

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

М.А. Смольянинова

mariya200694@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

*Представлен статистический метод регулирования технологических процессов с помощью контрольных карт, позволяющих наглядно отразить ход производственного процесса на диаграмме и выявить нарушения технологии. Детально проанализирована логика работы карт. Рассмотрены понятия управляемой и неуправляемой вариабельности. Исследованы проблемы и типичные ошибки в построении, применении и анализе контрольных карт*

### Ключевые слова

*Контрольная карта, вариабельность, статистические методы, качество*

Поступила в редакцию 20.06.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

---

**Введение.** Успех любого предприятия складывается из трех основных составляющих: инновационного потенциала, эффективности и качества производимой продукции. Качество как стратегическая цель приобретает важное значение для предприятий. Потребность в активных методах предупреждения брака в процессе изготовления продукции привела к разработке методов и систем управления качеством, базирующихся на методах математической статистики [1].

При статистическом управлении качеством не используют исследование технологического процесса для установления закона преобразования входной переменной в выходную. При наличии тенденции выхода контролируемого параметра (выходной переменной) за пределы допуска или контрольных границ необходимо остановить производство для выявления причин, вызывающих эти отклонения. Возможность делать заключения обо всей партии на основании нескольких наблюдаемых в выборке значений необходимо для продолжения производственного процесса и соблюдения заданных критериев качества [2].

Статистическое регулирование качества — это текущий контроль над производством и предупреждение брака путем своевременного вмешательства в технологический процесс.

Различают понятия статически управляемой и неуправляемой системы. Отметим, что система, находящаяся в стабильном, управляемом состоянии, ведет себя предсказуемо с определенной точностью до тех пор, пока ее не выведут из этого состояния. Такую систему принято называть статистически управляемой. Когда система подвержена внешним вмешательствам, она выходит из-под контроля, т. е. становится неуправляемой. При этом возникает необходимость в определении момента вмешательства. С этой целью применяют контрольные карты (КК), которые являются графическим способом представления результатов

технологических или других процессов в порядке их выполнения. Основная цель КК — предоставить оперативную информацию об изменении состояния процесса, о появлении специальных (внешних) источников вариации результатов и о выходе процесса из состояния статистической управляемости. Наличие такой информации является условием для анализа этих причин и улучшения процесса.

Действительно, любые процессы подвержены вариабельности, но одни из них обладают управляемой вариабельностью, а другие — неуправляемой. Модель управляемой вариабельности представлена на рис. 1 [3].

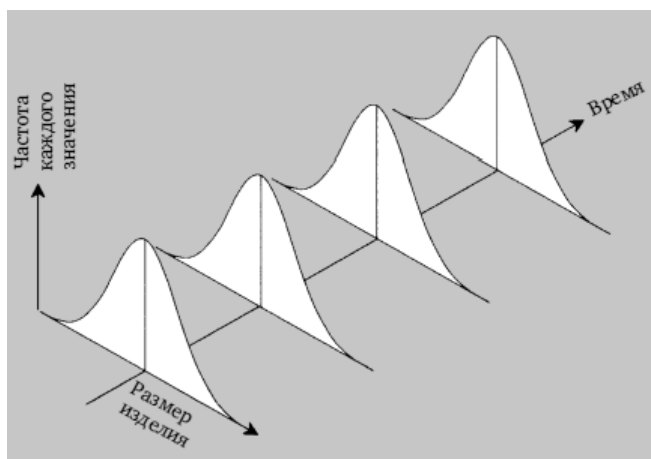


Рис. 1. Модель управляемой вариабельности

Неуправляемая вариабельность характеризуется определенными причинами, которые приводят к увеличению вариации и непредсказуемости процесса. Пример неуправляемой вариабельности показан на рис. 2 [3].

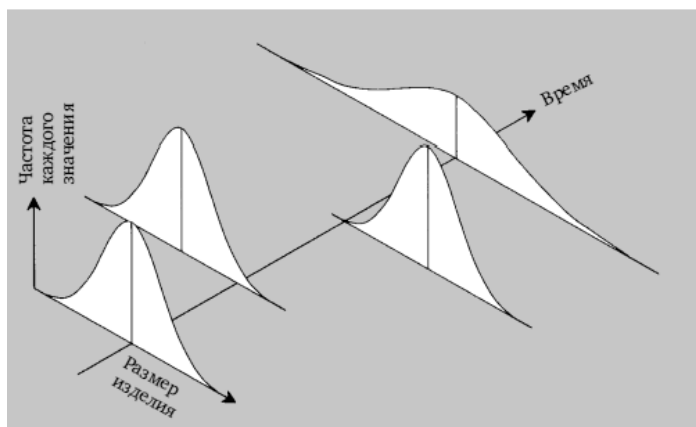


Рис. 2. Модель неуправляемой вариабельности

Повысить качество процесса можно путем уменьшения его изменчивости и при нахождении всех точек процесса внутри контрольных пределов. КК характеризует систему как статистически управляемую, а при выходе за контрольные

пределы как неуправляемую. Эта идея принадлежит известному американскому ученому Уолтеру Шухарту. Классификация КК Шухарта представлена на рис. 3.

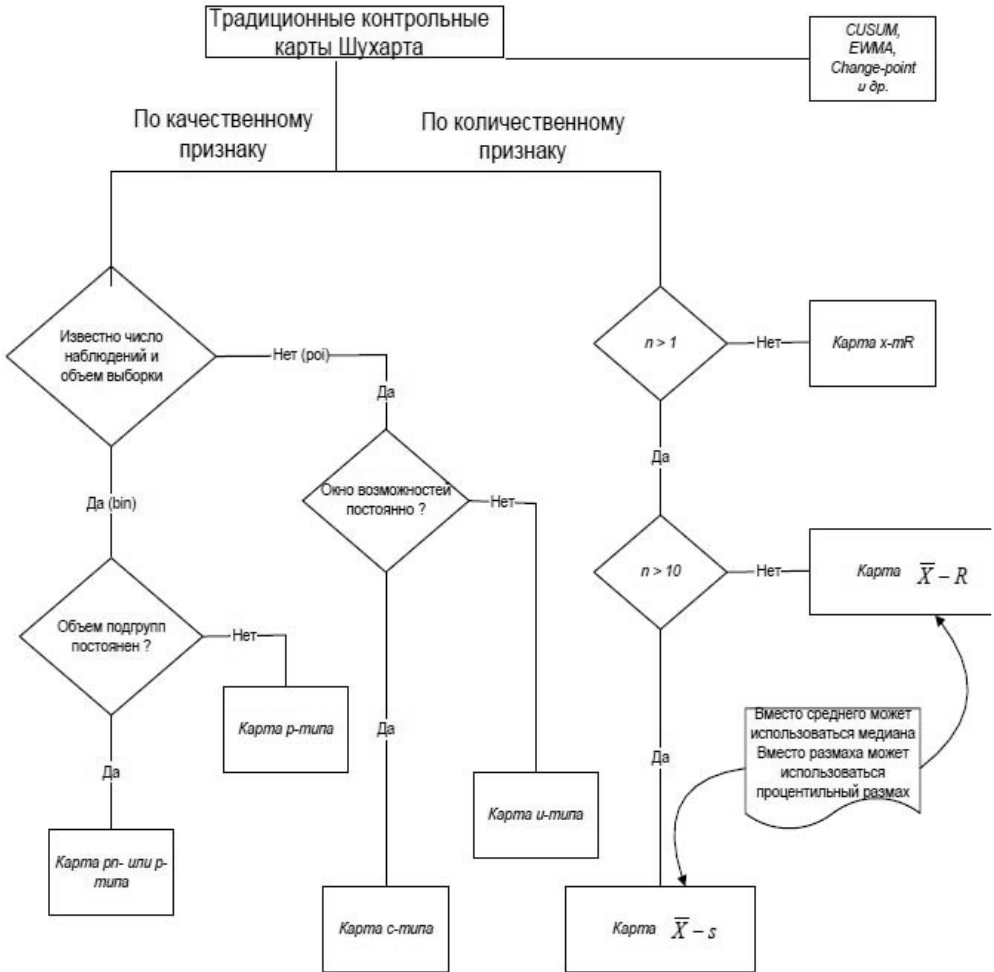


Рис. 3. Классификация контрольных карт Шухарта

Следует отметить, что при кажущейся простоте КК при их построении и анализе возникает ряд сложностей:

- противоречивость логики работы карт;
- определение требования нормальности распределения данных;
- различие понятий допуска и контрольных границ;
- поиск правильного подхода к первой фазе анализа КК;
- обоснование необходимого и достаточного числа правил определения управляемости процесса;
- выбор способа группировки данных.

**Противоречивость логики работы карт.** Известно, что для любой замкнутой системы выполняется второй закон термодинамики. Это означает, что вследствие энтропии система придет в состояние хаоса, т. е. последуют разру-

шения и даже аварии. Для поддержания системы в управляемом состоянии необходимо вводить энергию извне, и тогда КК становятся индикатором определения необходимости дополнительной энергии для системы. Следовательно, любой процесс, действующий без поддержки КК, придет в состояние хаоса.

Алгоритм работы КК (рис. 4) строится следующим образом. Предполагают, что исследуемый процесс стабилен на протяжении некоторого времени. Это позволяет применить такие параметры, как среднее средних и средний размах, но противоречит второму закону термодинамики (замкнутая система нестационарна), поэтому данные параметры задействовать невозможно.



Рис. 4. Алгоритм работы контрольных карт

**Требование нормальности распределения данных.** Во многих изданиях к исходным данным для построения КК предъявляют требование нормального распределения [1–2]. Предположения о нормальных исходных данных позволяют рассчитать только численные значения констант в формулах определения контрольных границ. Если исходные данные будут иметь закон распределения, отличный от нормального, константы изменятся незначительно. Это утверждение доказал Ирвинг Бэrr. Он проверил 26 ненормальных распределений и сделал вывод, что отклонения констант могут существенно влиять на контрольные пределы. Для этого их следует рассчитывать по данным в 150 подгруппах по пять элементов в каждой [3].

**Различие понятий допуска и контрольных границ.** Допуск — это способ отделять годную продукцию от неподходящей без возможности влиять на технологический процесс. Идея Шухарта заключается в уменьшении вариабельности, что приводит к так называемой управляемой вариабельности, которая, в свою очередь, помогает улучшить технологический процесс.

**Первая фаза анализа КК.** На практике имеет место бесконечный развивающийся процесс, у которого нет точного среднего значения и соответствующего стандартного отклонения. В связи с этим, контрольные границы, зависящие от стандартного отклонения и среднего значения, не могут быть абсолютно точными. Следовательно, если число выбранных подгрупп мало, то эти параметры будут иметь значение отличное от истинного, поэтому вероятности выхода точки за контрольные границы будут другими. Поэтому очень важен правильный подход к первой фазе анализа КК.

**Правила определения управляемости процесса.** Существует несколько правил определения отсутствия управляемости процесса [3]:

- выход одной точки за пределы  $3\sigma$  указывает на отсутствие управляемости;
- выход хотя бы двух из трех последовательных точек, лежащих по одну сторону от центральной линии, за пределы  $2\sigma$  свидетельствует об отсутствии управляемости;
- выход четырех из пяти последовательных точек, лежащих по одну сторону от центральной линии, за пределы  $\sigma$  свидетельствует об отсутствии управляемости;
- расположение, по меньшей мере, восьми последовательных точек по одну сторону от центральной линии свидетельствует об отсутствии управляемости.

Отметим, что к данным правилам можно добавить и другие, но каждый новый критерий определения отсутствия управляемости увеличивает вероятность ложных сомнений.

**Рациональная группировка данных.** Способ группировки значений оказывает существенное влияние на КК, следовательно, и на результаты анализа. Необходимо, чтобы данные внутри подгруппы были как можно более однородными. Иначе говоря, внутри подгрупп вариация должна быть минимальной, поэтому именно эту вариацию используют при расчете контрольных пределов. Эти пределы зависят от среднего размаха, который, в свою очередь, зависит от групповых размахов, отражающих вариацию внутри подгрупп. Именно вариацию внутри подгрупп используют для установления контрольных пределов, определяющих допустимую вариацию между подгруппами и чувствительность КК. Поэтому сначала следует рассмотреть источники вариации каждого конкретного измерения, а затем выбрать соответствующие подгруппы [3].

Сформулируем основные правила группировки данных с учетом сказанного выше:

- недопустимо включать в одну подгруппу неоднородные предметы, операции, свойства. Например, количество обрезанного материала справа (одна опе-

рация) и количество обрезанного материала слева (другая операция) не могут принадлежать к одной подгруппе — это два разных процесса, смешивание которых скроет различия между ними;

- необходимо уменьшать вариацию внутри каждой подгруппы, так как именно она задает основной уровень помех для данных. Любые сигналы в данных можно обнаружить только на фоне основного шума. Следовательно, уменьшая внутригрупповую вариацию, уменьшаем шумы и делаем КК более чувствительной к имеющимся сигналам;

- следует увеличивать возможную вариацию между подгруппами. КК находит различия между подгруппами и использует внутригрупповую вариацию для определения той вариации, которой можно пренебречь. Следовательно, уменьшая внутригрупповую и увеличивая межгрупповую вариации, можно получить полезную и чувствительную КК;

- необходимо усреднять шумы, чтобы выделить сигнал и легче его обнаружить. При этом нельзя усреднять измерения — усреднение потенциально возможных сигналов всегда ошибочно;

- процедура измерения должна быть систематической и стабильной, поэтому для получения качественных данных процесс должен контролировать только один наблюдатель;

- недопустимо принимать решения, основываясь на сравнении нескольких точек, выбранных из процесса. Следить необходимо за всем процессом и отделять случайные колебания от возмущающих внешних воздействий [1].

**Выводы.** Применение статистических методов — действенный путь разработки новой технологии и контроля качества производственных процессов. Метод статического регулирования с помощью КК широко применяют, поскольку он дает возможность обнаружить выход процесса из состояния управляемости, даже если контрольные границы вычислены по вышедшим из-под контроля данным.

## Литература

1. *Миттаг Х.-Й., Ринне Х.* Статистические методы обеспечения качества: пер. с нем. Е. Кокот / под ред. Б.Н. Маркова. М.: Машиностроение, 1995. 616 с.
2. *Уилер Д., Чамберс Д.* Статистическое управление процессами. Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта: пер. с англ. М.: АльпинаБизнесБукс, 2009. 409 с.
3. *Шторм Р.* Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества: пер. с нем. / под ред. Н.С. Райбмана. М.: Мир, 1970. 368 с.

**Смолянинова Мария Александровна** — студентка кафедры «Метрология и взаимозаменяемость», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — В.М. Корнеева, д-р техн. наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

---

**STATISTICAL METHODS OF OPERATING PROCEDURE CONTROL****M.A. Smolyaninova**

mariya200694@mail.ru

**Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

---

**Abstract**

*The study examines a statistical method of operating procedure control using control charts, allowing us to visually reflect the course of the manufacturing process on the chart and identify violations of technology. We analyzed in detail the logic of the chart operation and the concepts of managed and unmanaged variability. We also investigated the problems and common errors in the construction, use and control charts analysis*

**Keywords**

*Control chart, variability, statistical methods, quality*

© Bauman Moscow State Technical University, 2016

---

**References**

- [1] Mittag H.-J., Rinne H. Statistische methoden der qualitatssicherung. Munchen: Wien, 1993. (Russ. ed.: Statisticheskie metody obespecheniya kachestva. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1995. 616 p.)
- [2] Wheeler D.J., Chambers D.S. Understanding statistical process control. Knoxville, 1992. (Russ. ed.: Statisticheskoe upravlenie protsessami. Optimizatsiya biznesa s ispol'zovaniem kontrol'nykh kart Shukharta. Moscow, Al'pinaBiznesBuks Publ., 2009. 409 p.)
- [3] Storm R. Wahrscheinlichkeitsrechnung. Mathematische statistik. Statistische qualitatkontrolle. Leipzig, Fachbuchverlag, 1974. 359 s. (Russ. ed.: Teoriya veroyatnostey. Matematicheskaya statistika. Statisticheskii kontrol' kachestva. Moscow, Mir Publ., 1970. 368 p.)

**Smolyaninova M.A.** — student of the Department of Metrology and interchangeability, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — V.M. Korneeva, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Metrology and interchangeability, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.