

Модуль 3

Семинары 6-7

Индикаторные показатели процесса

1. Оценка возможностей и пригодности процесса

Для оценки возможностей процесса используют различные индикаторные показатели и в первую очередь - индексы воспроизводимости и пригодности процесса, которые характеризуют потенциальные и фактические возможности процесса удовлетворять установленным требованиям (техническим допускам) к значениям выходного показателя качества. Анализ возможностей и пригодности процесса - это исследование изменчивости и распределения процесса с целью оценки его способности изготавливать продукцию в рамках разброса вариаций, допустимых техническими требованиями. С помощью анализа возможностей процесса осуществляют проверку изменчивости процесса и оценка доли несоответствующей продукции. Это позволяет поставщику оценить издержки от несоответствий и помогает принять решения по улучшению процесса. Кроме того, установление минимального значения индекса возможностей процесса помогает поставщику в выборе процессов и оборудования, способных производить продукцию необходимого качества.

Определение показателей возможностей используют:

- при предконтрактном анализе потенциальных возможностей поставщика удовлетворять требования потребителя и установлении в контрактах (договорах на поставку) требований к процессам;
- планировании качества разрабатываемой продукции и приемке процессов на основе опытных партий;
- аттестации процессов;
- планировании приемочного контроля и непрерывного улучшения процессов;
- проведении аудитов второй стороной и внутренних аудитов процессов.

Статистическая оценка точности и стабильности процессов важна на стадии предварительного анализа производственных процессов, так как позволяет определить возможности технологического оборудования и исследовать изменчивость процесса. Предварительный анализ требований потребителя (установленный диапазон допустимых значений) и фактических возможностей процесса позволяет принять решение о возможности выполнения того или иного технического задания.

Для применения показателей возможностей процесса изменчивость результатов измерений, обусловленная измерительной системой, должна быть мала по сравнению с установленным допуском. Важным условием является также корректное определение периодичности проведения измерений и объемов выборок. При слишком частых измерениях изменчивость в процессе практически не наблюдается, что не означает ее отсутствия.

В соответствии с рекомендациями ГОСТ Р ИСО 10017-2005 оценка возможностей процесса является оценкой изменчивости процесса, находящегося в состоянии статистической устойчивости. Если результаты процесса распределяются по нормальному закону, возможности процесса определяются термином «разброс процесса». Обычно разброс процесса принимают равным шести стандартным отклонениям распределения процесса (т.е. от -3σ до $+3\sigma$). Как показано на рис.2.5, этот разброс содержит 99,73% всей совокупности возможных значений.

К основным показателям возможностей и пригодности процесса относят:

1) индексы, отражающие изменчивость процесса по отношению к техническим требованиям, C_p и P_p ;

2) индексы, отражающие изменчивость и настроенность процесса на центр поля допуска по отношению к техническим требованиям, C_{pk} и P_{pk} ;

3) коэффициенты воспроизводимости и пригодности (коэффициенты точности процесса) C_R и P_R .

При применении данных показателей (индексов) следует учитывать, что:

- ни один отдельно взятый индекс или стандартное отклонение не может описать процесс;

- два или большее число показателей следует рассматривать совместно. Как минимум, следует применять сочетания, например, C_p, C_{pk}, C_R и P_p, P_{pk}, P_R ;

- необходимо применять графические методы анализа в сочетании с показателями процесса, например, ККУ, гистограммы, графики функций потерь;

- непрерывное совершенствование процесса должно быть направлено на снижение потерь потребителя;

- все оценки возможностей процесса должны быть отнесены к характеристике одного процесса. Не следует объединять или усреднять результаты оценки возможностей нескольких процессов.

В соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 50779.44-2001:

1) оценку возможностей процесса начинают после того, как на основе контрольных карт Шухарта проведен анализ стабильности процесса и его улучшения (особые причины идентифицированы, проанализированы, скорректированы и устранены);

2) распределение результатов измерений сравнивают с техническими требованиями для того, чтобы установить возможность устойчивого соответствия установленным требованиям и требованиям заказчика;

3) Количественную оценку возможностей стабильного процесса проводят на основе индексов воспроизводимости C_p и C_{pk} при выполнении следующих необходимых условий:

- процесс находится в статистически управляемом состоянии (статистически стабилен);
- измерения индивидуального показателя качества соответствуют нормальному распределению;
- технические требования и другие установленные нормативы точно представляют потребности потребителя;
- задан центр и (или) границы поля допуска;
- изменчивость измерений относительно мала;
- пользователи понимают относительность полученных значений индексов воспроизводимости в связи с изменчивостью процесса.

Индекс воспроизводимости процесса (или показатель возможностей процесса) C_p связывает изменчивость реального процесса (его размах) с полем допуска, установленным потребителем, например, в техническом задании. В общем случае он оценивается как

$$C_p = \frac{USL - LSL}{k \sigma_{\bar{R}} / d_2}, \quad (3.1)$$

где k - коэффициент, зависящий от закона распределения показателя качества процесса и достоверной вероятности. Для переменной с нормальным распределением, т.е. для $k = 6$, индекс воспроизводимости рассчитывается как допуск, деленный на шесть стандартных отклонений:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_I}, \quad (3.2)$$

где C_p - индекс воспроизводимости процесса без учета настроенности процесса на центр поля допуска. С учетом использования оценочных значений собственной изменчивости процесса получаем:

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_t}. \quad (3.3)$$

Значения C_p изменяются в диапазоне от 0 до 2. На рис.3.1 приведены примеры распределения для процессов с различными значениями C_p .

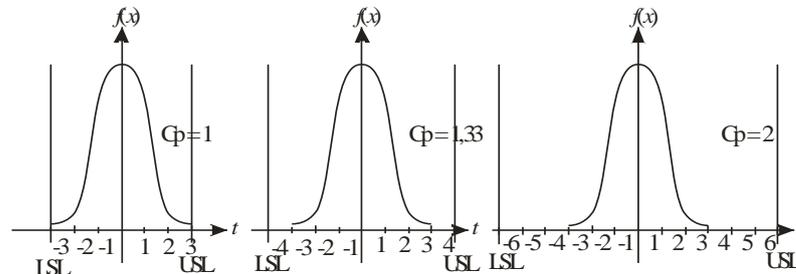


Рис.3.1. Возможные соотношения допуска и размаха процесса

При $C_p = 1,0$ процесс можно признать «воспроизводимым». При $C_p = 1,0$ вероятность брака теоретически составит 0,27%. Доля несоответствующих изделий составит 27/10000 или 2700 на миллион, т.е. 2700 ppm (parts per million), где ppm - единица измерения количества несоответствий. С учетом возможного действия особых причин вариаций, а также ввиду погрешности оценочных значений показателя (т.е. \hat{C}_p) значение $C_p = 1,0$ обычно не используется как минимальное приемлемое значение, поскольку приводит к еще большему числу бракованных изделий.

Применение значения $C_p = 1,33$ в качестве минимального допустимого уровня для текущего процесса оказывается более результативным. Это значение соответствует (при определенных условиях) довольно низкой доле брака (63 ppm) и может служить ориентиром для эффективной стратегии предотвращения производства бракованных изделий. Применение показателя $C_p = 1,33$ дает некоторую гарантию, что, по крайней мере, сохранится $C_p = 1,0$, если в процессе производства возникнут дополнительные источники вариаций.

При $C_p = 1,67$ уровень несоответствий составит 6 ppm.

Регулирование процессов на основе статистических методов может осуществляться в отношении управляемых процессов, т.е. статистически стабильных, коэффициент воспроизводимости которых превышает единицу. Статистически управляемым считают статистически стабильный процесс, коэффициент воспроизводимости которого $C_p > 1,33$. В ряде стран, уделяющих большое внимание повышению качества продукции на национальном уровне, коэффициент воспроизводимости должен быть не менее 2. Для отечественных предприятий этот уровень пока недостижим. Такой процесс при правильной настройке дает возможность получения практически 100% годных единиц продукции. Важно понимать, что отсутствие несоответствующих изделий не является самоцелью. Такой высокий уровень качества, прежде всего, означает высокую конкурентоспособность предприятия.

Следует заметить, что соотношение между диапазоном допустимых значений и размахом процесса ничего не говорит об их взаимном расположении (рис.3.2). Поэтому индекс воспроизводимости всегда используется в паре с модифицированным индексом возможностей процесса C_{pk} , описывающим возможности нецентрированного процесса, т.е. используется в паре с модифицированным индексом возможностей процесса C_{pk} , описывающим возможности нецентрированного процесса, т.е.

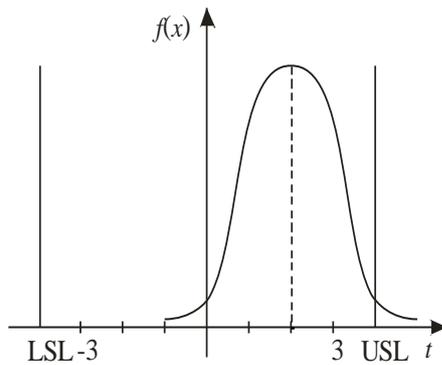


Рис.3.2. Смещение кривой распределения при $C_p = 1$

учитывающим смещение распределения относительно центрального значения:

$$C_{pk} = C_p(1 - k), \quad (3.4)$$

где k - коэффициент симметрии (или индекс центрирования), который рассчитывается с учетом допустимого смещения $\pm 1,5\sigma$:

$$k = \frac{\text{Ном} - \bar{X}}{\frac{1}{2}(USL - LSL)}. \quad (3.5)$$

Коэффициент симметрии (или индекс центрирования) при точном центрировании процесса $k=0$, а при совпадении среднего с одной из границ поля допуска $k = 1$.

При наличии односторонних допусков полезно использовать показатели C_{pU} , C_{pL} (рис.3.3), которые определяются как:

$$C_{pU} = \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_I}; \quad (3.7)$$

$$C_{pL} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_I}. \quad (3.8)$$

Индекс воспроизводимости, настроенность процесса на определяться также как двух: C_{pU} или C_{pL} . Фактически между средним процесса и допуска с половиной процесса.

Для центрированного распределением относительно рассмотренные коэффициенты т.е. $C_p = C_{pk}$.

Примеры процессов с и C_{pk} приведены на рис.3.4. Из смещение распределения

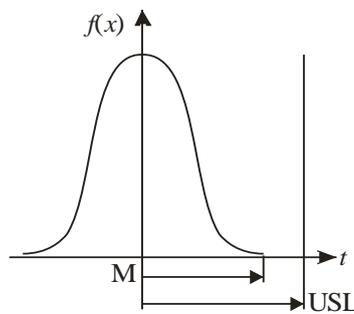


Рис.3.3. Определение индекса воспроизводимости при

который учитывает центр поля допуска, может минимальное значение из он соотносит расстояние ближайшим пределом поля собственной изменчивости

процесса с симметричным среднего (при $k = 0$) воспроизводимости равны,

различными значениями C_p рисунка видно, что центрального значения

относительно

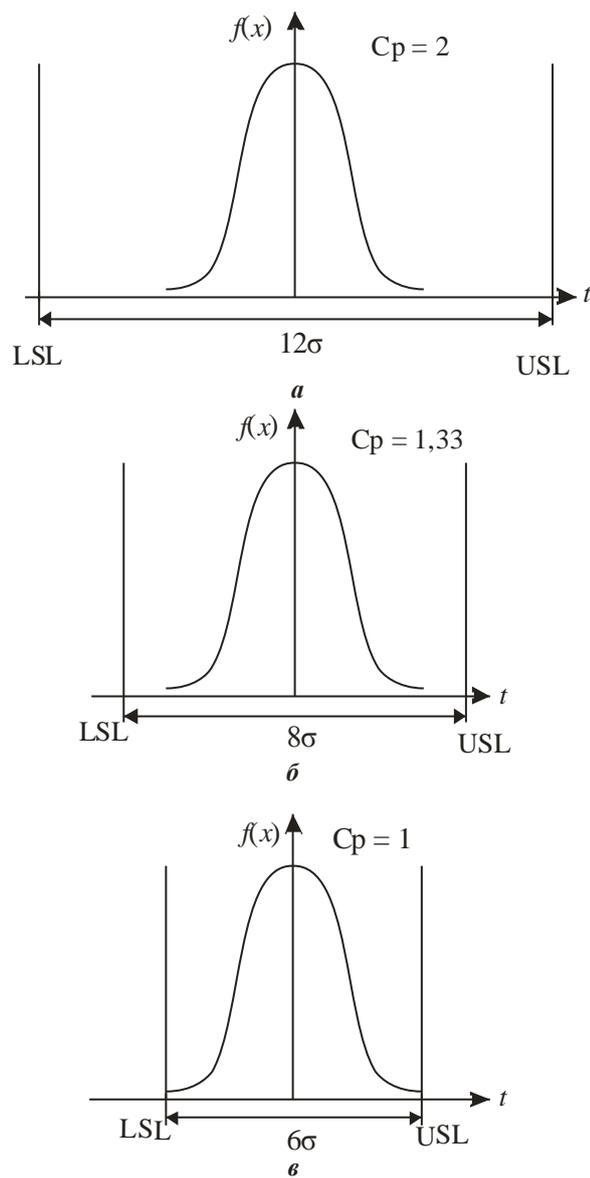


Рис.3.4. Примеры процессов с различными значениями C_p и C_{pk}

(или заданного номинального значения) ведет к увеличению доли бракованных изделий. Значения показателей C_p и C_{pk} позволяют определить интервал, в котором находится ожидаемый уровень несоответствий (долю бракованных изделий). При этом по значению C_{pk} определяют максимально возможное значение ожидаемого уровня несоответствий, по значению C_p - минимально возможное.

Если данные о процессе включают в себя такие признаки, как процент несоответствующих единиц продукции или число несоответствий на единицу продукции, то возможности процесса могут быть определены как средний процент несоответствующих единиц продукции или как среднее число несоответствий.

Расчет коэффициента воспроизводимости процесса C_R , применяемого для стабильных процессов, представляет собой определение величины, обратной индексу C_p :

$$C_R = \frac{1}{C_p} = \frac{6\hat{\sigma}_I}{USL - LSL}. \quad (3.8)$$

Коэффициент C_R , выраженный в процентах (т.е. умноженный на 100), соответствует доле от поля допуска в процентах и называется также коэффициентом точности. Он показывает, какая часть поля допуска покрывается рассеянием процесса. Например, значение индекса воспроизводимости $C_p = 1,33$ соответствует 75% от поля допуска (см., например, рис.3.1 или 3.4,а).

Для определения центрирования процесса относительно заданного номинального значения используют показатель C_{pm} , который определяется как минимальное значение из $\frac{USL - \text{Ном}}{3\hat{\sigma}_I}$ и $\frac{\text{Ном} - LSL}{3\hat{\sigma}_I}$ по аналогии с индексом C_{pk} .

Задача 3.1. Рассчитайте индексы воспроизводимости процесса и определите максимальную долю брака для данных, приведенных в задаче 2.6.

Понятие возможностей процесса применяется только к стабильному процессу. Для процессов с распределением, отличающимся от нормального закона, использование индексов возможностей может привести к ошибке, поэтому оценка доли несоответствующей продукции должна основываться на методах анализа возможностей процесса, специально разработанных для процессов с ненормальным законом распределения.

ГОСТ Р 50779.44-2001 для определения возможностей нестабильных процессов рекомендует наряду с индексами воспроизводимости C_p , C_{pk} использовать индексы пригодности P_p , P_{pk} .

Расчет основных показателей нестабильного процесса осуществляется следующим образом:

- P_p - индекс пригодности процесса без учета настроенности процесса на центр поля допуска рассчитывается как

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_T}. \quad (3.9)$$

Следует учитывать, что изменчивость и настроенность процесса на центр поля допуска - две отдельные характеристики процесса. В целях упрощения анализа объединяют две характеристики в одну, такую как P_{pk} , по аналогии с C_{pk} .

- P_{pk} - индекс пригодности процесса с учетом настроенности процесса на центр поля допуска рассчитывается как

$$P_{pk} = \min\left\{ \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_T}; \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_T} \right\}.$$

- при наличии односторонних допусков на результаты процесса полезно использовать показатели P_{pU} , P_{pL} , которые определяются как

$$P_{pU} = \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_T}; \quad (3.10)$$

$$P_{pL} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_T}; \quad (3.11)$$

• коэффициент пригодности процесса, стабильность которого не подтверждена, P_R , представляющий собой величину, обратную индексу P_p , определяется выражением

$$P_R = \frac{1}{P_p} = \frac{6\hat{\sigma}_T}{USL - LSL}. \quad (3.12)$$

Коэффициент P_R также может быть выражен в процентах.

Оценка индексов возможностей и пригодности процесса может быть проведена в ходе работы с ККУ по количественному признаку, например с \bar{X} - и R -картами. Если с помощью \bar{X} - и R -карт установлено, что процесс находится в статистически управляемом состоянии, можно оценить, способен ли процесс соответствовать установленным требованиям в отсутствие действия особых причин. Для этого вычисляют оценку стандартного отклонения процесса $\hat{\sigma}_I$:

$$\hat{\sigma}_I = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}.$$

В соответствии с формулами (3.3), (3.4) и (3.9), (3.10) рассчитывают индексы воспроизводимости и пригодности процесса, а также, где необходимо для анализа, коэффициенты точности C_R , P_R .

Перечисленные индексы образуют целостную систему показателей работы процесса, в удобной и компактной форме предоставляют информацию о работоспособности процесса. Они могут использоваться и с двусторонними, и с односторонними допусками, и с заданными номиналами, и без них. Они широко применяются на японских и американских предприятиях при оценке мероприятий по совершенствованию процессов, при выборе приоритетного направления совершенствования.

Задача 3.2. Рассчитайте индексы пригодности процесса, описанного в задаче 2.6.

Примеры процессов с различными значениями показателей представлены на рис.3.5. Из рисунка видно, что с изменением значений C_p растет доля брака.

Практика применения рассмотренных выше показателей свидетельствует, что в их использовании встречается ряд трудностей.

1. **Статистическая управляемость.** Не рекомендуется использовать для управления процессами индексы воспроизводимости до того, как процесс войдет в состояние статистической управляемости, поскольку данный индикаторный показатель характеризует обычную вариацию и показывает, что можно ожидать от процесса в будущем в условиях стабильности. Наличие особых причин вариации, преждевременная оценка индексов воспроизводимости, делают предсказания невозможными, а смысл воспроизводимости неясным.

2. **План выборки.** Значение среднего размаха \bar{R} , используемое для оценки среднеквадратического отклонения, зависит от плана выборки. Это значит, что величина индекса воспроизводимости может быть изменена посредством простого изменения плана выборки. Ситуация оказывается еще более сложной, если учесть, что число источников вариации растет с увеличением интервала времени между выборками. С увеличением интервалов времени растет \bar{R} , что приводит к расшире-

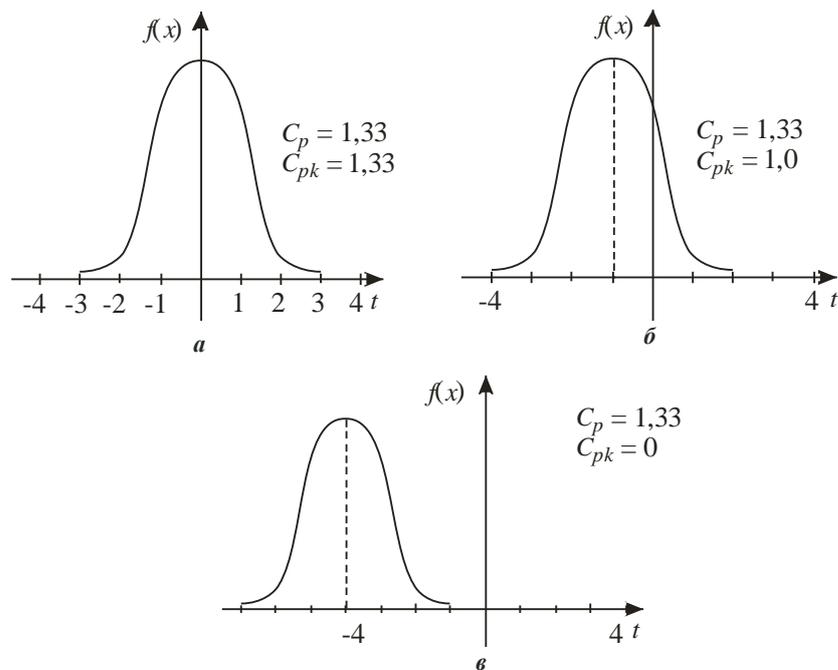


Рис.3.5. Примеры процессов с различными значениями индексов воспроизводимости

нию контрольных границ и, следовательно, достижение статистически управляемого состояния кажется более вероятным. Однако, увеличение \bar{R} приводит также к увеличению среднеквадратического отклонения, а значит, к уменьшению индексов воспроизводимости процесса. И наоборот: увеличение индексов воспроизводимости процесса возможно при использовании выборки последовательных деталей, т.е., при минимальном размахе \bar{R} . Однако в этом случае труднее всего добиться статистической управляемости, так как расстояние между контрольными пределами может стать наименьшим. Это следует учитывать при определении объемов и периодичности выборок при оценке краткосрочной и долгосрочной изменчивости.

3. **Вычисления.** Иногда бывает трудно вычислить C_p и C_{pk} непосредственно в цехе, где не все сотрудники привыкли к математическим формулам. Эту проблему можно решить путем обучения персонала и (или) автоматизации вычислений.

4. **Отклонения распределения от нормального.** Изменчивость результатов процесса может быть следствием ненормального распределения показателя. Индексы воспроизводимости в определенной степени чувствительны к таким отклонениям. Для приближенных оценок могут пригодиться преобразования данных. Возможно применение «обратного» расчета, т.е. определение эквивалентного индекса воспроизводимости исходя из известной доли бракованных изделий.

5. **Износ инструмента.** В ситуации, когда изнашивается инструмент либо, наоборот, производится частая смена инструмента, оценка показателя C_{pk} может быть некорректной.

Рассмотренная система показателей процесса представляет собой специальный «язык», который должен быть понятен как в цехе, так и в офисе менеджеров. Некоторые области применения этих показателей представлены в табл.3.1, но в любом конкретном приложении индексов надо учитывать описанные выше возможные проблемы.

Применение индикаторных показателей процесса позволяет поддерживать усилия, направленные на предотвращение производства брака, и обеспечивает возможности для мониторинга и непрерывного совершенствования процесса. Используя индексы воспроизводимости и пригодности, можно определить статистическую стабильность и статистическую управляемость процесса, что необходимо при использовании контрольных карт управляемости. Сравнивая между собой значения индексов воспроизводимости (C_p , C_{pk}) и пригодности (P_p , P_{pk}), полученные в различные периоды

времени, можно оценить эффективность проведения мероприятий по повышению качества продукции. Корректирующие действия должны повышать стабильность процесса и уменьшать его изменчивость, что предполагает максимальное приближение индекса пригодности P_p к индексу воспроизводимости C_p и последовательное увеличение индекса воспроизводимости. Если после проведения корректирующих мероприятий индексы воспроизводимости и пригодности остались неизменными (или даже уменьшились), то это свидетельствует о неэффективности управляющих решений и предпринятых действий.

Используя показатели возможностей и пригодности процесса, параллельно решают две задачи:

- центрирование действительного и заданного полей рассеяния значений параметра качества, достижение совпадения математического ожидания и середины поля допуска (или номинала);

Таблица 3.1

Основные индикаторные показатели процесса

Показатель	Уравнение оценивания	Применение
C_p	$\frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_I}$	Определение потенциала процесса для двусторонних границ допуска
C_{pU}	$\frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_I}$	Оценка работоспособности процесса относительно верхней границы допуска
C_{pL}	$\frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_I}$	Определение работоспособности процесса относительно нижней границы допуска
k	$\frac{Ном - \bar{X}}{1/2(USL - LSL)}$	Оценка смещения распределения относительно центрального значения, отклонение среднего значения процесса от середины между границами допуска
C_{pk}	$\min \{C_{pL}, C_{pU}\};$ $C_{pk} = C_p(1 - k)$	Оценка работоспособности процесса относительно двусторонних границ допуска
C_R	$1/C_p$	Определение доли от заданного поля допуска
P_p	$\frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_T}$	Оценка пригодности процесса
P_{pk}	$\min \left\{ \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_T}; \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_T} \right\}$	Оценка пригодности процесса с учетом центрирования его относительно среднего значения
P_R	$1/P_p$	Определение коэффициента пригодности

- уменьшение диапазона действительного рассеяния параметра качества до целевого значения индекса воспроизводимости процесса, например до $C_p > 1,33$.

На практике это соответствует одной из следующих ситуаций применения рассмотренных показателей.

1. **Предупреждение появления бракованной продукции.** Для различных типов испытаний оборудования и сертификации процесса полезно и целесообразно установить норму воспроизводимости. Как было показано выше, типичная норма воспроизводимости $C_{pk} = 1,33$ делает появление брака маловероятным. Если воспроизводимость процесса уже оценена, то следует использовать более высокое критическое значение.

2. **Мониторинг.** Наблюдения за изменяющимися значениями показателей воспроизводимости процесса позволяют осуществлять программу совершенствования процесса. Если, например, в одном месяце было 10% процессов со значениями индексов воспроизводимости между 1 и 1,33, а в следующем месяце некоторые из них имеют этот показатель между 1,33 и 1,67, то это свидетельствует о том, что совершенствование произошло. По таким сдвигам распределений легко осуществлять мониторинг.

3. **Коммуникация.** Показатели воспроизводимости и пригодности образуют общий язык для разработчиков и технологов для оценки как потенциальной, так и фактической работоспособности производственных процессов, вне зависимости от специфики производства. Инженеры-разработчики и технологи получают возможность общения друг с другом для достижения более высокой воспроизводимости процессов.

4. **Непрерывное совершенствование.** Данные об установленных критериях и показателях с неприемлемыми значениями C_p или C_{pk} являются информацией для установления приоритетов совершенствования процессов.

5. **Оценка процесса (настройка или изменчивость).** Для любого показателя всегда имеет смысл сравнить C_p и C_{pk} . Если значение C_{pk} мало, необходимо выяснить, не слишком ли велика изменчивость (т.е. значение C_p). Если значение C_p близко к значению C_{pk} , то с настройкой процесса нет проблем. Индексы C_{pU} , C_{pL} и k показывают, насколько близко среднее подошло к границам допуска и насколько далеко оно от целевого значения.

6. **Проверки.** Для оценки работоспособности систем применяются различные типы проверок качества (например, внутренний аудит качества). Сравнение оценок показателей воспроизводимости, полученных в процессе, с показателями воспроизводимости, определенными при проверке, может помочь выделить области, где возникают проблемы, и разработать программы корректирующих и предупреждающих действий.

2. Дополнительные индикаторные показатели процесса

К сожалению, имеют место случаи, когда проводимые корректирующие действия, направленные на повышение качества продукции, не дают ожидаемого эффекта. Частично это обусловлено тем, что во многих случаях мероприятия по повышению качества разрабатываются «вслепую» либо копируя действия аналогичных служб более успешных организаций, либо интуитивно перебирая бизнес-процессы предприятия по методу «черного ящика». Как первое, так и второе вызвано недостатком информации о состоянии процесса, в частности, о значимых составляющих изменчивости процесса. Рассмотренные в разделе 3.1 показатели относятся главным образом к процессам с нормальным распределением, т.е. с точки зрения реальных процессов к некоему «идеальному варианту». Применение рассмотренных показателей (C_p , C_{pk} и т.д.) к процессами «неидеальным» и даже нестабильным не позволяет добиться желаемого успеха. Для решения указанной проблемы необходимы поправки на «неидеальность» в индексы возможностей и пригодности, а также дополнение системы показателей индексами стабильности процесса, дрейфа центра группирования выборочной изменчивости, нелинейности смещения центра группирования выборочной изменчивости, динамики

рассеяния, нестабильности рассеяния выборочной изменчивости и индексом наибольшего выборочного рассеяния. Перечисленные дополнительные индикаторные показатели процессов помогают оценить краткосрочную и долгосрочную изменчивость, выявлять действие особых причин вариации процесса, а также демонстрировать центрированное или нецентрированное состояние процесса.

Индексом стабильности процесса P_s называют отношение индекса пригодности к индексу воспроизводимости или отношение оценки собственной изменчивости к оценке полной изменчивости процесса:

$$P_s = \frac{P_p}{C_p} = \frac{USL - LSL}{k\sigma_T} \times \frac{k\sigma_I}{USL - LSL}, \text{ или } P_s = \frac{\sigma_I}{\sigma_T}.$$

Для практического применения любого показателя вводят формальный критерий определения стабильности процесса. Так, статистически стабильным считается процесс, изменчивость которого преимущественно обусловлена обычными причинами изменчивости, а воздействие особых причин на полную изменчивость такого процесса пренебрежимо мало. К пренебрежимо малым величинам, как правило, относят величины второго порядка малости, из чего можно сформулировать условие стабильности процесса: $P_s \geq 0,9$.

Приведенный коэффициент 0,9 является условным, различные предприятия могут устанавливать его для себя в диапазоне (0,8÷0,95).

Индекс дрейфа центра группирования выборочной изменчивости процесса P_d оценивают как отношение максимальной разности средних арифметических двух выборок к допуску:

$$P_d = \frac{\max|\bar{X}_i - \bar{X}_j|}{USL - LSL},$$

где \bar{X}_i - среднее арифметическое i -й выборки; \bar{X}_j - среднее арифметическое j -й выборки; $USL - LSL$ - допуск.

В качестве индекса нелинейности смещения центра группирования выборочной изменчивости процесса P_n (как частный случай предыдущего показателя P_d) принимают отношение максимальной разности средних арифметических двух соседних (последовательных) выборок к допуску.

$$P_n = \frac{\max|\bar{X}_k - \bar{X}_{k+1}|}{USL - LSL},$$

где \bar{X}_k - среднее арифметическое k -й выборки; \bar{X}_{k+1} - среднее арифметическое $k + 1$ -й выборки.

Следует отметить, что индексы дрейфа и нелинейности оценивают смещение центра группирования выборочной изменчивости процесса, при этом индекс дрейфа центра группирования выборочной изменчивости процесса обусловлен обычными причинами изменчивости процесса, а индекс нелинейности смещения центра группирования - особыми причинами. Индекс дрейфа полезен для оценки долгосрочной изменчивости, а индекс нелинейности пригоден также для оценки краткосрочной изменчивости.

В качестве индекса динамики рассеяния выборочной изменчивости процесса P_{dR} используют отношение максимальной разности статистических оценок рассеяния двух выборок к значению наибольшей меры рассеяния этих выборок:

$$P_{dR} = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max}},$$

где R_{\max} - наибольший размах выборки; R_{\min} - наименьший размах выборки.

Под индексом нестабильности рассеяния выборочной изменчивости процесса P_{nR} понимают отношение максимальной разности размахов двух соседних выборок к большему значению размаха этих выборок:

$$P_{nR} = \frac{\max|R_i - R_{i+1}|}{R_i},$$

где R_i - размах i -й выборки; R_{i+1} - размах $i + 1$ -й выборки.

Под индексом максимального рассеяния P_{mR} , или индексом наибольшего рассеяния выборочной изменчивости понимают отношение максимального размаха выборки к допуску:

$$P_{mR} = \frac{R_{\max}}{USL - LSL}.$$

Следует заметить, что индексы динамики и нестабильности рассеяния, а также наибольшего выборочного рассеяния определяют изменение рассеяния выборочной изменчивости процесса, при этом индекс динамики рассеяния выборочной изменчивости процесса обусловлен обычными причинами возникновения изменчивости процесса, индекс нестабильности рассеяния выборочной изменчивости процесса - особыми причинами, индекс наибольшего рассеяния выборочной изменчивости в совокупности с индексом воспроизводимости может быть использован для оценки статистической управляемости процесса.

Рекомендации по применению индикаторных показателей процесса представлены в табл.3.2.

Рассмотренную систему статистических показателей процесса рекомендуется применять периодически для получения полной статистической информации о состоянии процесса и составляющих его изменчивости. Эта информация может использоваться как инструментарий исследования конкретных причин изменчивости процесса, их дифференцирования и повышения эффективности разрабатываемых мероприятий по улучшению качества продукции или услуг.