевременным индикатором статистически управляемого процесса. Однако контрольная карта — только часть полной системы анализа процесса. С ее помощью можно предсказать момент, когда определенная причина изменит течение процесса, но для установления ее природы и корректировки процесса необходимо проводить независимое исследование.

5 Контрольные карты для количественных и альтернативных данных

Контрольные карты могут быть применимы либо для «количественных», либо для «альтернативных» данных. Количественные данные — это результаты наблюдений, проводимых с помощью измерения и записи числовых значений данного показателя рассматриваемых единиц выборки, что предполагает некоторую непрерывную шкалу для этого показателя. Альтернативные данные — это результаты наблюдений наличия (или отсутствия) определенного признака или атрибута для каждой рассматриваемой единицы выборки и подсчета числа единиц, имеющих (или не имеющих) данный признак, или числа таких признаков, имеющихся в единице, группе, на данной площади, в данном объеме или в выборке.

В случае использования количественных данных могут быть применены КК двух видов. Первый вид рассматривает меру расположения (центр) количественных данных (КК расположения). Примерами такой меры служат выборочное среднее $\bar{x}$ или медиана M. Второй вид рассматривает меру разброса (рассеяния) отдельных выборочных данных в выборке или подгруппе, например размах R или выборочное стандартное отклонение S (КК разброса). КК обоих видов необходимы для эффективного управления процессами при наличии количественных данных (приложение А).

КК расположения применяют в случаях, когда необходимо оценить, произошел ли сдвиг в уровне процесса, в то время как КК разброса используют, чтобы определить наличие изменения значения стандартного отклонения в выборках или подгруппах. Вследствие того, что контрольные границы КК расположения являются функцией стандартного отклонения выборки, важно удостовериться, что собственный разброс процесса статистически устойчив.

Для большинства КК, которые могут быть применены для количественных данных, принято нормальное распределение (см. ГОСТ Р 50779.10). Обычно на КК расположения наносят арифметические средние, вычисляемые по данным измерений в каждой мгновенной выборке объема n. Как правило, за исключением нетипичных случаев, распределение средних арифметических значений стремится к нормальному распределению, даже когда распределение отдельных наблюдений не нормальное. В результате усреднения чувствительность к отдельным случайным отклонениям уменьшается, что способствует увеличению чувствительности к обнаружению сигнала об отклонении. Чаще всего для удобства принимают $n = 4$ и $n = 5$, однако экономический анализ может дать иные цифры, более подходящие для конкретной ситуации. Более широкий диапазон этих значений для различных КК можно найти в специальных международных стандартах.

В случае использования КК для альтернативных данных рисуют только одну КК.

p-карта (*p*-доля проявлений некоторого указанного признака) основана на биномиальном распределении. Выборочное стандартное отклонение для такой доли обозначают S_p. Поскольку

$$S_p = \sqrt{p\,(1-p)} / \sqrt{n}$$

и зависит только от *n* (которое зафиксировано) и *p*, отпадает необходимость в составлении отдельной КК для S_p.

c-карта (*c* — число проявлений данного признака) основана на распределении Пуассона. Выборочное стандартное отклонение такого числа обозначают S_c. Так как $S_c = \sqrt{c}$, то также нет необходимости в составлении второй КК для S_c.

6 Контрольные границы

Контрольные границы используют в качестве критерия для сигнализации о необходимости принять соответствующие меры или решить, находится процесс в статистически управляемом состоянии или нет. В некоторых случаях применяют дополнительные границы, называемые «предупреждающими», тогда первые — называют «границами регулирования». Управление процессом может иметь следующие формы:

а) определение причины статистически неуправляемого состояния процесса;

б) регулирование процесса;

в) остановка процесса.

Правила, по которым определяют причины превышения контрольных (границ регулирования) или предупреждающих границ, установлены ГОСТ Р 50779.41, ГОСТ Р 50779.42, ГОСТ Р 50779.43.

7 Мгновенные выборки

Мгновенная выборка — это выборка, взятая из технических соображений, внутри которой вариации могут быть рассмотрены только как следствие случайных (общих) причин. Возможные вариации между такими выборками, как правило, определяются неслучайными (специальными) причинами, наличие которых возможно и важно определить. Технические соображения включают в себя однородность, возможность извлечения выборки и экономические соображения. Использование мгновенных выборок при сборе данных — это одна из важнейших особенностей контрольной карты. Вариации внутри однородных выборок используют для определения контрольных границ или проверки краткосрочной стабильности. С другой стороны, долгосрочную стабильность обычно оценивают по вариациям между выборками. Несмотря на то, что относительно короткий промежуток времени является основным принципом формирования мгновенных выборок, основывающимся на ограниченности периода потенциального проявления неслучайных причин, могут быть учтены и другие соображения, например такие, как относительная однородность условий изготовления изделий (в том числе изготовление одним оператором). Одно и то же правило формирования мгновенной выборки должно быть использовано как при сборе данных, так и при определении контрольных границ.

В производстве мгновенная выборка должна быть сформирована из данных, собранных в короткий отрезок времени в однородных условиях (материал, инструмент, окружающая среда и т.п.). В сфере обслуживания и административной сфере мгновенные выборки можно сформировать с учетом специфических периодов времени или логических группировок в пределах выполняемых задач и обязанностей одного лица или группы людей. Изменчивость, наблюдаемая в этих обстоятельствах, должна определяться только случайными причинами. На больших отрезках времени могут действовать неслучайные причины, в том числе замена источника сырья, изменение множества данных для записи, переналадка установки или приспособлений, изменение служебной обстановки или смена оператора.

Подобные изменения могут и не привести к сдвигу уровня процесса, но они могут вызвать повышенный разброс значений измеряемых характеристик. Основной единицей измерения случайного разброса (измеренного по ряду выборок или известного из прошлой практики) служит стандартное отклонение внутри мгновенной выборки.

Мгновенная выборка должна быть сформирована в условиях воздействия всех обычных источников случайных вариаций. Например, при повторных измерениях параметра изделия инструмент, с помощью которого проводят измерения, может иметь недостаток. Результаты таких измерений будут искажены, и каждый такой результат может фактически выходить за контрольные

границы. Однако, если выборка велика настолько, что ожидаемые вариации намного увеличивают ее стандартное отклонение, то многие причины, повлекшие за собой такие изменения, останутся необнаруженными.

Стандартное отклонение внутри каждой мгновенной выборки принимают за основную единицу измерения разброса для контрольной карты. В случае, если разброс неизвестен заранее, то он должен быть оценен с помощью информации, собранной со значительного ряда мгновенных выборок. Рекомендуется рассматривать минимум 20 выборок. Необходимо проконтролировать то, что данные, собранные в базовый период времени, соответствуют статистически управляемому процессу. Это делают путем нанесения на КК выборочных стандартных отклонений мгновенных выборок. Данные должны соответствовать статистически управляемому состоянию процесса, т.е. выборочные стандартные отклонения должны лежать внутри контрольных границ. В противном случае нужно осуществить корректирующие воздействия, необходимые для получения таких базовых данных.

Основой для расчета контрольных границ служит величина, кратная σ_e — стандартному отклонению статистической характеристики. Эту величину , в свою очередь, получают из стандартных отклонений мгновенных выборок. Кратность, т.е. множитель при σ_e, среднее число отдельных наблюдений (объемы выборок), использование дополнительных правил (например, частота взятия выборок) и аналогичные вопросы рассмотрены в ГОСТ Р 50779.41, ГОСТ Р 50779.42, ГОСТ Р 50779.43. Если в качестве единицы разброса используют размах выборки, то основой для определения контрольных границ служит величина, кратная R, и стандартное отклонение σ_e не используют.

8 Виды контрольных карт

Существуют три основных вида контрольных карт (включая контрольные карты кумулятивных сумм):

а) КК Шухарта, включая ряд непосредственно относящихся к ней разновидностей;

б) приемочная КК;

в) адаптивная КК.

С помощью КК Шухарта, как правило, оценивают только, находится ли процесс в статистически управляемом состоянии. Однако во многих случаях эти КК используют в качестве средства приемки процесса, несмотря на то, что они не разработаны специально как критерии или границы допуска для процесса.

Приемочная КК предназначена специально для определения критерия приемки процесса.

С помощью адаптивной КК регулируют процесс посредством планирования его тренда и проведения упреждающей корректировки на основании прогнозов.

Некоторые специальные КК этих видов описаны в разделах 9—11.

9 Контрольная карта Шухарта и аналогичные контрольные карты

9.1 Основные положения

Контрольные границы — средство определения статистически управляемого состояния процесса. Д-р В.А. Шухарт для экономического управления качеством назначил их эмпирическим путем, но на основе применения статистических закономерностей. Предположения, касающиеся сбора данных, точной формы их распределения, и другие практические соображения, в том числе отсутствие или невозможность экономического анализа неслучайных (или необнаруженных) причин, исключили возможность использования строгого теоретико-вероятностного метода. Во-первых, перед нанесением контрольных границ определяют центральную линию на КК. Д-р Шухарт рекомендовал, чтобы эти границы были установлены на уровнях $\pm 3\sigma_e$, т.е. от центральной линии должна быть отложена величина, равная трем стандартным отклонениям (или ошибкам) измеряемой характеристики, оцененным по внутреннему разбросу мгновенных выборок. Поэтому при использовании КК для арифметического среднего границы обычно фиксируют на уровне $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$. Если принять, что распределение средних значений наблюдений нормальное, то в этих пределах будет сосредоточено 99,7% наносимых средних значений, и так до того момента, пока процесс находится в статистически управляемом состоянии. Это означает, что 0,3% точек (средних значений) могут

выходить за пределы этих границ. Эта величина получила название альфа-риск ($\alpha = 0{,}003$), т.е. риск совершить ошибку первого рода — ошибочно считать, что произошел сдвиг процесса. Однако, если на практике распределение не является нормальным и если незначительные отклонения от центральной линии не вызывают экономических неприятностей, то возможно, что вероятностная интерпретация неточна и служит в данном случае только вспомогательным средством. Нормальное распределение в *p*- и *c*-картах используют как приближенное описание величин, подчиняющихся биномиальному закону распределения и закону Пуассона. Как правило, достаточно использовать подходящий критерий (3σ-границы) и установить для практических целей относительно небольшой альфа-риск.

С другой стороны, встает вопрос о возможности обнаружения сдвигов вышеописанной величины. К примеру, можно предположить, что отдельные измерения имеют нормальное распределение и стандартное отклонение отдельных наблюдений процесса равно σ. Тогда, если произойдет сдвиг уровня процесса от требуемого значения на значение одного σ, необходимо определить, каков будет бета-риск, т.е. риск совершить ошибку второго рода — пропустить действительный сдвиг процесса. Например, при нанесении на КК средних значений четырех измерений $\beta = 84{,}1$ %, а при нанесении средних значений отдельных наблюдений $\beta = 97{,}5$ %. Одно из преимуществ практического применения КК Шухарта — нечувствительность к сравнительно небольшим сдвигам уровня процесса, которые в практических ситуациях обычно неважны. Чаще всего выход за контрольные границы связан с существенными неслучайными изменениями хода процесса. Более подробно этот вопрос рассмотрен в разделе 10.

В некоторых случаях при необходимости большей чувствительности к малым изменениям уровней процесса устанавливают предупреждающие границы на уровне $\pm 2\sigma_e$, которые используют в дополнение к контрольным границам, установленным на уровне $\pm 3\sigma_e$. При этом вводят дополнительные правила принятия решений (ГОСТ Р 50779.41). В этом случае увеличивается альфа-риск процесса, т.е. риск ошибочного решения о «неуправляемости» процесса. Существуют другие способы повышения чувствительности такого рода, например использование КК на основе объединенных данных из нескольких мгновенных выборок.

Применяют и другие критерии принятия решений, основанные на теории случайных процессов. При работе с КК процесс рассматривают как непрерывную последовательность значений одной и той же характеристики или случайного события в серии наблюдений или как последовательность возрастающих (возрастающий процесс), или как последовательность убывающих (убывающий процесс) величин, или как последовательность точек, лежащих как выше, так и ниже центральной линии.

Многие из КК, рассматриваемых в разделе 9, не были предложены д-ром Шухартом, но все они включены в эту группу, поскольку позволяют определить, находится ли процесс в статистически управляемом состоянии или нет. Соответствие техническим требованиям (допуску) не учитывают при выборе критерия принятия решений.

Существуют два основных типа КК Шухарта. В КК первого типа нанесены контрольные границы, рассчитанные на основе выборочных данных, но не указаны стандартные значения. Контрольные карты этого типа используют для определения, есть ли в серии наблюдений отклонения, превышающие ожидаемые и чисто случайные отклонения. Они полностью базируются на оценке выборочных данных. Эти КК применяют для обнаружения непостоянства системы причин, влияющих на изменение процесса и определение воспроизводимости показателей качества продукции или услуг и повторяемости (воспроизводимости) получаемых величин на стадиях изучения, разработки, постановки продукции на производство или в начальной стадии процесса обслуживания.

К другому типу относят КК, контрольные границы которых определяют на основе установленных стандартных значений для статистических характеристик, наносимых на карту. КК этого типа служат для определения, будут ли выборочные значения отличаться от установленных стандартных значений (т.е. превышают ли эти отклонения ожидаемые случайные отклонения). Стандартные значения могут быть установлены с учетом следующих факторов:

а) представительных предварительных данных (например, полученных на практике с помощью КК при отсутствии указанных стандартных величин);

б) экономических соображений, потребностей в услуге и затрат на производстве;

в) желательного или требуемого (установленного) значения, указанного в технической документации.

Необходимо отметить, что КК этого типа оценивают не только постоянство системы причин, влияющих на процесс, но ее соответствие указанным в технической документации стандартным значениям.

9.2 Неполный перечень контрольных карт Шухарта и других контрольных карт этого вида (включая карты кумулятивных сумм)

В этот перечень входят КК двух типов:

1) использующие данные одной выборки;

2) использующие данные нескольких мгновенных выборок.

9.2.1 Контрольные карты, использующие данные одной выборки для каждого наносимого на карту значения

К КК этого типа относят:

а) $\overline{x}$- и R-карты (для выборочных средних значений и размахов). При этом медиана может быть использована вместо $\overline{x}$, а S — вместо R;

б) $\overline{x}$-карту и карту скользящих размахов [КК индивидуальных значений со скользящим размахом (9.2.2а)];

в) p-карту (КК процентов или долей несоответствий);

г) np-карту (КК числа несоответствующих изделий);

д) c-карту (КК числа несоответствий);

е) $u = c/n$-карту (КК числа несоответствий, приходящихся на единицу продукции);

ж) Q-карту [КК взвешенного качества (качество определяют методом весовых коэффициентов)];

з) D-карту (разновидность Q-карты);

и) КК для нескольких признаков [КК для оценки поведения процесса на основе двух или более признаков, объединенных в качестве одной статистики для мгновенной выборки. Если рассматриваемые переменные или характеристики независимы (не коррелированы), то, как правило, на КК наносят χ^2 статистику. Если характеристики коррелированы, то обычно используют T^2 статистику (см. ГОСТ Р 50779.10)];

к) КК трендов [для оценки уровня процесса на основе отклонения выборочных средних значений мгновенных выборок от ожидаемого тренда уровня процесса. Тренд можно определить эмпирически или с помощью методов регрессионного анализа].

9.2.2 Контрольные карты, использующие данные нескольких выборок для каждого наносимого на контрольную карту значения

Это следующие КК:

а) карты скользящих выборочных средних и скользящих размахов.

Берут невзвешенные средние последних n наблюдений. При этом появляющееся новое наблюдение заменяет самое первое (старое) из предыдущей серии n наблюдений. Этот тип КК дает преимущество усреднения, уменьшающего случайные колебания, особенно, если доступно только одно наблюдение в каждой мгновенной выборке. Но недостатком этой КК является отсутствие взвешивания на протяжении n точек. В ряде случаев на $\overline{x}$-карту наносят отдельные наблюдения ($n = 1$) и на карту размахов — скользящие размахи (обычно $n = 2$). Эти КК теряют преимущество усреднения, позволяющего использовать предположение о нормальности распределения, но способствуют визуальной оценке данных;

б) карты экспоненциально взвешенного скользящего выборочного среднего (EWMA) или карты с экспоненциальным сглаживанием или геометрическим взвешиванием.

Результаты отдельных текущих измерений или выборочные средние значения мгновенных выборок, полученных предварительно, усредняют, но для более ранних измерений весовой коэффициент прогрессивно уменьшается. Из-за усиливающегося влияния последних измерений эта КК более чувствительна к небольшим сдвигам в уровне процесса по сравнению с обычной $3\sigma_e$-картой Шухарта.

EWMA-карта позволяет легко оценить среднее значение уровня процесса, что имеет особую важность, если поставлена задача определить время и степень регулирования процесса;

в) карты кумулятивных сумм (кусум-карты).

На них наносят накопленные суммы отклонений отдельных измерений или выборочных средних значений выборок от установленного (заданного) значения. Границы в этих КК устанавливают с помощью масок. Наиболее распространенный вид — усеченная V-маска. Эта КК наиболее быстро реагирует на небольшие сдвиги уровня процесса по сравнению с обычной $3\sigma_e$-картой Шухарта. Использование V-маски часто полезно для определения начала сдвига уровня процесса.

10 Приемочные контрольные карты

10.1 Общие положения

Приемочная контрольная карта — графический инструмент, позволяющий решать двойную задачу оценки состояния процесса:

а) находится ли процесс в статистически управляемом состоянии относительно внутреннего разброса в выборках;

б) можно ли ожидать, что продукция или вид услуг будут соответствовать требованиям к измеряемым(ой) характеристикам(е).

Особенность приемочной КК в отличие от обычной КК Шухарта состоит в том, что процесс не требует удержания его около некоторого единственного стандартного уровня до тех пор, пока разброс внутри выборок можно считать удовлетворительным. При этом процесс может протекать на любом уровне или уровнях в пределах некоторой зоны, установленной с учетом практических требований. Предполагают, что некоторые из причин вызовут сдвиги уровня процесса, но они настолько малы относительно установленных требований, что проводить жесткое управление неэкономно. Это означает, что слишком тщательное отслеживание уровня процесса потребует больших затрат и, кроме того, может увеличить изменчивость процесса. С другой стороны, некоторые сдвиги уровня весьма значительны для раннего обнаружения и важно принимать во внимание риск их необнаружения. Одно из достоинств этой КК — отсутствие излишнего управления, т.е. ненужных корректировок процесса. Они часто ухудшают стабильность процесса из-за ложных вмешательств в процесс и требуют последующих корректировок. В результате корректировки уровня процесса, который находится в «приемочной зоне процесса», изменчивость процесса увеличивается, а не наоборот.

Ключевое отличие этой КК от КК Шухарта и других аналогичных КК — учет требований, которые не определяются из самого процесса и его статистически управляемого состояния.

Инспектор или эксперт по качеству устанавливает приемочную зону процесса, ограниченную приемочными уровнями и рядом браковочных уровней процесса. После этого он определяет объем выборки, соответствующий заданному альфа-риску для браковочных уровней процесса и бета-риску для приемочных уровней процесса. Исходя из этих критериев, вычисляют и наносят на карту специальные контрольные границы, предназначенные для принятия решений оператором. Статистически управляемое состояние процесса определяют по вариациям между выборками. Данные КК характеризуются значительной гибкостью, в том числе из-за использования асимметричных границ.

10.2 Модифицированная контрольная карта или контрольная карта с модифицированными границами

К особой разновидности приемочной КК относят карты, в которых контрольные границы располагают относительно границ допуска как «естественные границы процесса», называемые 3σ-границами (трехсигмовыми границами) для индивидуальных значений. После этого контрольные границы сдвигают на $(3 - 3/\sqrt{n})\sigma$ внутрь границ допуска и рассматривают как модифицированные границы. Но этот метод не позволяет вычислить бета-риск для заданных браковочных уровней процесса, а также не содержит правил нахождения объема выборки. Контрольные границы в некоторых случаях устанавливают на уровне $(3—2/\sqrt{n})\sigma$, что обеспечивает большую жесткость границ.

Более подробно указанные КК описаны в ГОСТ Р 50779.43.

10.3 Неполный перечень приемочных контрольных карт

10.3.1 Приемочные контрольные карты

На КК этого вида указывают приемочный уровень процесса, соответствующий альфа-риску забраковки процесса, и браковочный уровень процесса, соответствующий бета-риску приемки процесса, дающего большое количество несоответствующих изделий.

КК этого вида делятся на:

а) $\bar{x}$- и R-карты (карты выборочных средних значений и размахов);

б) p-карты (карты для процентов или долей несоответствий);

в) c-карты (карты для числа несоответствий).

10.3.2 Модифицированные контрольные карты

На этих КК обозначены контрольные границы, основанные на взаимосвязи уровня процесса, соответствующего альфа-риску, и границы поля допуска.

11 Адаптивные контрольные карты

Контрольные карты этого вида применяют в том случае, когда возможно регулирование процесса и когда необходимо строгое отслеживание стандартных уровней. Это предполагает применение моделей прогноза с различной степенью сложности для предсказания хода процесса по его текущему состоянию и внесения своевременной корректировки при отклонении процесса от стандартного уровня. Поскольку элементы этих моделей существенно зависят от особенностей процесса, адаптивные КК обычно уникальны и должны быть использованы в частных случаях. В отличие от КК предыдущих видов, эти КК учитывают предварительные оценки уровней процесса с учетом предположения, что процесс будет развиваться в том же направлении и что во избежание отклонения от предсказанного движения необходима регулярная корректировка. Если модель хорошая, этот метод может быть эффективным для уменьшения изменчивости процесса. Если же модель не слишком хороша, то возможно увеличение изменчивости.

12 Риски, связанные с решениями, принимаемыми на основе контрольных карт. Критерии эффективности

Контрольные карты предназначены для того, чтобы сигнализировать о сбоях, например о сдвигах уровня процесса. Для любого статистического метода принятия решения характерны ошибки двух родов:

а) к ошибкам первого рода относят ложное выявление сдвига уровня процесса при его фактическом отсутствии. Результаты этих ошибок — затраты, связанные либо с излишним регулированием, либо с напрасными исследованиями несуществующих проблем;

б) к ошибкам второго рода относят необнаружение сдвигов. В результате возникают потери вследствие затрат, вызванных неудовлетворительным состоянием процесса, который не был своевременно остановлен (например, таким, при котором производят большое число несоответствующих единиц продукции или услуг). При этом отсутствуют возможности установить причины отклонений процесса.

Для данной КК с известными параметрами, включающими в себя объем выборки и контрольные границы, строят кривую оперативной характеристики (ОХ), которая показывает вероятность принятия решения о сдвиге уровня процесса в данный момент времени как функции от уровня процесса. Построение кривой ОХ применимо исключительно для КК Шухарта и приемочных КК, которые предполагают принятие решения, основанного на данных в текущий момент времени. Для КК экспоненциально взвешенных движущихся средних и кусум-карт, использующих ранее полученную информацию, данный способ не следует применять и целесообразно иметь дело со средней длиной серий выборок (*ARL*) до обнаружения сигнала об отклонении процесса.

При этом длину серии выборок рассматривают как количество выборок, которые контролируют от момента наступления изменения в процессе до момента обнаружения этого изменения по контрольной карте. Например, как показано на рисунке 1, изменение среднего значения уровня процесса происходит между точками *10* и *11*, но оно не было обнаружено до нанесения на КК точки *20*. Таким образом, длина серии составляет 10 выборок. В других случаях, при наличии такого же изменения среднего значения уровня процесса длина серии выборок может составить 5 или 20 выборок или другое число в зависимости от случайных вариаций в выборках. Из этого следует, что каждому изменению уровня процесса соответствует диапазон возможных длин серии выборок. При составлении КК целесообразно учитывать среднее значение этого диапазона *ARL*. *ARL* дает среднее

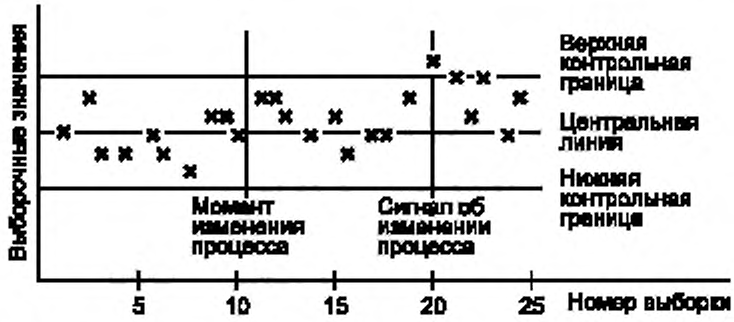


Рисунок 1 — Пример применения контрольной карты для случая, когда длина серии выборок равна 10 выборкам между моментом изменения процесса и сигналом об его изменении

значение промежутка времени, в течение которого КК не покажет, что процесс вышел из управляемого состояния. Причем, иногда фактическая длина серии выборок может быть больше или меньше *ARL*.

Большое значение *ARL* предпочтительно для процесса, расположенного вблизи установленного уровня (с тем, чтобы уменьшить возможность ненужной корректировки), а малое значение *ARL* предпочтительно для процесса со сдвигом на нежелательный уровень (для обеспечения своевременной корректировки). Кривые *ARL* могут быть использованы для оценки оперативности обнаружения сдвигов уровней процесса при применении различных КК.

13 Экономические соображения

Важной частью экономической оценки влияния альфа- и бета-рисков является определение частоты отбора выборок.

Это в большей степени необходимо для целей приемки процесса, чем для определения статистически управляемого состояния.

Такое предварительное исследование приводит к специальным рекомендациям для выборки «экономических контрольных карт».

Специальные рекомендации по объемам выборок и частоте проверок приведены в стандартах на конкретные контрольные карты.

Принцип использования КК на начальном этапе заключается в умении быстро сделать выводы на основе частых выборок. После того как процесс стабилизируется и будет известно его предыдущее развитие, частота взятия выборок может быть снижена. Выборки большого объема могут быть использованы при обнаружении назначительных сдвигов уровней процесса, но более частые выборки малого объема могут быть применимы для более раннего обнаружения значительных сдвигов процесса.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

Пояснения к применению различных видов контрольных карт для количественных данных

А.1 Множество видов контрольных карт и, соответственно, статистических методов управления процессами, например технологическими процессами (ТП), можно разбить на два вида, различающихся по целям и методам расчета этих КК.

А.2 Контрольные карты Шухарта позволяют определить, находится (находился) ли ТП в одном и том же статистически управляемом состоянии или в отдельные периоды времени было статистически значимое нарушение его состояния. КК Шухарта может быть применена в задачах:

- анализа состояния ТП (обычно за прошедший период времени) с целью обнаружить дестабилизирующие (общие) воздействия (факторы, причины);
- слежения за состоянием ТП с остановками или корректировками (регулировками) ТП в случае необходимости.

Характерным отличием КК Шухарта является способ определения контрольных границ. Их определяют на основе оценки σ: в первой задаче — по выборке; во второй задаче — по предварительному исследованию. Контрольные границы устанавливают обычно на расстоянии $-3\sigma_e$ и $+3\sigma_e$ соответственно от центральной линии. Такой центральной линией в первой задаче обычно является выборочное среднее, а во второй задаче — центр поля допуска.

Логика работы с контрольными границами следующая: если точки на КК лежат внутри контрольных границ, то считается, что все колебания точек здесь объясняются чисто случайными факторами. Если же одна или несколько точек выходят за контрольные границы, то считается, что такие отклонения не могут произойти случайно, т.е. здесь имеет место воздействие неслучайного фактора. В первой задаче — это повод для обнаружения такого фактора, во второй задаче — повод для остановки и (или) корректировки ТП.

Заметим, что КК Шухарта и соответствующие контрольные границы могут быть рассчитаны не только для индивидуальных значений показателя качества, но и для простейших выборочных характеристик, например для средних арифметических значений, для медиан, для средних квадратических отклонений, размахов и т.д.

Общей характерной чертой всех этих КК является то, что контрольные границы не имеют отношения к нижним ($T_н$) и верхним ($T_в$) предельным значениям поля допуска. Таким образом, КК Шухарта в случае второй задачи позволяют поддержать ТП в статистически управляемом состоянии, но какой конкретно уровень качества будет обеспечен при этом, заранее гарантировать нельзя. Поэтому КК Шухарта применяют для стабилизации ТП (во второй задаче), но не для приемки продукции в ходе ТП.

А.3 С помощью приемочных контрольных карт по результатам измерений периодически берущихся выборок можно принимать решение об удовлетворительном или неудовлетворительном состоянии ТП с учетом границ поля допуска. В случае удовлетворительного состояния осуществляют одновременную приемку продукции, произведенной за период от предыдущей до настоящей выборки. При неудовлетворительном состоянии ТП по результатам данной выборки вся продукция, произведенная за период от предыдущей до настоящей выборки, должна быть проверена (разбракована) по данному показателю качества. Таким образом, КК этого вида позволяет отказаться от отдельной процедуры приемочного статистического контроля, обеспечивая на выходе ТП уровень качества не более какого-либо установленного нормативного значения.

Приемочные КК имеют контрольные границы, но их рассчитывают на основе сужения границ поля допуска. Величина сужения зависит от измеряемой характеристики, а также от нормативного значения показателя качества, который должен быть обеспечен при работе с такими КК.

Таким образом, для приемочных КК контрольные границы зависят от границ поля допуска.

А.4 Назначением любых КК является отслеживание поведения ТП, т.е. отслеживание параметров плотности распределения (μ-центра и σ-ширины Гауссовой кривой). Следует заметить, что значение σ, обычно определяемое точностью оборудования, как правило, достаточно постоянно. Однако есть опасность неожиданного увеличения σ, например из-за ослабления крепления деталей или приспособлений; в этом случае за увеличением значения σ также следует наблюдать. Делать это можно по тем же выборкам, но для этого требуется еще одна, вторая контрольная карта, которую ведут параллельно с первой. Эту пару контрольных карт обычно называют «двойной контрольной картой».

Итак, КК любого вида отслеживает либо μ, либо σ для распределения данного показателя качества. Отслеживание первого из этих параметров возможно с помощью:

- индивидуальных значений;

- средних арифметических значений для мгновенных выборок;
- медиан[1)].

Соответствующие три вида КК эквивалентны по цели применения, но имеют разные характеристики.

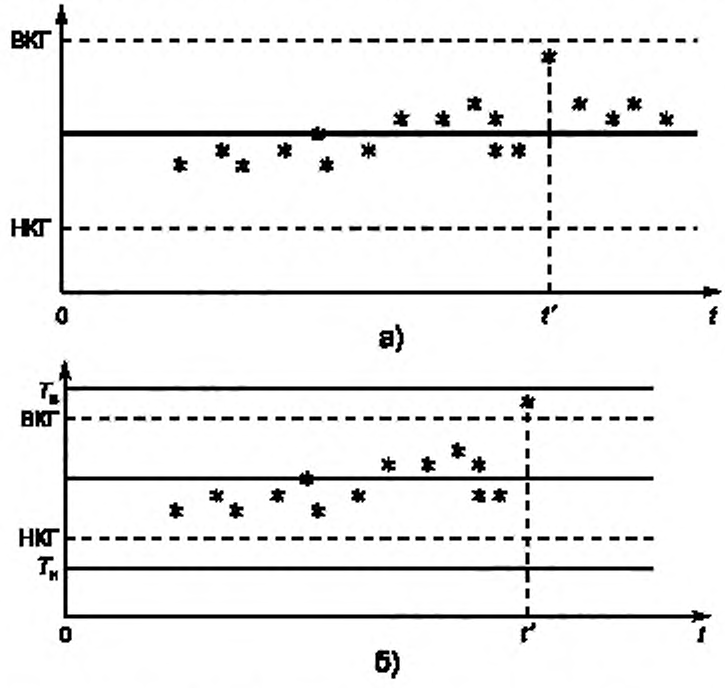
Эффективнее для μ — использование $\bar{x}$-карты средних арифметических значений, но для ее применения необходимо вычислять среднее арифметическое значение для каждой берущейся мгновенной выборки и наносить соответствующее значение на карту.

Карта медиан (M-карта) уступает по эффективности карте средних арифметических при том же объеме выборок, так как медиана имеет больший разброс, чем среднее арифметическое. Но медиана не требует вычислений, а разброс здесь иногда может быть компенсирован увеличением объема выборок.

КК индивидуальных значений уступает по эффективности КК медиан, так как индивидуальные значения имеют больший разброс, чем среднее арифметическое и медиана, но эта КК является самой простой.

Следует подчеркнуть, что любая из КК этих трех видов может быть контрольной картой Шухарта или приемочной контрольной картой. Но при этом их рассчитывают по-разному. КК Шухарта средних арифметических значений и приемочная КК средних арифметических значений — это карты, существенно различающиеся как по назначению, так и по рассчитанным контрольным границам.

На рисунке А.1 изображены одни и те же результаты наблюдений за ТП по двум КК: карте Шухарта средних арифметических значений и приемочной контрольной карте средних арифметических значений. В данном случае контрольные границы для КК Шухарта оказались шире, чем для приемочной КК. Поэтому в момент времени t' КК Шухарта не обнаруживает выхода ТП из статистически управляемого состояния. Однако приемочная КК сигнализирует о недопустимом отклонении среднего арифметического значения в момент t'. В последнем случае технологический процесс должен быть остановлен для настройки, а продукция от предыдущей выборки до выборки в момент t' должна быть подвергнута сплошной разбраковке.

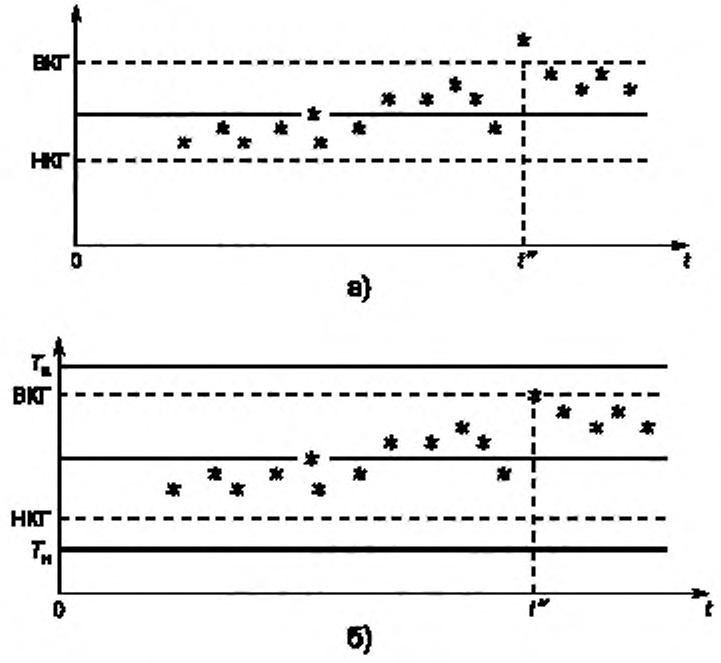


$T_н$, $T_в$ — нижнее и верхнее предельные значения поля допуска;
НКГ, *ВКГ* — нижняя и верхняя контрольные границы; t' — фиксированный момент времени

Рисунок А.1 — Контрольная карта Шухарта (*а*) и приемочная контрольная карта средних арифметических значений мгновенных выборок (*б*) в момент времени t'

[1)] Медианой при нечетном числе выборочных значений является центральное значение, а при четном числе выборочных значений — среднее арифметическое от двух центральных по величине выборочных значений. Обычно для медиан используют выборку нечетного объема.

На рисунке А.2 также изображены две подобные контрольные карты, но ситуация обратная. В момент t'' КК Шухарта фиксирует выход из статистически управляемого состояния. Но с точки зрения приемки продукции, т.е. гарантируемого уровня качества, это изменение ТП несущественно.



$T_н$, $T_в$ — нижнее и верхнее предельные значения поля допуска;
НКГ, ВКГ — нижняя и верхняя контрольные границы, t'' — фиксированный момент времени

Рисунок А.2 — Контрольная карта Шухарта (*а*) и приемочная контрольная карта средних арифметических значений мгновенных выборок (*б*) в момент времени t''

УДК 658:311:006.354 ОКС 03.120.30 Т59 ОКСТУ 0011

Ключевые слова: контрольные карты; приемочные контрольные карты; изменчивость процесса; стабильность процесса; статистическое управление процессом; статистически управляемое состояние процесса

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *Н.С. Гришанова*
Корректор *А.С. Черноусова*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Подписано в печать 26.09.2006. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,40. Тираж 83 экз. Зак. 688. С 3311.

ФГУП «Стандартинформ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
info@gostinfo.ru
Набрано во ФГУП «Стандартинформ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «Стандартинформ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6

gost.e-ecolog.ru
gost.e-ecolog.ru