

УДК 519.284

Н.А. Рековец

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛАДКИ ПРОЦЕССА

*В соответствии с ДСТУ ISO 17025 и ДСТУ ISO 5725 качество испытаний и квалификационный уровень лаборатории должен быть подтвержден внутрилабораторным мониторингом. Для этой цели рекомендуется использовать контрольные карты Шухарта, модифицированные для испытательного процесса. Однако применение контрольных карт для «нетипичных» ситуаций, когда нет непосредственно выхода результатов за контрольный уровень, не имеет теоретического обоснования и в большей степени носит эвристический характер, базирующийся на интуиции исследователя. В данной статье приведены результаты анализа возможных ситуаций, по которым можно судить о нарушении условий повторяемости и (или) воспроизводимости в испытательной лаборатории.*

**Ключевые слова:** разладка процесса, контрольные карты Шухарта, особые случаи.

### Введение

Согласно рекомендациям, которые приведены в [4] ГОСТе Р ИСО 5725-6-2002 для внутрилабораторного контроля правильности, прецизионности и воспроизводимости исследований оптимальным является использование контрольных карт [1 – 3].

Контрольные карты – традиционный инструмент, который используется для контроля качества технологических процессов, но нашей задачей является адаптация и его использование при проведении лабораторных испытаний. Контрольная карта (КК) – это график значений определенных характеристик подгрупп в зависимости от их номеров. Она имеет центральную линию (CL), соответствующую эталонному значению характеристики и две статистические определяемые контрольные границы относительно центральной линии, которые называются верхней контрольной границей (UCL – Upper Control Limit) и нижней контрольной границей (LCL – Lower Control Limit)

Контрольные границы на КК находятся на расстоянии  $3\sigma$  от центральной линии, где  $\sigma$  – генеральное стандартное отклонение используемой статистики. Границы  $\pm 3\sigma$  указывают, что около 99,7% значений характеристики подгрупп попадут в эти пределы при условии, что процесс находится в статистически управляемом состоянии. Другими словами, есть риск, равный 0,3% (или в среднем три на тысячу случаев), что нанесенная точка окажется вне контрольных границ, когда процесс стабилен.

Вероятность того, что нарушение границ в самом деле случайное событие, а не реальный сигнал, считается столь малой, что при появлении точки вне границ следует предпринять определенные действия. Поэтому когда точка на контрольной карте, соответствующая выборочному значению контролируемой характеристики оказывается вне ограни-

ченной контрольными пределами области, это дает основания предполагать, что **производственный процесс разладился**. Однако существуют «нетипичные» ситуаций, когда нет непосредственно выхода результатов за контрольный уровень, но при этом процесс находится в состоянии статистической неуправляемости.

Исходя из предположения, что лабораторные испытания проводятся в условиях повторяемости, то при контроле лабораторного производственного процесса с использованием КК, можно гарантировать, что выполняются следующие условия

**1. Процесс находится в нормальном состоянии (т.е. центральная линия проведена через значение, равное среднему  $\bar{X}$  контролируемой характеристики генеральной совокупности изделий).**

**2. Значения следующих друг за другом выборок независимы (т.е. отсутствует автокорреляция – выбор времени между выборками).**

**3. Выборочные значения контролируемой характеристики распределены по нормальному закону.**

Тогда существует следующая взаимосвязь между величиной среднего квадратического отклонения  $\sigma$  и количеством наблюдений  $n$ :

– в пределах  $\bar{X} \pm \sigma$  располагается 0,683, или 68,3% количества наблюдений;

– в пределах  $\bar{X} \pm 2\sigma$  – 0,954, или 95,4%;

– в пределах  $\bar{X} \pm 3\sigma$  – 0,997, или 99,7% количества наблюдений.

Исходя из того, что контрольные пределы выражаются в единицах сигмы, критерии серий имеют в своей основе "статистическое" обоснование и принимая во внимания условия 1 – 3, можно использовать правило перемножения независимых событий и биномиальный закон [5]. Используя данные статистические критерии и математический аппарат, удалось выявить следующие «критерии серий», которые

свидетельствуют о разладке процесса. Для удобства КК разбивается на зоны (рис. 1), зона А определяется как область, расположенная на расстоянии от 2 до 3σ по обе стороны от центральной линии. Зона В область, отстоящая от центральной линии на расстояние от 1 до 2σ, а зона С – как область  $\bar{X} \pm \sigma$ .

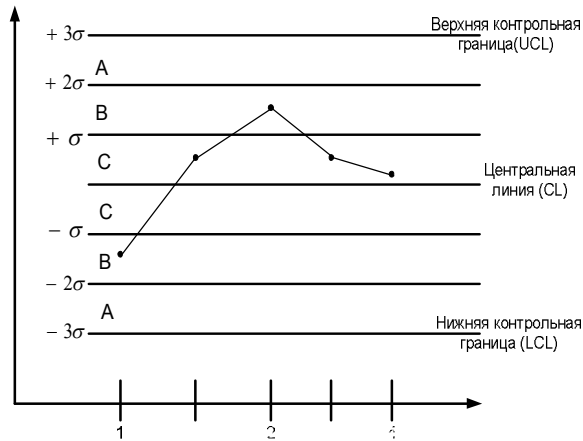


Рис. 1. Вид контрольной карты

### Основная часть

С учетом правила 3-х сигм, распределения вероятностей на контрольной карте и правила умножения вероятностей независимых событий были найдены критерии, в соответствии с которыми можно сделать вывод о «разладке» процесса.

Для того, что бы прояснить ситуацию о получении критериев, приведем пример. Если учитывать, что значения следующих друг за другом выборок независимы (т.е. отсутствует автокорреляция), то шансы для выборочного значения попасть выше или ниже центральной линии составляют 50 на 50.

Поэтому вероятность того, что два следующих друг за другом выборочные значения окажутся выше центральной линии, будет равна  $0,5 \cdot 0,5 = 0,25$ . Но так как мы говорим о дополнительных правилах, т.е. предполагаем, что все точки находятся внутри контрольных пределов, то из этого значения надо вычесть вероятность того, что точка находится за верхним контрольным пределом т.е.  $(1 - 0,9973)/2 = 0,00135$ . Тогда вероятность того, что точка находится между выше и ниже центральной линии равна 0,49865. Соответственно, проанализируем далее, (исходя из того, что вероятность наступления нескольких независимых в совокупности событий равна произведению вероятностей этих событий) какое максимальное количество значений, расположенных подряд, должно лежать по одну сторону от среднего  $\bar{X}$ , что бы вероятность совместного наступления независимых событий стремилась к значению 0,3% (т.е. вероятности того, что отдельное выборочное значение не попадет в интервал, ограниченный контрольными пределами в 3 сигма (при условии нормального распределения выборочных

значений и нормальности лабораторного производственного процесса)). Для наглядности анализа построим график (рис. 2).

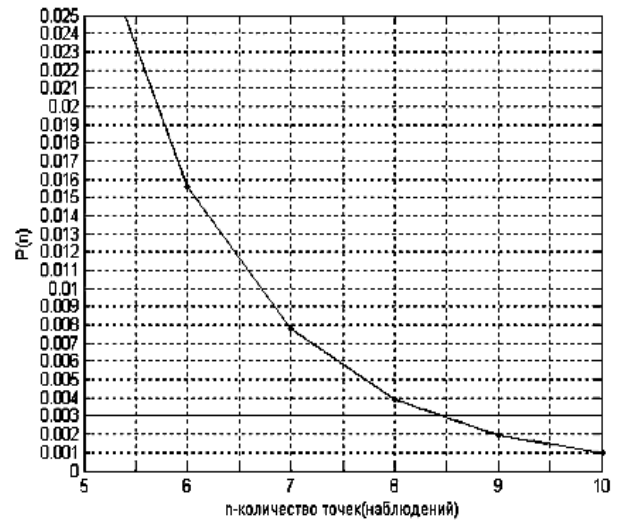


Рис. 2. Вероятность, что n точек подряд будут находиться по одну сторону от  $\bar{X}$

Соответственно, вероятность того, что выборочные средние девяти последующих выборок (или серия из 9 точек контрольной карты) окажется с одной стороны от центральной линии составит (рис. 2)

$$P(A_1, A_2 \dots A_9) = \prod_{i=1}^9 P(A_i) = 0,49865^9 = 0.001906.$$

Вероятность проявления такого события очень мала, поэтому, в качестве еще одного индикатора разладки производственного процесса можно рассматривать ситуацию, когда **девять последовательных выборочных значений находятся с одной стороны от центральной линии** (рис. 3).

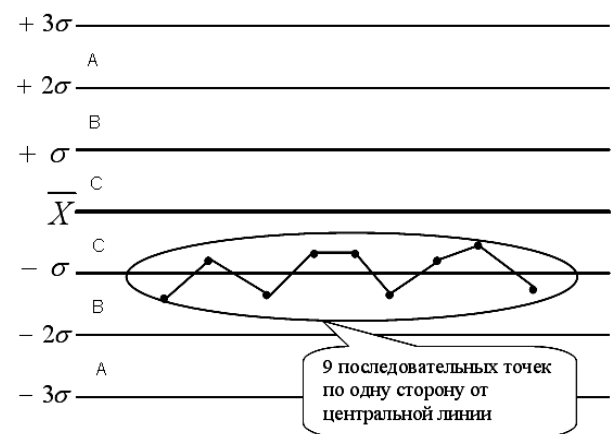


Рис. 3. Критерий разладки процесса

Если этот критерий выполняется (т.е. если на контрольной карте обнаружено такое расположение точек), то делается вывод о возможном изменении среднего значения процесса в целом. Заметим, что

здесь делается предположение о симметричности распределения исследуемых характеристик качества вокруг среднего значения процесса на графике.

Также все «нетипичные ситуации» анализировались по критериям «восходящих» и «нисходящих» серий [6] и тесту Волда-Вольфовитца. Данные критерии позволяют обнаружить систематические погрешности и сделать вывод о том, что при проведении внутрилабораторного мониторинга, были нарушены условия повторяемости и/или воспроизводимости, а это значит, что дальнейший анализ на «особые» причины не целесообразен.

**Первая группа:** критерии, которые свидетельствуют о сдвиге среднего значения процесса в целом:

**Критерий 1.1:** 9 точек в зоне С или за ее пределами (с одной стороны от центральной линии).

**Критерий 1.2:** 6 точек монотонного роста или снижения, расположенные подряд. Сдвиг процесса обусловлен изнашиванием инструмента, ухудшением технического обслуживания оборудования, повышением квалификации рабочего и т.п.

**Критерий 1.3:** 2 из 3-х расположенных подряд точек попадают в зону А или выходят за ее пределы.

**Критерий 1.4:** 4 из 5-ти расположенных подряд точек попадают в зону В или за ее пределы.

**Критерий 1.5:** 8 точек подряд попадают в зоны В, А или выходят за контрольные пределы, по обе стороны от центральной линии (без попадания в зону С).

**Критерий 1.6:** 6 точек подряд в зоне С по одну сторону от центральной линии.

**Критерий 1.7:** 3 точки подряд в зоне В по одну сторону от центральной линии.

**Критерий 1.8:** 7 из 8 подряд в зонах В и А по одну сторону от центральной линии.

**Критерий 1.9:** 7 из 8 подряд в зоне С по одну сторону от центральной линии.

**Критерий 1.10:** 4 из 5 последовательных точек в зоне В по одну сторону от средней линии.

**Вторая группа:** критерии, которые свидетельствуют об изменении вариация процесса:

**Критерий 2.1:** 1 точка вне зоны А (вариация процесса слишком большая и превышает границы  $\pm 3\sigma$ ).

**Критерий 2.2:** 14 точек подряд в "шахматном" порядке (через одну над и под центральной линией). Если этот критерий выполняется, то это указывает на действие двух систематически изменяющихся причин, которое приводит к получению различных результатов.

**Критерий 2.3:** 15 точек подряд попадают в зону С (по обе стороны от центральной линии). Выполнение этого критерия указывает на более низкую изменчивость по сравнению с ожидаемой (на основании выбранных контрольных пределов).

**Критерий 2.4:** 16 точек в зоне С по обе стороны от центральной линии (вариация процесса слишком мала поскольку все значения лежат в границах  $\pm \sigma$ ).

**Критерий 2.5:** 11 из 12 точек подряд по одну сторону от центральной линии.

**Критерий 2.6:** 2 точки из 4 в зоне А, по одну сторону от центральной линии.

**Критерий 2.7:** 13 последовательных точек попеременно выше и ниже медианы.

Преимущество данных критериев в том, что они позволяют выявить факт «разладки» процесса еще на этапе испытаний (что очень актуально, например при разрушающем дорогостоящем контроле), а не тогда, когда уже было введено серийное производство.

Также данные критерии можно разделить и по другим параметрам, представив их в виде табл. 1.

Проверка на все «критерии серий» рекомендуется как при построении  $\bar{X}$ -карт, так и R-карт, поскольку имеет место ситуация когда меняется как среднее, так и вариация процесса.

## Выводы

1. Данный подход позволяет не только выявить «особые» причины разладки процесса, но и с помощью полученных текущих значений регулировать контрольные границы, на протяжении более длительного времени поддерживать процесс в состоянии статистической управляемости, обеспечить стабильное среднее значение измеряемой характеристики и прецизионность в условиях повторяемости.

2. Полученные результаты позволили аналитически обосновать критерии, выявленные ранее эмпирическим путем и получить целый ряд критериев, которые не были известны ранее.

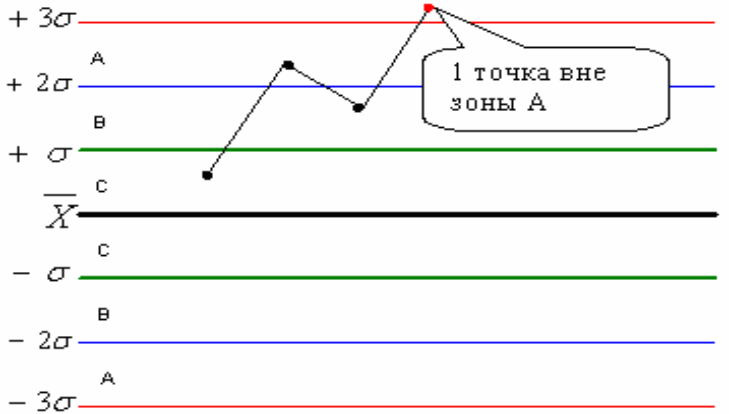
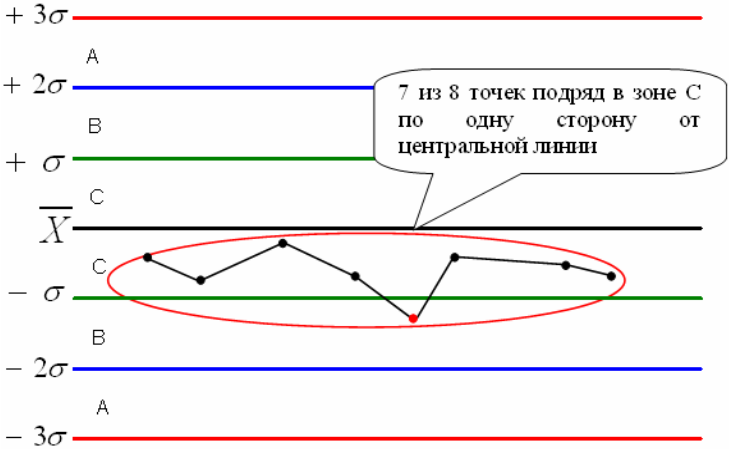
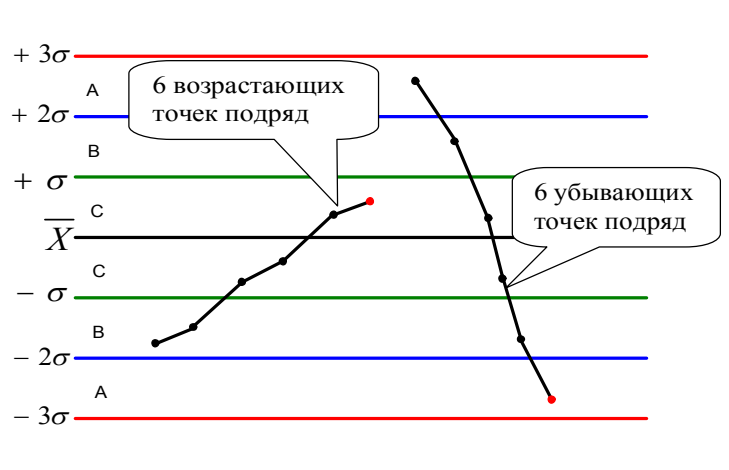
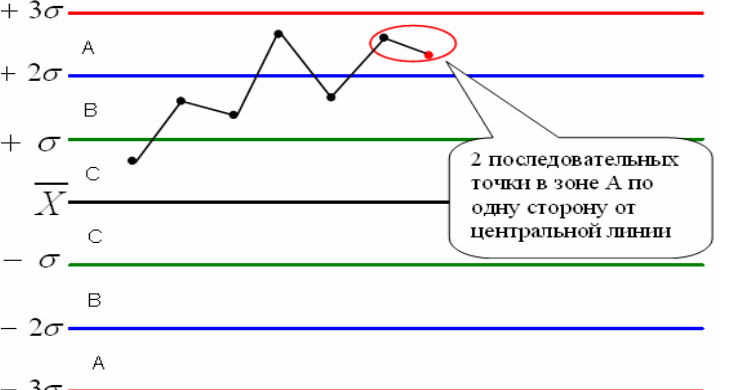
## Список литературы

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2000. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – М.: Изд-во стандартов, 2000.
- ГОСТ Р 50779.40-99. Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и введение. – М.: Изд-во стандартов, 1999.
- ГОСТ Р 50779.42-99. Контрольные карты Шухарта. – М.: Изд-во стандартов, 1999.
- ГОСТ ИСО 5725-6-2000. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2000.
- Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1965. – 511 с.
- Ціделко В.Д. Невизначеність вимірювань / В.Д. Ціделко, Н.А. Яремчик. – К.: Політехніка, 2002. – С. 50-55.

Поступила в редколлегию 15.03.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Е.Т. Володарский, Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев.

Виды критериев разладки процесса

Вид критерия	Интерпретация критерия на контрольной карте
<p><b>Выход точек за контрольные пределы <math>\pm 3\sigma</math></b></p>	
<p><b>Серии.</b> Состояние процесса, при котором точки неизменно оказываются по одну сторону от центральной линии. Число таких точек называется длиной серий. Серия длиной восемь точек рассматривается как ненормальная. Состоянием является ненормальным и тогда, когда число последовательных точек меньше семи, но не менее 10 из 11 (или 12 из 14, или 16 из 20) точек оказываются по одну сторону от центральной линии.</p>	
<p><b>Тренд (дрейф).</b> Тренд – это проявление такого (ненормального) состояния процесса, когда точки (не менее шести подряд) образуют непрерывно повышающую или понижающую кривую</p>	
<p><b>Приближение к контрольным пределам.</b> Если достаточно часто две из трех последовательных точек оказываются в зонах между 2σ - и 3σ -пределами, то рассматривать такой процесс ненормальным.</p>	

Вид критерия	Интерпретация критерия на контрольной карте
<p><b>Приближение к центральной линии.</b> Когда большинство точек концентрируется в пределах 1,5-сигмовой зоне выше и ниже центральной линии, необходимо рассматривать такой процесс ненормальным, что обусловлено неподходящим способом разбиения данных измерений на подгруппы.</p>	
<p><b>Периодичность.</b> Состояние, когда точки располагаются по кривой, напоминающей синусоиду (или в «шахматном порядке») с примерно одинаковыми интервалами времени, называется периодичностью. Такой процесс считается ненормальным.</p>	

**МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ  
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗЛАДКИ ПРОЦЕСУ**

Н.О. Рековець

Відповідно до ДСТУ ISO 17025 і ДСТУ ISO 5725 якість випробувань і кваліфікаційна рівень лабораторії повинен бути підтверджений внутрішньолабораторним моніторингом. Для цієї мети рекомендується використовувати контрольні карти Шухарта, модифіковані для процесу випробувань. Однак застосування контрольних карт для "нетипових" ситуацій, коли немає безпосередньо виходу результатів за контрольний рівень, не має теоретичного обґрунтування й більшою мірою носить евристичний характер, що базується на інтуїції дослідника. У даній статті проведені результати аналізу можливих ситуацій, по яких можна судити про порушення умов повторюваності й (або) відтворюваності в випробувальній лабораторії.

**Ключові слова:** розладка процесу, контрольні карти Шухарта, особливі випадки.

**POSSIBILITIES OF USE OF CONTROL CARDS  
FOR DEFINITION OUT-OF-CONTROL PROCESS**

N.O. Rekovets

According to ISO 17025 and ISO 5725 qualities of tests and qualifying level of laboratory should be confirmed by intra-laboratory monitoring. For this purpose it is recommended to use the control cards of Shuharta modified for test process. However application of control cards for "atypical" situations, when there is no direct an exit of results for a test objective level, has no theoretical substantiation and in a greater degree has the heuristic character which is based on intuition of the researcher. In given article results of the analysis of possible situations on which it is possible to judge infringement of conditions of repeatability and (or) reproducibility in test laboratory are spent.

**Keywords:** Shewhart control chart, Out-Of-Control Process, special causes.