

УДК 658.6

Н. И. Заяц, кандидат технических наук, доцент (БГТУ); **Ю. Н. Хрол**, ассистент (БГТУ)**СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ**

В статье дан обзор статистических методов управления процессами и возможностей их использования для решения проблем качества выпускаемой продукции. Дана характеристика изменчивости технологического процесса и ее влияния на качество выпускаемой продукции, описаны случаи, требующие вмешательства в технологический процесс. Рассмотрены различные виды контрольных карт Шухарта: простые контрольные карты по количественному и альтернативному признакам, с предупреждающими границами, кумулятивных сумм, экспоненциально взвешенных скользящих средних. Помимо одномерных контрольных карт, в статье рассмотрены многомерные контрольные карты Хоттеллинга и кумулятивных сумм, которые находят применение для контроля многопараметрического технологического процесса. Описаны области использования различных видов контрольных карт.

The review of process statistical management methods and possibility of their use for the decision of problems of produced products quality is resulted in the article. The characteristic of technological process changeability and its influence on the produced products quality is given too; the cases demanding intervention in technological process are described there. Various types of Shuhart's control cards are considered: simple control cards of quantitative and alternative signs, cards with warning borders, the cumulative sums cards, exponentially weighted sliding averages cards. Besides one-dimensional control cards, multidimensional Hotelling's control cards and the cumulative sums cards which find application for the control of multiple-parameter technological process are considered in article. Areas of use of various types of control cards are described too.

Введение. В основе решения проблемы обеспечения качества продукции лежит повышение технического и организационного уровней процесса производства на базе широкого внедрения современных прогрессивных технологий, технологического оборудования, форм организации производства, а также широкого использования международных стандартов ИСО серии 9000.

В стандартах ИСО серии 9000 сделан упор на процессный подход в управлении качеством и на использование статистических методов для принятия обоснованных решений на всех этапах жизненного цикла продукции. В соответствии с требованиями стандарта организация должна планировать и применять процессы мониторинга, измерения, анализа и улучшения, необходимые для демонстрации соответствия процессов, непрерывного повышения результативности системы менеджмента качества и др., используя надлежащие методы, в том числе и статистические.

Делая акцент на измерении, анализе и непрерывном совершенствовании функционирования процессов, стандарт ИСО 9000 побуждает организации использовать методы статистического управления процессами. Это обусловлено тем, что зарубежный опыт, накопленный на протяжении многих десятилетий, показал высокую эффективность статистических методов для решения проблем в сфере промышленного производства, обслуживания и других областях.

Успех и востребованность статистических методов управления процессами объясняется, в первую очередь, экономическими причинами. Так, уже в первых публикациях, относящихся к 40-м гг. прошлого столетия, сообщается о многократном снижении уровня брака и денежных потерь при использовании статистических методов. Например, использование статистических методов компанией Motorola позволило снизить более чем в 2 раза количество брака и финансовые потери на сборочном заводе; на российском предприятии «Инструм-Рэнд» внедрение статистических методов позволило за полгода снизить уровень дефектности с 8000 до 500 ppm [1].

Однако статистические методы пока не находят широкого применения как на предприятиях Республики Беларусь, так и на российских предприятиях. Российские ученые видят тому ряд причин:

– незнание первыми лицами современного подхода к улучшению процессов (а иногда и просто нежелание заниматься улучшениями)

– кажущаяся сложность статистических методов управления процессами, ведущая к априорному их отторжению;

– неосведомленность персонала в области методов статистического управления процессами, что не позволяет грамотно применять их на практике и правильно интерпретировать полученные результаты;

– наличие большого числа публикаций, перегруженных сложными математическими

выкладками, что делает их труднодоступными для понимания инженерами-практиками [1].

Основная часть. Статистическое управление процессами (СУП, или *SPC (Statistical Process Control)*) представляет собой методологию постоянного совершенствования процессов, основанную на статистическом мышлении и теории вариабельности, использующую простые и эффективные методы анализа и решения проблем [2]. К таким простым и эффективным методам относятся широко применяемые семь традиционных методов статистического управления процессами (так называемые «простые инструменты» качества), а именно: контрольные листки, диаграммы Парето, причинно-следственные диаграммы (диаграммы Исикавы), гистограммы, стратификация (расслоение), диаграммы рассеивания, контрольные карты.

В настоящее время эти методы, получив дальнейшее развитие, стандартизированы и рекомендуются для использования в работе по повышению качества для выявления и анализа возникающих и существующих проблем (рис. 1) [3].

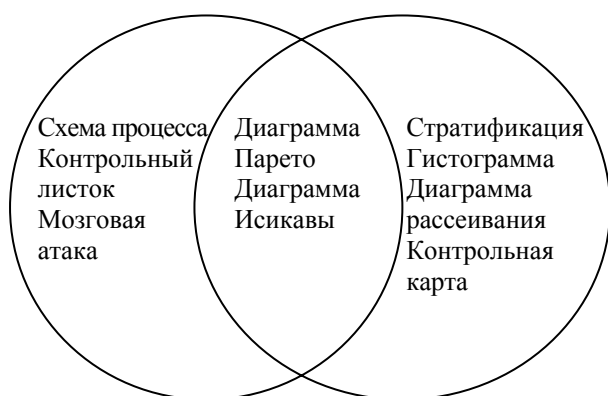


Рис. 1. Область применения «инструментов» качества:

1 – выявление проблемы; 2 – анализ проблемы

Из перечисленных выше статистических методов практическим инструментом для решения вопроса о необходимости вмешательства в технологический процесс являются контрольные карты, которые впервые были предложены У. Шухартом в 1924 г.

В теории контрольных карт рассматривают два вида причин изменчивости технологического процесса. Одна группа причин связана с особенностями данного процесса: износ инструмента, разладка станка, изменение качества комплектующих, отклонение от технологического процесса и др., – это случайные причины, которые могут быть устранены при настройке (регулировке) процесса. Другая группа причин – обычные, случайные причины вариабельности

процесса из-за действия различных случайных причин.

Постоянное совершенствование процесса состоит в том, чтобы уменьшить влияние случайных причин и исключить неслучайные.

Контрольные карты Шухарта позволяют выявить наличие неслучайных причин вариабельности процесса. Контрольные карты (control chart) (КК) представляют собой графическое отображение динамики технологического процесса, позволяющее обнаружить проблему в момент ее появления в реальном времени. На контрольных картах по оси абсцисс располагают номер или время измерения, а по оси ординат – статистику, рассчитанную по результатам контроля периодических выборок (\bar{X} , S , R , Me и др.), выход которой за границы регулирования свидетельствует о выходе технологического процесса из статистически управляемого состояния (рис. 2). Нижние и верхние контрольные пределы (НКП и ВКП соответственно) на КК проводят на расстоянии трех стандартных отклонений ($\pm 3\sigma$). В этом случае для процесса, находящегося в стабильном состоянии и подчиняющегося нормальному закону, 99,73% всех измеренных значений параметра будут находиться в рамках контрольных пределов. Границы $\pm 3\sigma$ – это границы собственной изменчивости, обусловленной действием случайных причин, которые устанавливают по предварительным результатам исследований технологического процесса [4]

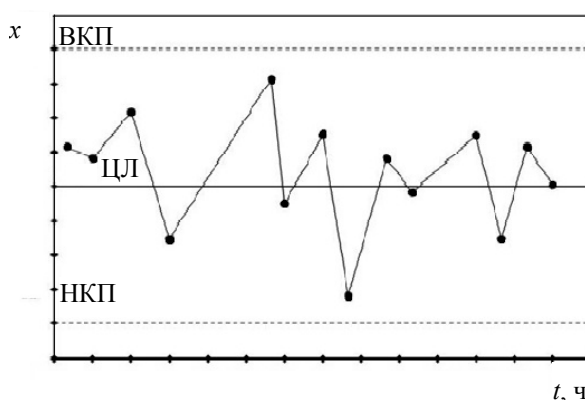


Рис. 2. Общий вид контрольной карты

Очевидно, что технологический процесс будет пригодным для удовлетворения требований потребителя, если он, во-первых, находится в статистически управляемом состоянии (т. е. в пределах $\pm 3\sigma$) и, во-вторых, присущая процессу собственная изменчивость будет менее установленного технического допуска на точность изготовления.

Непрерывный анализ контрольных карт Шухарта позволяет отслеживать состояние

технологического процесса. При этом любой процесс может находиться в одном из следующих четырех состояний.

1. Идеальное состояние (процесс полностью статистически управляем; вся продукция соответствует установленным допускам; естественная изменчивость процесса меньше установленных допустимых пределов).

2. Пороговое состояние (процесс управляем в достаточной степени, но при этом производится некоторое количество брака). Для прекращения выпуска брака надо либо увеличить допуск, согласовав это с потребителем, либо уменьшить изменчивость, усовершенствовав сам процесс.

3. Состояние процесса «на грани хаоса» (процесс статистически не управляем: даже если вся продукция на 100% удовлетворяет условиям допуска, процесс в любой момент может выйти из-под контроля).

4. Состояние «хаоса» (процесс неуправляем и производится бракованная продукция).

Если процесс демонстрирует управляемую изменчивость, которая обеспечивает соответствие изготавливаемой продукции установленным требованиям, т. е. процесс стабилен и воспроизводим, то нет необходимости вмешиваться в его ход. Однако если изменчивость процесса, находящегося в управляемом состоянии, не обеспечивает соответствие продукции требованиям, т. е. процесс стабилен, но не воспроизводим, то изменчивость процесса можно снизить, только изменяя сам процесс.

Если же процесс демонстрирует неуправляемую вариацию, т. е. он нестабилен, надо выявить и исключить особую причину изменчивости, т. е. требуется локальное вмешательство в ход процесса.

К настоящему времени разработан ряд различных типов контрольных карт [5]. Для эффективного диагностирования и улучшения контролируемого процесса (показателя) рекомендуется выбрать соответствующие этому процессу контрольные карты. В зависимости от вида контроля контрольные карты делятся на две группы: по количественному и качественному (альтернативному) признакам.

По количественному (измеренному) признаку используют следующие виды контрольных карт: средних арифметических (\bar{X}); медиан (Me); индивидуальных значений (X); размахов (R); среднеквадратичных (стандартных) отклонений (S); скользящих размахов (R_n) [6]. Причем первые три типа карт следят за положением центра, а остальные – за рассеиванием исследуемого параметра. Чаще используют двойные контрольные карты, которые предусматривают одновременный контроль за этими

двумя параметрами. В настоящее время наибольшее распространение среди двойных контрольных карт по количественному признаку получили следующие сочетания контрольных карт: средних значений и размахов; медиан и размахов; индивидуальных значений и скользящего размаха [6].

В результате контроля по альтернативному признаку определяют количество несоответствующих установленным требованиям единиц или несоответствий в выборках и строят следующие контрольные карты: числа несоответствующих единиц (пр), доли несоответствующих единиц (р), числа несоответствий (с) и числа несоответствий на одну единицу (u).

Помимо перечисленных простых карт Шухарта в настоящее время используют более сложные и чувствительные к разладке процесса типы контрольных карт: с предупреждающими границами, кумулятивных сумм.

Контрольные карты с предупреждающими границами представляют собой контрольные карты, на которых помимо границ регулирования есть предупреждающие границы (как правило, составляют $\pm 2\sigma$). Процесс считается статистически неуправляемым как при выходе значений статистики за контрольные границы, так и при попадании подряд нескольких значений между контрольными и предупреждающими границами.

Контрольные карты кумулятивных сумм основаны на методах последовательного анализа. Их используют для выявления наличия малого смещения (сдвига) процесса. В качестве контролируемой статистики используется сумма отклонений среднего значения от целевого, т. е. $\sum(X - \mu_0)$. Для интерпретации контрольных карт кумулятивных сумм используют два способа: графический – V-маски и численный – интервалов принятия решений (схема Пейджа) [7].

Для обнаружения малых постоянных смещений процесса наряду с контрольными картами кумулятивных сумм используют контрольные карты экспоненциально взвешенных скользящих средних, базирующихся на экспоненциальном сглаживании [7].

Все перечисленные карты являются одномерными, т. е. представляют собой карты единичного признака качества.

Однако качество продукции часто характеризуется несколькими показателями. В связи с этим более полную информацию о стабильности технологического процесса можно получить с использованием многомерных методов статистического управления процессами MSPC (*Multivariate Statistical Process Control*).

В случае, если контролируемые показатели некоррелированы, эффективным является совокупное использование одномерных карт Шухарта.

Если же показатели качества коррелированы, то использование карт Шухарта не может дать объективную оценку состояния технологического процесса. Для этих целей предложено использование карт Шухарта на главных компонентах или многомерных контрольных карт Хоттеллинга [7].

Многомерная контрольная карта Хоттеллинга, по существу, та же контрольная карта Шухарта, в которой в качестве контролируемой величины используется обобщенная статистика Хоттеллинга T^2 :

$$T^2 = n(\bar{X}_t - \mu_0)S^{-1}(\bar{X}_t - \mu_0),$$

где n – объем выборки; \bar{X}_t – вектор средних в мгновенных выборках; μ_0 – вектор целевых средних; S – выборочная оценка ковариационной матрицы.

Существенно повысить (на 10–23%) чувствительность контроля к нарушениям процесса позволяют контрольные карты Хоттеллинга с предупреждающими границами [7].

Для оценки качества много-параметрического технологического процесса предложены несколько вариантов обобщения кумулятивных карт. В частности, В. Вуданом и М. Нкубе было предложено использование для контроля r показателей качества соответствующие количества одномерных карт кумулятивных сумм по каждому показателю [8].

Две кумулятивные многомерные процедуры предложены С. Крозером. В COT схеме (CUSUM of T) для каждого наблюдения определяется T -статистика (квадратный корень из статистики Хоттеллинга T^2) и строится накопленная сумма этих статистик.

Более эффективной оказалась схема, при которой вначале определяются кумулятивные суммы по каждому из r показателей качества, а затем по ним строится T -статистика [9].

Заключение. Таким образом, в настоящее время разработано достаточно статистических инструментов для анализа и регулирования как однопараметрических, так и многопараметрических процессов, позволяющих осуществить

оптимальный выбор в соответствии с конкретными условиями технологического процесса для обеспечения максимальной эффективности обнаружения предполагаемых нарушений процесса.

Литература

1. Проблемы применения методов статистического управления процессами на отечественных предприятиях / Ю. П. Адлер [и др.] // Методы менеджмента качества. – 2009. – № 8. – С. 36–40.
2. Сиро, С. Практическое руководство по управлению качеством / С. Сиро; под ред. В. И. Гостева. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.
3. Шоттмиллер, Дж. Статистическое управление процессами – эволюция и новое столетие / Дж. Шоттмиллер // Методы менеджмента качества. – 2004. – № 5. – С. 36–43.
4. Управление качеством. Методы статистического управления процессами: СТБ 1505–2004. – Введ. 01.05.2005. – Минск: Госстандарт: Белор. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2005. – 44 с.
5. Адлер, Ю. П. Работа с контрольными картами Шухарта / Ю. П. Адлер, В. Л. Шпер // Методы менеджмента качества. – 2004. – № 3. – С. 42–48.
6. Кузьмин, А. М. Контрольные карты / А. М. Кузьмин // Методы менеджмента качества. – 2006. – № 4. – С. 25–27.
7. Клячкин, В. Н. Модели и методы многомерного статистического контроля технологического процесса: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.13.18 / В. Н. Клячкин. – Ульяновск, 2003. – 284 с.
8. Woodall, W. H. Multivariate CUSUM quality-control procedures / W. H. Woodall, M. M. Ncube // Technometrics. – 1985. – Vol. 27 (3). – P. 285–292.
9. Crosier, S. V. Multivariate generalizations of cumulative weighted moving average charts / S. V. Crosier // Technometrics. – 1987. – Vol. 29. – P. 2671–2686.

Поступила 01.03.2013