

УДК 655.3.022.51

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В ПОЛИГРАФИИ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

© С. Якуцевич, др. инж., Р. Мервинский, д.т.н., профессор,  
Институт полиграфии Варшавской политехники,  
Варшава, Польша

**Описані статистичні методи оцінки якості поліграфічної продукції  
та наведені результати експериментів по їх використанню.**

**The statistical methods of estimation of quality of printing products  
are described and the results of experiments on their use are resulted.**

### Постановка проблемы

В стратегии управления качеством одним из важнейших инструментов является метод статистического управления процессами — SPC (англ. Statistical Process Control) [1—6].

Методы SPC начали применяться в двадцатых годах XX-го столетия в США, а одним из их создателей считается Вальтер Шэвхарт (Walter Shewhart). Однако дальнейшее их развитие обязано прежде всего японцам, которые использовали их в промышленности после второй мировой войны. Растущая конкурентность японских предприятий повлекла также повышенную заинтересованность этими методами в США и Европе.

Теперь методы SPC используют в производственных процессах для контроля за свойствами изделий, а также параметров процессов, влияющих на эти свойства.

Основным понятием с точки зрения методики SPC является изменчивость, вызванная рядом самых разнообразных причин, присутствующих в процессе. Изменчивость могут обусловить используемые материалы, машины, методы,

персонал, организация труда и измерительное оборудование. Под воздействием этих причин отдельно оцениваемые показатели отличаются между собой, а их совокупность образует разброс (распределение) процесса (рис. 1).

Основным инструментом SPC являются контрольные карты, описанные в стандарте PN-ISO 8258+AC1 под названием «Контрольные карты Шэвхарта».

Статистический контроль по Шэвхарту базируется на различении двух видов изменчивости, вызванных причинами обычными и особенными.

Обычные причины относятся к источникам изменчивости, постоянно присутствующих в процессе, что вытекает из неопределенных, фатальных или случайных факторов. Если в процессе участвуют только обычные причины, то такой процесс оценивается как устойчивый и прогнозируемый, следовательно, находящимся под статистическим контролем.

Причины особенные появляются спорадически и вытекают из определенных ситуаций. Изменения, вызванные ими свидетельствуют о неустойчивом и непрогнозируе-

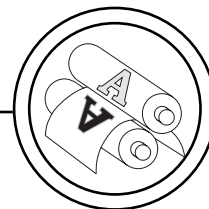


Рис. 1. Причины, присутствующие в процессе

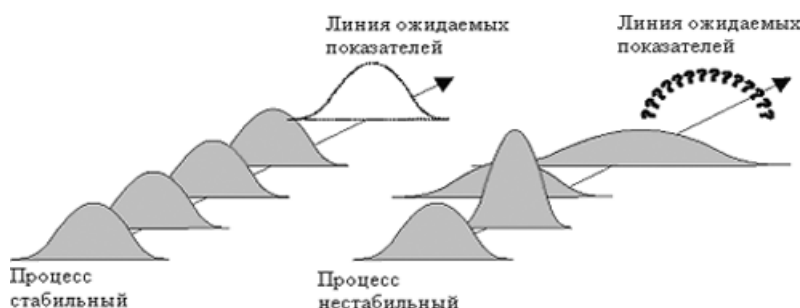


Рис. 2. Оценка стабильности процесса



Рис. 3. Строение контрольной карты

мом течения процесса (рис. 2). Особенные причины необходимо идентифицировать и исключать из процесса.

Контрольные карты Шехарта являются инструментом стабилизации процесса. Они являются простейшей техникой отделения обычных причин от особенных, иными словами дают возможность оценить, с каким родом изменчивости имеем дело. Конструированием карт и с их помощью мониторингом

процессов могут интересоваться работники, непосредственно вовлеченные в процесс: технологи, руководители кадров, операторы машин и другие. Контрольные карты представляют возможность визуализации положения и разброса процессов, поэтому их использование и внимательный анализ ведет к лучшему пониманию и улучшению процессов производства.

Техника конструирования контрольных карт требует использова-

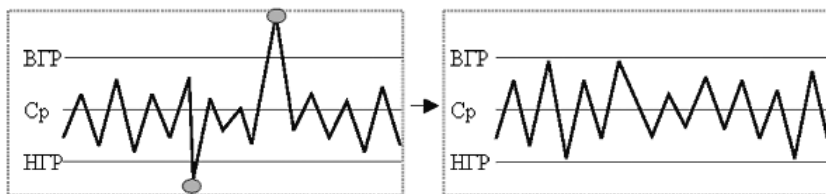
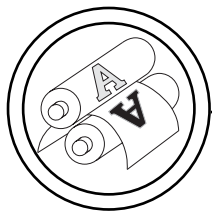


Рис. 4. Метод стабилизации процесса — устанение сигналов и корректирование контрольных линий

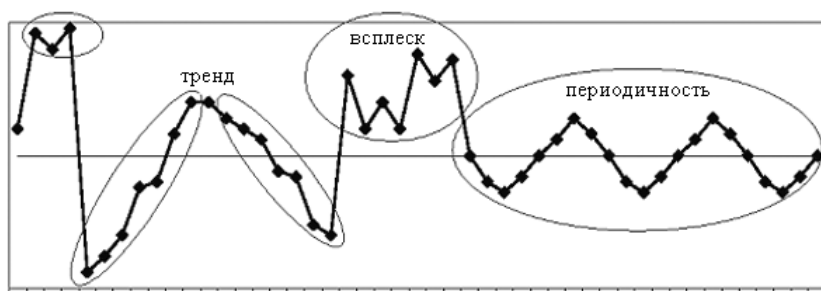


Рис. 5. Появление аномалий в процессе

ния основных статистических коэффициентов: среднее арифметическое, стандартные отклонения, размах [1—6].

Строение контрольных карт следующее: центральная линия  $C_p$  определяет середину процесса и является линией среднего уровня качества. Мерой расстояния наружных контрольных линий — ВГР и НГР, являющимися верхней и нижней границами регулирования значений показателя качества соответственно от центральной, является кратность стандартного отклонения разброса процесса.

Для контрольных карт Шевхарта она принимается  $\pm 3s$  и определяется при помощи соответствующих формул, находящихся в стандарте PN ISO 8258+AC1.

В зависимости от вида и назначения готовой продукции разработаны методы регулирования, зависящие от того, по какому при-

знаку производится регулирование: альтернативному или количественному.

К основным методам регулирования по количественному признаку относятся:

- метод индивидуальных значений (метод  $x$ );
- метод средних значений (метод  $\bar{X}$ );
- метод медиан (метод  $\bar{X}$ );
- метод размахов (метод  $R$ );
- метод средних квадратических значений (метод  $S$ );
- комбинированные методы типа метод « $X-x$ », метод « $X-R$ », метод « $X-S$ ».

При анализе выборок в этом случае определяются количественными показателями качества.

К методам, использующим альтернативный признак регулирования, относятся:

- метод доли дефектных изделий в партии (метод  $Q$ );

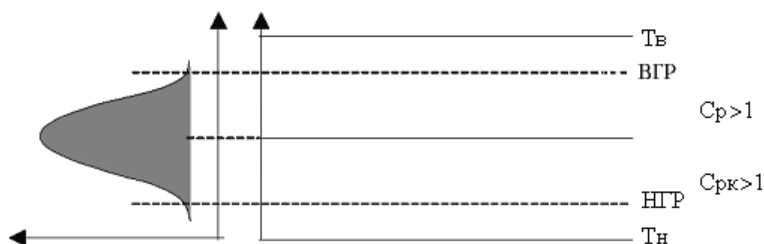
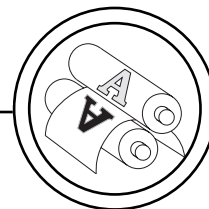


Рис. 6. Разброс зарегистрированного параметра по отношению к заданным границам регулирования показателей качества

— метод числа дефектов в единице продукции (метод С);

— метод среднего числа дефектов в единице продукции (метод U).

Карты, получаемые при использовании метода Q, могут иметь обозначение  $nQ$  и  $100Q$ . В первом случае число бракованных изделий в выборке выражается в натуральных числах, во втором — в процентах.

Изменчивость процесса, определяемая особенными причинами, содержащимися между верхней (ВГР) и нижней (НГР) контрольными линиями, составляет т.н. «шум» процесса. В процессе появляются также «сигналы» — один или больше пунктов вне контрольных линий (рис. 4).

При проектировании контрольных карт для определенной изменчивости необходимо стабилизировать процесс. Для этого исключают пункт вне контрольных линий и заново вычисляют центральную линию ( $C_p$ ), а также контрольные линии ВГР и НГР. В результате мы получаем изменения, учитывающие «шум» процесса, а также путь контрольной карты для устойчивого процесса.

Если пункт превышает контрольную границу, необходимо срочно искать особенные причины, вызы-

вающие дестабилизацию процесса и предпринять действия для исключения их из процесса.

Основная функция контрольных карт, применяемых в производстве продукции, состоит в мониторинге процесса. Текущее наблюдение за ходом «изменчивой» диаграммы разрешает идентифицировать определенные аномалии в процессе (рис. 5).

Такие конфигурации пунктов могут свидетельствовать о том, что на процесс действуют определенные причины, которые необходимо идентифицировать и если они невыгодно влияют на процесс — следует их удалить, а если выгодно — укрепить (рис. 6).

Внутренние и внешние клиенты заинтересованы окончательным результатом процесса и его соответствием с их требованиям. Методы SPC дают возможность анализа уже имеющегося и ожидаемого в будущем уровня качества анализируемого процесса по отношению к заданным верхнему  $T_v$  и нижнему  $T_n$  пределам технического допуска. С этой целью используют соответствующие коэффициенты оценки способности процесса  $C_p$  и  $C_{pk}$ . Рекомендуется применение этих коэффициентов производственной способности, когда процесс стабильный и единствен-

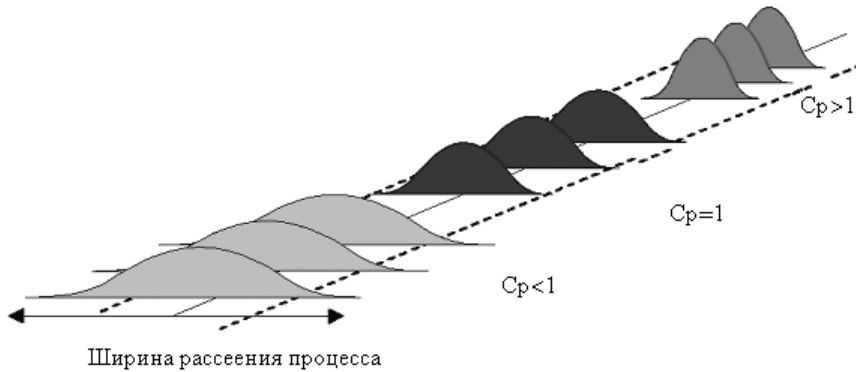
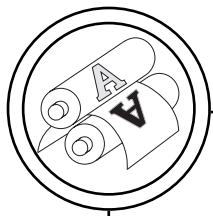


Рис. 7. Совершенствование процесса при восстановлении изменчивости и одновременно уменьшении ширины разброса к заданным пределам

ными источниками изменчивости являются обычные причины.

Формулы для определения коэффициентов:

— коэффициент потенциальной способности процесса.

$$C_p = \frac{\text{ширина\_поля\_допусков}}{6 \cdot \text{ширина\_разброса\_процесса}} \Rightarrow C_p = \frac{T_v - T_n}{6 \cdot s}$$

коэффициент способности (усреднения):

$$C_{pk} = \frac{T_v - X}{3 \cdot s} \text{ (} C_{pk} \text{ — нижний);}$$

$$C_{pk} = \frac{X - T_n}{3 \cdot s} \text{ (} C_{pk} \text{ — верхний);}$$

$C_{pk} = \min(C_{pk} \text{ — нижний; } C_{pk} \text{ — верхний);$

где:  $T_v$  — верхний предел технического допуска;  $T_n$  — нижний предел технического допуска;  $X$  — средняя процесса;  $s$  — стандартное отклонение.

Коэффициент потенциальной способности процесса  $C_p$  соотносит ширину разброса процесса применительно к требованиям клиента, определенных в спецификации. Ширину разброса процесса следует понимать как расстояние между верхней и нижней контроль-

ными линиями (ВГР и НГР). Чем большее значение  $C_p$ , тем меньшая ширина разброса и лучшее функционирование процесса. Принимается, что процесс производителен, когда величина  $C_p$  больше 1. В соответствии с рекомендациями стандарта PN ISO 8258+AC1: 1996  $C_p$  должно принимать значение не меньше, чем 1,33, так как лишь только тогда процесс проявляет значительно большую способность проведения процесса в необходимых пределах.

Способность процесса  $C_p$ , меньшая 1, свидетельствует, что ширина разброса процесса больше чем поле пределов технических допусков. В таком случае трудно удерживать необходимые пределы и минимизировать несоответствие в производстве. Поэтому нужно найти причины, которые вызывают слишком большую изменчивость процесса, чтобы ее восстановить. Выполняя восстановление изменчивости, мы уменьшаем ширину разброса, получая на контрольной карте эффект «усадки» контрольных линий.

Коэффициент производственной способности  $C_{pk}$  зависит от ширины разброса процесса, а так-

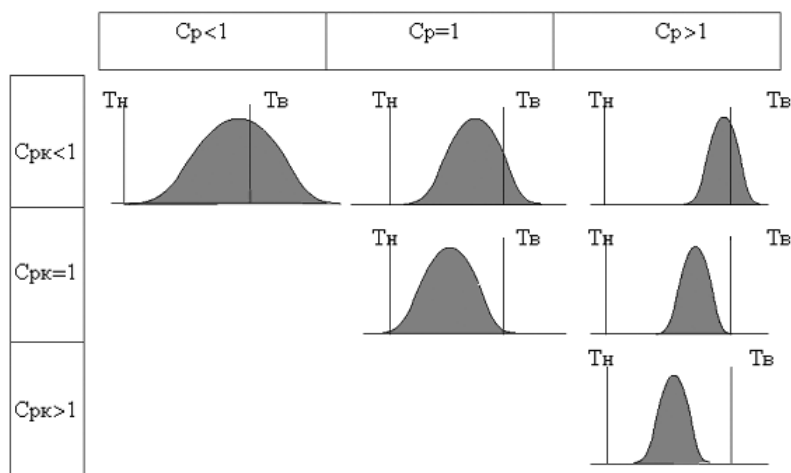
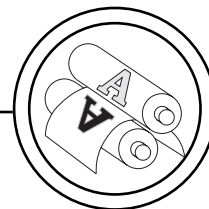


Рис. 8. Функционирование процесса в зависимости от значения коэффициентов  $C_p$  и  $C_{pk}$

же его положения относительно поля пределов технических допусков. Чтобы определить положение процесса, надлежит найти минимальное значение  $C_{pk}$  (нижнее или верхнее) и сравнить его с значением  $C_p$ . Функционирование процесса в зависимости от значения коэффициентов  $C_p$  и  $C_{pk}$  иллюстрирует рис. 8 [1—6].

### Цель работы

Цель работы — использование статистических методов оценки качества продукции при анализе точности цветовоспроизведения в печатных процессах, точности нанесения нумерации на печатные защитные изделия, а также доли дефектов в производстве печатной продукции.

### Методика и результаты исследования

Колориметрические замеры  $\Delta L$  разницы яркости одного из цветов на этикетки для табачных изделий стали контролируемым парамет-

ром при оценке одиночных наблюдений (карта  $x$ ). Замеры  $\Delta L$  были выполнены с определенными промежутками времени. На основании полученных замеров сделаны необходимые расчеты для определения пути карты  $x$ . Значения контрольных линий были рассчитаны при использовании соответствующих формул в стандарте PN-ISO 8258+AC1.

В результате расчетов получено:  $C_p = -0,30$ ;  $ВГР = 1,59$ ;  $НГР = -2,19$ .

Итоги замеров и контрольные линии занесены на карту (рис. 9). Прерывистые линии определяют пределы допусков  $T_b$  и  $T_n$ .

Из анализа контрольной карты (рис. 9) следует, что разницы яркости цвета обнаруживают стабильность. Отсутствуют сигналы, т.е. точки вне контрольных линий. Это значит, что изменчивость измеряемых значений вызвана только обычными причинами, постоянно присутствующими в процессе. На этом основании мы делаем вывод,

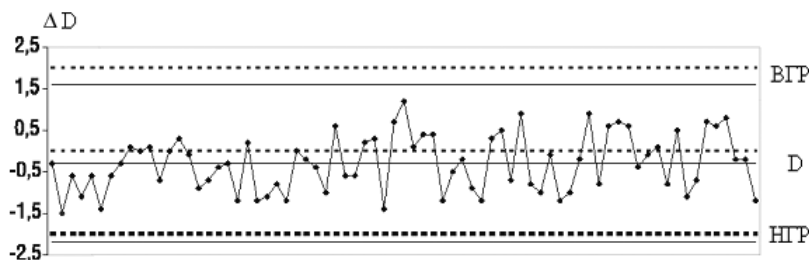
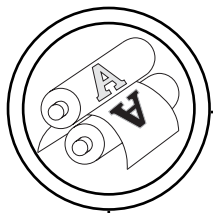


Рис. 9. Путь контрольной карты X

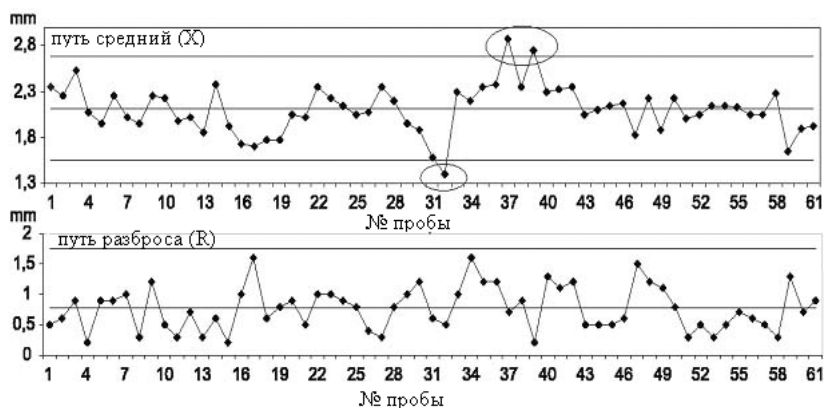


Рис. 10. Предварительное конструирование путей контрольной карты X-R

что процесс печатания данного цвета, а точнее поддержание соответствующие яркости цвета находятся под статистическим контролем. То, что процесс подконтролен, еще не значит, что его ход удовлетворителен. Чтобы проверить, насколько он выполняет условия клиента, нужно было приступить к оценке его производственной способности. Для печатания упомянутой этикетки требуются границы  $\Delta L \pm 2$ . Соблюдение  $\Delta L$  в этих пределах имеет существенное значение для производителя табачных изделий. В процессе производства сигарет этикетка наклеивается на коробку. Факт ее наклеивания не контролирует система сенсоров, действия которых заключаются лишь в определении

яркости фона этикетки. Различия в яркости больше или меньше  $\Delta L \pm 2$  могут давать ошибочные сигналы.

Также мы рассчитываем коэффициенты  $C_{рк}$  — нижний и верхний.

Используем формулы для определения коэффициента  $C_p$  — потенциальной способности процесса:  $T_v = 2$ ;  $T_n = 2$ ;  $s = 0,63$

$$C_p = \frac{T_v - T_n}{6 \cdot s} = \frac{2 - (-2)}{6 \cdot 0,63} = 1,06;$$

Аналогично определяем коэффициент  $C_{рк}$  — верхние и нижние границы.

$$C_{рк} = \frac{X - T_n}{3 \cdot s} = \frac{-0,30 - (-2)}{3 \cdot 0,63} = 0,90;$$

$$C_{рк} = \frac{T_v - X}{3 \cdot s} = \frac{2 - (-0,30)}{3 \cdot 0,63} = 1,22.$$

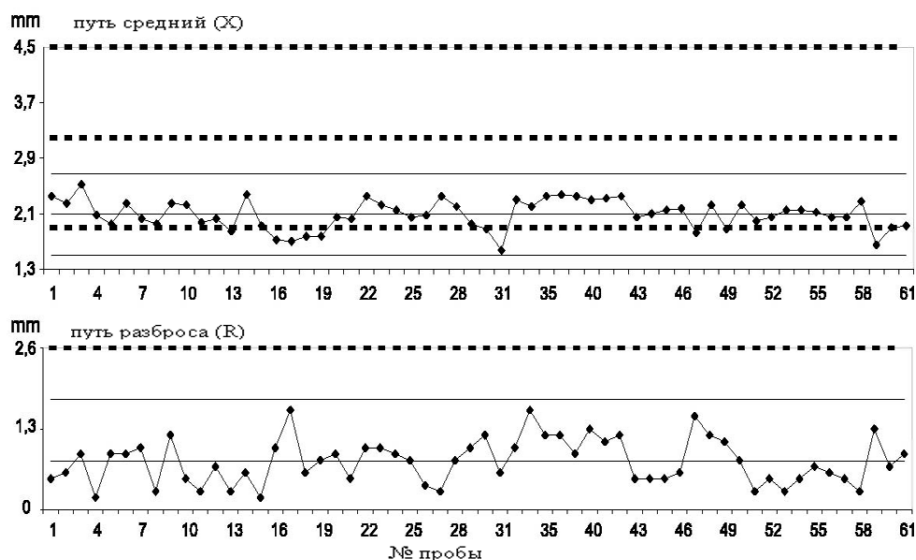
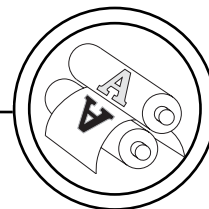


Рис. 11. Путь контрольной карты X-R для стабильного процесса

Значение  $S_p$  несколько превышает 1. Это значит, что ширина разброса процесса меньшая, чем ширина поля границ допусков. На практике значение  $S_p$  должно быть как минимум 1,33, которое обычно применяют как допустимый минимум. Размещение разброса процесса с учетом границ пределов допусков определяет меньшее значение  $S_{pk}$ ; в этом случае  $S_{pk}$  — ниже. Поскольку его значение ниже 1, и, следовательно, меньше от  $S_p$  мы заключаем, что разброс процесса сдвинут относительно нижней границы предела допусков. Сдвиг процесса можно также наблюдать на контрольной карте (рис. 9). На этом основании можем сделать вывод, что процесс печатания данного цвета (испытывая его светлоту) удерживается в границах допусков. Однако существует определенный риск нарушения нижней границы допусков (проявлением этого будет более темный цвет фона). Для этого нужно идентифицировать и удалить причину,

которая способствует сдвигу процесса относительно нижней границы допусков.

Размещение нумерации на акцизной этикетки стало контролируемым параметром для оценки средних значений размаха (карта X-R). В течении месяца были выполнены четыре замера на каждой смене. По результатам замеров проведены расчеты для определения путей карты X-R. В итоге получены.

Путь средней размаха

$S_p = 0,37$

ВГР = 1,76

НГР = 0

Путь средней процесса

$S_p = 2,12$

ВГР = 2,68

НГР = 1,55

Затем результаты замеров и контрольные линии нанесены на карту X-R (рис. 10).

Как видно из анализа предварительной контрольной карты (рис. 10), появляются сигналы, т.е. точки вне контрольных линий, которые



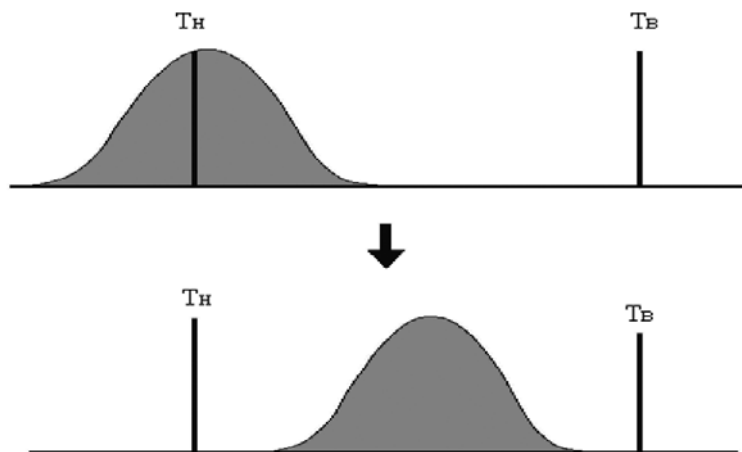
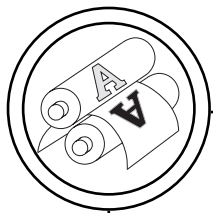


Рис. 12. Усреднение разброса процесса между границами допусков  $T_v$  и  $T_n$

указывают на определенные нарушения процесса. Следовательно, при конструировании контрольных карт необходимо стабилизировать процесс. С этой целью исключаются точки, выходящие за пределы контрольных линий, и корректируется путь контрольной карты (заново рассчитывается центральная линия  $S_p$ , а также контрольные линии ВГР и НГР). Для пунктов, которые вышли за пределы контрольных линий, немедленно следует искать причины, повлекшие дестабилизации процесса с целью предотвращения их повторного проявления.

По повторном перерасчете получили:

Путь средней размаха

$S_p = 2,12$

ВГР = 2,68

НГР = 1,55

Путь средней процесса

$S_p = 2,09$

ВГР = 2,67

НГР = 1,51

Затем результаты замеров вместе с исправленными контрольными линиями вновь наносятся на контрольную карту X-R, но уже для

стабильного процесса (рис. 11, прерывистые линии определяют границы допусков).

На контрольную карту (рис. 11) нанесены границы допусков, а также линии ожидаемых значений. Таким образом, легко заметить, что результаты замеров группируются вокруг нижней границы допусков. Чтобы проверить, насколько процесс размещения мест нумерации соответствует требованиям, нужно приступить к оценке его способности. Клиент требует, чтобы расстояние края нумерации от края этикетки составляло 3,2 мм с допуском  $\pm 1,3$  мм.

По пересчете коэффициентов производственной способности процесса получим:  $S_p = 114$ ;

$S_{pk}$  (нижнее) = 0,17;  $S_{pk}$  (верхнее) = 2,14

Из пересчета вытекает, что потенциальная способность, определенная через  $S_p$ , хорошая, однако почти половина ширины разброса процесса смещается ниже нижней границы допусков. Следовало бы вторгнуться в процесс с целью смещения его к середине поля допусков (рис. 12). В таком конкретном

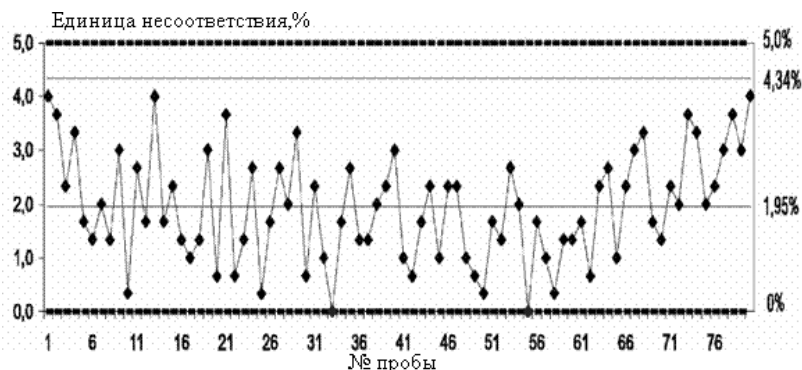
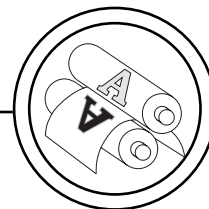


Рис. 13. Пути карты контрольной типа «р» для стабильного процесса

случае это означает необходимость стабилизации положения листа относительно неподвижной нумерующей головки.

Конструирование и анализ остальных контрольных карт для измеряемых значений имеют похожую схему, однако применяются другие формулы и коэффициенты для определения контрольных линий в зависимости от примененной карты.

300 выборочных оттисков акцизных этикеток перед их нумерацией стали контролируемым изделием с использованием контрольных карт доли дефектных изделий «р».

Выборка образцов проводилась из готовых партий, напечатанных в течении одной смены. Цель конструирования контрольной карты состояла в оценке средней доли дефектных оттисков в течении месяца, определение пути карты для стабильного процесса, а также определение его производственной способности.

Определение средней доли дефектных единиц осуществляли по формуле:

$$P = \frac{\sum np}{\sum n} (2\%); \quad (в \ %);$$

где:  $p$  — средняя доля дефектных единиц всех образцов;  $np$  — число дефектных единиц в образце;  $n$  — количество образцов.

Значения контрольных линий были рассчитаны при использовании соответствующих формул, находящихся в стандарте PN ISO 8258+AC1.

При расчетах получено:

$$Cp = 1,95 \ %; \quad ВГР = 4,34 \ %$$

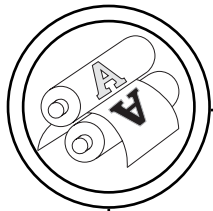
$$НГР = -0,44 \text{ — (принимаем } 0 \ %).$$

Результаты замеров и контрольные линии наносятся на карту типа «р» (рис. 13).

Было принято, что дефектность готовых партий оттисков не превысит 5 %. Прерывистые линии на контрольной карте определяют границы допусков. Мера производственной способности процесса определена по формуле:

$$Cp = \frac{Tв - Tн}{ВГР - НГР} = \frac{5,0 - 0}{4,34 - 0} = 1,15$$

Контрольная карта (рис. 13) характеризует изменчивость процесса дефектных образцов, встречающихся в пределах месяца. При нанесении на контрольные линии не наблюдается точек за предела-



ми ВГР, что свидетельствует о том, что процесс находится под статистическим контролем. Также потенциальная способность процесса, определяемая коэффициентом  $C_p$ , указывает на легкость ее поддержания. Однако в конечной стадии карты наблюдаются некоторое беспокойные сигналы (называемое также «аномалиями»). Наблюдается тенденция к росту, а это указывает, что она, наконец, превысит ВГР и в итоге наступит дестабилизация процесса. В этом случае следует определить доминирующую дефектность, имевшую место в последней неделе месяца, чтобы найти причины ее возникновения.

Конструирование и анализ остатальных контрольных карт по альтернативному признаку имеют похожую схему.

### **Выводы:**

Методы SPC являются основным инструментом для:

— мониторинга и контроля текущего производства;

— совершенствования качества продукции путем стабилизации процессов и сокращения изменчивости;

— объективной оценки возможности и производительности процессов производства.

Информации, получаемые применением статистических методов на базе общего языка, а также объективности при анализе функционирования процесса создают возможность соответствующих решений.

В настоящее время «импульсом», увеличивающим мотивацию к внедрению статистических методов в полиграфии может быть, например, необходимость получения сертификата ISO 9000:2000. Однако, в настоящее время современные и ориентирующиеся на будущее предприятия не могут уже отказываться от непрерывного совершенствования качества своей продукции. Заострение конкуренции заставляет применять SPC, а полученная таким образом польза позволит упрочить рыночные позиции.

1. Sobzyk W., Jankowska H. Sterowanie jakoscia w poligrafii metodami statystycznymi //mat. Konferencji poligraficznej. — Poynan. — 2003. — S. 43—48. 2. Лихачев В. В. Основы управления качества печатной продукции. — М.: МГУП. — 1999. — 88 с. 3. Рязов Н. Н. Общая теория статистики. — М.: Статистика. — 1971. — 368 с. 4. Стефанов С. Оценка печати оттисков. — М.: Репроцентр М., 2003. — 38 с. 5. Гавенок С. Ф., Мельников О. В. Оцінка якості поліграфічної продукції / Під ред. Е. Т. Лазаренка. — Львів: Афіша, 2000. — 120 с. 6. Гавенок С., Корнілов І., Ничка В. Системний аналіз і методи керування якістю книжкової продукції. — Ужгород: Карпати, 1996. — 78 с.

Надійшла до редакції 22.03.05