

10.1. Сущность задач анализа процесса и область его применения

Анализ технологического процесса представляет собой исследование изменчивости и распределения показателей качества с целью оценки пригодности процесса для изготовления продукции в рамках вариации, разрешаемой в технических требованиях. В соответствии с международными стандартами такое оценивание является обязательной процедурой в системе менеджмента качества. В ее основе лежит сравнение поля допуска, установленного по отношению к показателю качества соответствующим нормативным документом, с вариацией этого же показателя качества, обнаруженной при наблюдениях за технологическим процессом.

Анализ возможностей и управляемости технологического процесса используется:

- для определения способностей процесса производить продукцию, соответствующую установленным требованиям;
- для оценки ожидаемого количества несоответствующей продукции;
- для выбора процессов и оборудования, способных производить продукцию необходимого качества.

Чтобы обеспечить выпуск продукции, соответствующей установленным требованиям, процесс должен

- обеспечивать приемлемый разброс показателя качества;
- быть статистически управляемым.

Примеры вариантов состояния процесса с точки зрения приемлемости его результатов приведены на рис. 10.1. В первом случае (рис. 10.1,а), когда фактический разброс контролируемого параметра меньше допустимого и отклонение от спецификации (заданного значения) отсутствует, процесс вполне обеспечивает получение продукции заданного качества.

Требуемое качество обеспечивается и в случае, изображенном на рис. 10.1,б. Фактический разброс здесь также не превышает допустимой величины, однако центр вариации параметра смещен относительно заданного значения. Поэтому малейшее проявление особых причин может усилить вариацию показателя качества до

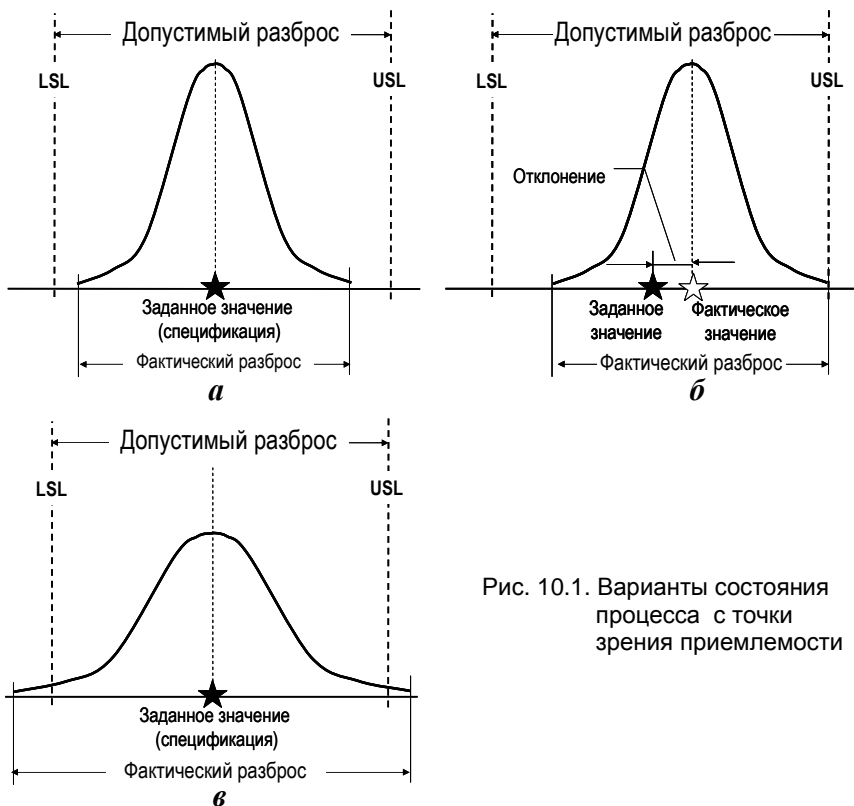


Рис. 10.1. Варианты состояния процесса с точки зрения приемлемости

такой степени, что будут наблюдаться значения, выходящие за границу допуска (в данном случае – скорее всего за USL). Процесс в подобном состоянии также можно считать приемлемым, но следует иметь в виду, что наблюдается тенденция к потере качества.

В случае, изображенном на рис. 10.1.в, потеря качества произошла. Хотя центр вариации контролируемого параметра совпадает с заданным значением, фактический разброс превышает допустимую величину. Количество несоответствующей продукции будет определяться долями распределения за нижней (p_n) и верхней (p_e) границами поля допуска, которые равны соответствующим вероятностям:

$$p_n = P(X < LSL); \quad (10.1)$$

$$p_e = P(X > USL), \quad (10.2)$$

Величины p_n и p_v также называют долями заниженных и завышенных значений.

Представленные на рис. 10.1 варианты состояния процесса характеризуют его потенциал, т. е. возможность обеспечивать фактическую вариацию показателя качества в пределах допустимой величины. Вместе с тем, важное значение имеет управляемость (стабильность) процесса.

Из определения, приведенного в ГОСТ Р 50779.11-2000, следует, что управляемость процесса представляет собой такое его состояние, в котором различия среди выборочных результатов, полученных в различные моменты наблюдения, можно считать следствием случайных причин. Для такого состояния характерны практически неизменные положения центра рассеяния относительно заданного значения контролируемого параметра и примерно одинаковые вариации в каждой из выборок (рис. 10.2, а-б). Если при этом во всех выборках фактический разброс меньше допустимого, то процесс называют стабильным и приемлемым (рис. 10.2,а). В случае, когда наблюдается фактический разброс, превышающий поле допуска (рис. 10.2,б), процесс называют стабильным, но неприемлемым.

Нестабильность процесса проявляется в непостоянстве выборочных вариаций и положения центра рассеяния относительно заданного значения (рис. 10.2,б-в). При этом возможна ситуация, когда, не смотря на смещения выборочных центров рассеяния, фактический разброс будет лежать в пределах допуска (рис. 10.2,в). Такой процесс называют нестабильным, но приемлемым. Если же будут наблюдаться случаи, когда фактический разброс превышает допустимую вариацию (рис. 10.2,в), процесс является и нестабильным, и неприемлемым.

10.2.Характеристики состояния (индексы) процесса

Показатели возможностей характеризуют потенциальные и фактические возможности процесса удовлетворять установленным техническим допускам для значений контролируемого показателя качества, измеряемого по количественному признаку. Для их применения должны быть выполнены следующие условия:

- индивидуальные значения показателей качества отдельных единиц продукции должны подчиняться нормальному закону распределения или близкому к нему;
- предварительно должна быть проведена оценка стабильности процесса с применением контрольных карт;

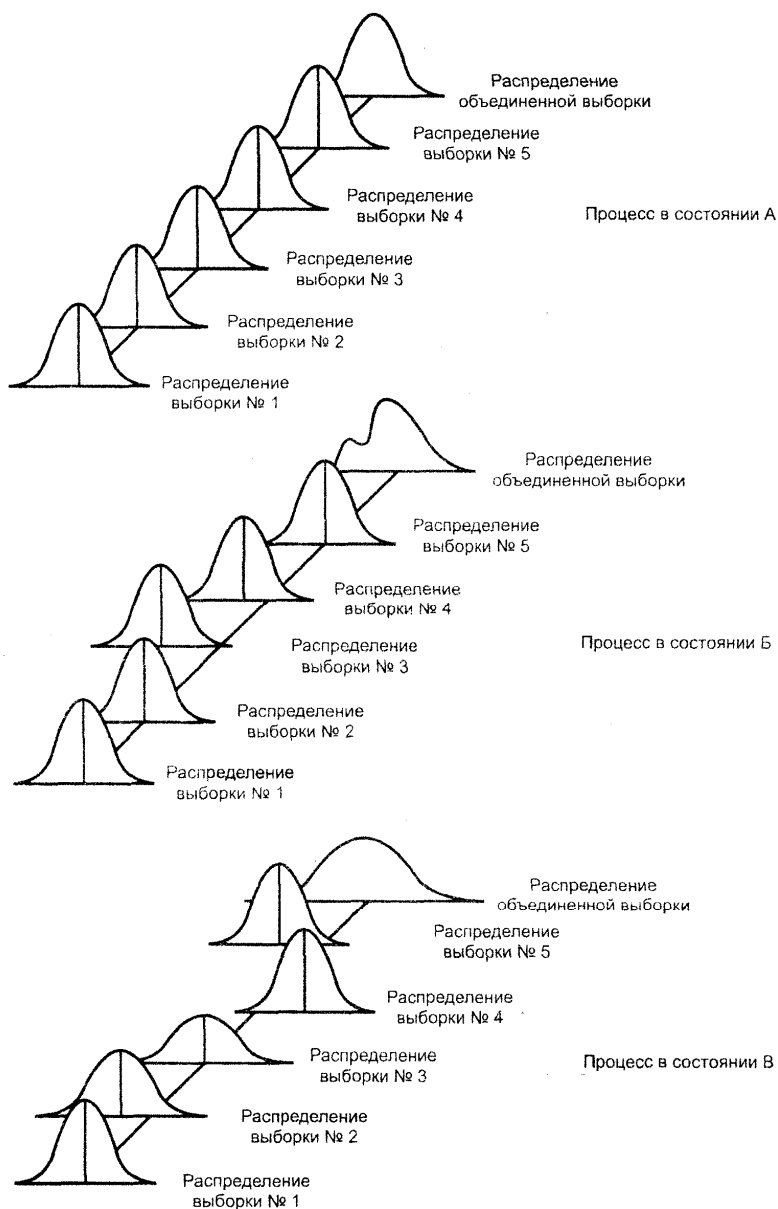


Рис. 10.2. Типичные варианты стабильности процесса [<>]

-изменчивость результатов измерений, обусловленная не только погрешностью измерительных приборов, но и измерительной системой в целом, должна быть мала по сравнению с нормативным допуском для контролируемого показателя.

Показатели, применяемые для оценки возможностей стабильного процесса (рис. 10.1,а), называют *индексами воспроизводимости* данного процесса:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_I}; \quad (10.3)$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_I}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_I}\right). \quad (10.4)$$

Характеристика C_{pk} - индекс с учетом центровки (т. е. с учетом положения центра вариации процесса), а C_p - индекс без учета центровки. Значение C_p не зависит от положения центра вариации процесса и даже если фактические значения показателя качества будут лежать вне допуска, это не повлияет на величину (10.3). Этот индекс характеризует лишь потенциальные возможности процесса для данного допуска и фактически определяет минимально возможный уровень несоответствий, если процесс будет абсолютно стабилен по настройке и значение \bar{X} , будет установлено по центру допуска.

Индекс C_{pk} зависит от настройки и всегда не больше, чем C_p . При смещении центра вариации процесса от центра допуска C_{pk} уменьшается и может стать даже отрицательным, если центр настройки, будет за границей допуска (рис. 10.3).

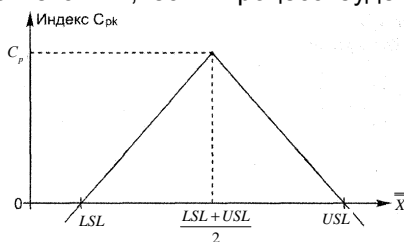


Рис. 10.3. Зависимость индекса C_{pk} от положения центра вариации процесса относительно допуска [$<>$]

Сравнение индекса C_{pk} с индексом C_p позволяет сделать вывод о степени настройки процесса. Если $C_{pk} < C_p$ на 30% или менее, то процесс удовлетворительно настроен по \bar{X} на центр

поля допуска. Если же C_{pk} меньше C_p более чем на 30%, то это означает плохое использование возможностей процесса. В этом случае уровень несоответствий может быть значительно снижен, если устанавливать центр настройки ближе к центру допуска.

В (10.3)-(10.4) величина $\hat{\sigma}_I$ - выборочное стандартное отклонение контролируемого показателя в результате действия только обычных причин и таким образом оно характеризует собственную изменчивости процесса. Оценивание $\hat{\sigma}_I$ рекомендуют производить в зависимости от типа контрольной карты, применявшейся для подтверждения стабильности процесса, по одной из следующих формул:

- при использовании \bar{X} - и MR -карт

$$\hat{\sigma}_I = \overline{MR}/d_2; \quad (10.5)$$

- при использовании \bar{X} - и R -карт

$$\hat{\sigma}_I = \bar{R}/d_2; \quad (10.6)$$

- при использовании \bar{X} - и S -карт

$$\hat{\sigma}_I = \bar{s}/c_4, \quad (10.7)$$

где \overline{MR} - средний скользящий размах, рассчитываемый по формуле (9.24);

\bar{R} - средний размах отдельных выборок, рассчитываемый по формуле (9.5);

\bar{S} - среднее значение стандартных отклонений отдельных выборок, рассчитываемое по формуле (9.15);

d_2 и c_4 - коэффициенты, значения которых (табл. 10.1) зависят либо от числа n точек, использованных для расчета скользящего размаха, либо от объема n отдельных выборок, использованных для построения R -карты.

Собственная изменчивость процесса может также быть оценена следующим образом:

$$\hat{\sigma}_I = \sqrt{\frac{s_1^2 + \dots + s_j^2 + \dots + s_k^2}{k}}, \quad (10.8)$$

s_j^2 - выборочная дисперсия единичной выборки объемом n_j :

Таблица 10.1

Значения коэффициентов для расчета $\widehat{\sigma}_T$ [$<>$]

n	d_2	c_4	n	d_2	c_4
2	1,128	0,7979	14	3,407	0,9810
3	1,693	0,8862	15	3,472	0,9823
4	2,059	0,9213	16	3,532	0,9835
5	2,326	0,9400	17	3,588	0,9845
6	2,534	0,9515	18	3,640	0,9854
7	2,704	0,9594	19	3,689	0,9862
8	2,847	0,9650	20	3,735	0,9869
9	2,970	0,9693	21	3,778	0,9876
10	3,078	0,9727	22	3,819	0,9882
11	3,173	0,9754	23	3,858	0,9887
12	3,258	0,9776	24	3,895	0,9892
13	3,336	0,9794	25	3,931	0,9896

$$s_j = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{i=1}^{n_j} (y_i - \bar{y}_j)^2 ; \quad (10.9)$$

\bar{y}_j - среднее выборочное единичной выборки объемом n_j :

Индекс S_p не зависит от настройки процесса: даже если ТП будет настроен вообще «мимо допуска», это не повлияет на величину (28). Для чего же нужен этот индекс? - Он характеризует потенциальные возможности процесса для данного допуска и фактически определяет минимально возможный уровень несоответствий, если процесс будет абсолютно стабилен по настройке (т.е. по \bar{x}) и значение p , будет установлено по центру допуска. Значения этого «оптимистического», т.е. минимально возможного для данного процесса уровня несоответствий приведено в таблице.

Показатели, применяемые для оценки возможностей процессов, стабильность которых не подтверждена (состояния Б и В на рис. 10.1), называют *индексами пригодности*

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\widehat{\sigma}_T} ; \quad (10.10)$$

$$P_{pk} = \min \left(\frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3\hat{\sigma}_T}, \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3\hat{\sigma}_T} \right). \quad (10.11)$$

В (10.5)-(10.6) величина $\hat{\sigma}_T$ - выборочное стандартное отклонение контролируемого показателя в результате действия как обычных, так и особых причин. Таким образом, данный показатель характеризует общую изменчивость процесса и рассчитывается по формуле

$$\hat{\sigma}_T = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{\bar{X}})^2}; \quad (10.12)$$

где $N = m n$ - общий объем данных, представленных в m выборках объемом n каждая, которые были сделаны за некоторый период времени наблюдения за процессом;

$\bar{\bar{X}}$ - точечная оценка математического ожидания показателя качества (среднее процесса), рассчитываемая как общее среднее анализируемого массива данных:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i; \quad (10.13)$$

x_i - результат измерения единичного показателя качества отдельной единицы продукции ($i = 1, \dots, N$).

Индексы C_p и P_p характеризуют возможности процессов в предположении, что среднее процесса настроено либо может быть настроено на центр поля допуска. Если среднее процесса смещено или может быть смещено от центра поля допуска, то дополнительно для анализа процессов следует применять индексы C_{pk} и P_{pk} .

Достаточно часто в нормативных документах устанавливают только один предел поля допуска: либо наибольшее USL , либо наименьшее LSL предельное значение показателя качества. Тогда для оценки возможностей процесса применяют только индексы C_{pk} и P_{pk} , которые рассчитывают по одной из следующих формул:

$$C_{pk} = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3\hat{\sigma}_I}; \quad (10.14)$$

$$C_{pk} = \frac{\bar{\bar{X}} - USL}{3\hat{\sigma}_I}; \quad (10.15)$$

$$P_{pk} = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3\hat{\sigma}_T}; \quad (10.16)$$

$$P_{pk} = \frac{\bar{\bar{X}} - USL}{3\hat{\sigma}_T}. \quad (10.17)$$

Формулы (10.14)-(10.17) применяются также в тех случаях, когда одно из предельных значений контролируемого показателя существует в виде естественного физического предела.

В некоторых случаях, по усмотрению изготовителя или по требованию потребителя продукции могут применяться иные показатели возможностей процесса, например *коэффициент воспроизводимости стабильного процесса*

$$CR = 1/C_p \quad (10.18)$$

и *коэффициент пригодности процесса, стабильность которого не подтверждена*

$$PR = 1/P_p. \quad (10.19)$$

Ни один индекс в отдельности не применим ко всем процессам и ни один конкретный процесс нельзя полностью описать одним индексом.

10.3.Оценки состояния процесса на основе индексов

Для обоснования значений индексов, по которым можно судить о состоянии технологического процесса, использованы особенности плотности вероятности стандартного нормального распределения (рис. 10.4).

В практике управления качеством продукции интервал от $-3s$ до $+3s$, в который при нормальном законе распределения вероятности попадает 99,73% значений случайной величины, рассматривают как *статистический допуск* показателя качества. Другими словами, разброс значений показателя качества считается удовлетворительным, если отклонения $d_i = |y_i - y_{ном}|$ (здесь $y_{ном}$ и y_i – номинальное и фактическое значения показателя качества) лежат

в пределах интервала, длина которого $6s$ (т. е. равна шестикратному выборочному стандартному отклонению).

Известно, что в соответствии со стандартным нормальным распределением вероятность отклонения значения случайной величины от ее математического ожидания более чем на 4σ равна нулю. Отсюда можно записать:

$$P(-4\sigma \leq |y_i - y_{ном}| \leq +4\sigma) = 1.$$

Следовательно, при нормальном выборочном распределении поле допуска, установленное нормативным документом (*нормативное поле допуска*), можно рассматривать как интервал, длина которого равна восьмикратному выборочному стандартному отклонению:

$$S_U - S_L = 8s.$$

Таким образом, значение $P_p = 8s/6s = 1,33$ (рис. 10.4,а) означает, что статистическое поле допуска уже нормативного и в смысле обеспечения качества продукции по рассматриваемому показателю процесс обладает хорошей устойчивостью, так как вероятность нарушения требований нормативных документов практически равна нулю.

Выборочное стандартное отклонение показателя качества может оказаться таким, что статистическое поле допуска совпадет с нормативным (рис. 10.4,б), т. е. индекс годности примет значение $P_p = 6s/6s = 1$. Подобная ситуация означает, что вероятность получения некачественной продукции возросла до $1 - 0,9973 = 0,0027$ или до 0,27%, т. е. стабильность процесса ухудшилась до минимально приемлемого уровня. В подобных условиях осуществление процесса еще допустимо, но желательно принять меры для повышения его стабильности.

На рис. 10.4,в изображен случай, когда в результате контролируемого технологического процесса получается такое стандартное выборочное отклонение показателя качества, при котором статистическое поле допуска больше нормативного, причем нормативное поле совпадает с «четырёхсигмовым» интервалом

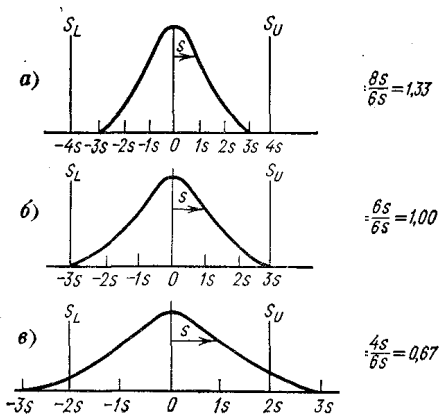


Рис. 10.4. Обоснование значений индекса годности $[<>]$

($S_U - S_L = 4s$). При этом $P_p = 4s/6s = 0,67$ и вероятность выхода несоответствующей продукции равна $1 - 0,9545 = 0,0455$ или 4,55%. Подобная ситуация является критической, в которой необходимо рассмотреть вопрос о прекращении процесса для принятия экстренных мер по его стабилизации.

Связь индексов возможностей C_p и C_{pk} стабильных процессов с ожидаемым количеством несоответствий продукции при нормальном распределении вариации контролируемого показателя представлена в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Связь индексов воспроизводимости C_p и C_{pk} стабильных процессов с ожидаемым уровнем несоответствий продукции [σ]

Значение C_p или C_{pk}	Уровень несоответствий продукции в		Значение C_p или C_{pk}	Уровень несоответствий продукции в	
	процентах несоответ- ствующих единиц продукции, %	числе несоот- ветствующих единиц на миллион еди- ниц продук- ции, ppm		процентах несоответ- ствующих единиц продукции, %	числе несоот- ветствующих единиц на миллион еди- ниц продук- ции, ppm
0,33	32,2	322 000	1,00	0,27	2 700
0,37	26,7	267 000	1,06	0,15	1 500
0,55	9,9	99 000	1,10	0,097	970
0,62	6,3	63 000	1,14	0,063	630
0,69	3,8	38 000	1,18	0,040	400
0,75	2,4	24 000	1,22	0,025	250
0,81	1,5	15 000	1,26	0,016	160
0,86	0,99	9 900	1,30	0,0096	96
0,91	0,64	6 400	1,33	0,0066	66
0,96	0,40	4 000			

Если процесс оценивается по индексу C_p , то приведенные значения ожидаемого уровня несоответствия следует рассматривать как минимальные из возможных при настройке на центр поля допуска. При оценке процесса по индексу C_{pk} , значения ожидае-

мого уровня несоответствия являются максимальными из возможных при неизменной настройке процесса. Таким образом с использованием табл. 10.2, зная значениям C_p и C_{pk} , можно определить диапазон ожидаемого уровня несоответствий для анализируемого процесса. Например, при оценке возможностей процесса получены следующие значения индексов: $C_p = 0,81$ и $C_{pk} = 0,69$. В этом случае ожидаемый уровень несоответствий от 1,5 % до 3,8 %.

В [<>] подчеркивается, что вследствие использования выборочных оценок для получения C_p и C_{pk} и ограниченности объемов наблюдений приведенные в таблице значения ожидаемых уровней несоответствий могут заметно отличаться от фактически наблюдаемых уровней несоответствий действующих процессов. Поэтому значение ожидаемых уровней несоответствий используют только для предварительных оценок качества процессов и мониторинга улучшений.

Известны также данные по ранжированию индексов годности и надежности в международной системе менеджмента качества приведены ниже (табл. 10.3).

Таблица 10.3

РАНЖИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ИНДЕКСОВ ГОДНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ
ДЛЯ ПРИНЯТИЯ МЕР ОТНОСИТЕЛЬНО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
[<>-<>]

P_p, C_p	Возможный выход брака, %	Оценка стабильности	Рекомендуемые действия
Более 1,67	Менее 10^{-4}	Отличная	Можно уменьшить строгость контроля
1,33-1,67	$10^{-4} - 0,06$	Хорошая	Необходимость вмешательства отсутствует
1,00-1,33	0,06-0,3	Удовлетворительная	Желательно улучшить стабильность процесса
0,67-1,00	0,3-4,55	Плохая	Необходимо срочное вмешательство
Менее 0,67	Более 4,55	Стабильность отсутствует	Дальнейшее ведение процесса без экстренных мер по его стабилизации недопустимо

10.4. Общие рекомендации по анализу состояния процессов

До начала анализа должны быть выполнены определенные действия.

Создание среды, благоприятной для анализа. С этой целью необходимо обеспечить условия для выполнения действий по улучшению качества, ресурсы и условия для объективной оценки процессов.

Определение процесса. Должны быть установлены взаимосвязи результатов процесса со всеми операциями, пользователями и конкретными элементами процесса, которые влияют на каждую стадию (люди, оборудование, материал, методы и окружающая среда). Чтобы выявить указанные взаимосвязи рекомендуется использовать межфункциональный подход, т. е. объединить опыт специалистов, отвечающих за разные аспекты процесса. В качестве наглядного отображения взаимосвязей рекомендуется применять причинно-следственную диаграмму и карту технологического процесса.

Определить показатели, которые будут использоваться в качестве выходных параметров (результатов, откликов) процесса. С этой целью из множества откликов необходимо выявить те, которые наиболее перспективны для совершенствования процесса. Наиболее просто такой анализ можно сделать на основании принципа Парето, а его результаты отобразить в виде диаграммы Парето.

При этом рекомендуется учитывать требования и взаимосвязи как конечного потребителя, так и последующего процесса производства продукции или услуги. С целью непрерывного совершенствования рекомендуется работать над проблемой в команде.

Также необходимо рассматривать установленные факты нежелательных отклонений процесса (брак, переделки, затраты времени, потеря цели и т.д.) и области риска (увеличение числа изменений в продукции, в услуге или в процессе).

Для эффективного изучения результативности процесса является перспективным использование статистически значимых взаимосвязей между откликами. Например, если отклик трудно измерить, можно измерить связанную с ним характеристику. Если несколько отдельных характеристик продукции имеют тенденцию изменяться взаимозависимо, то достаточно рассматривать одну из них. Однако следует иметь в виду, что даже статистически Надежная корреляция не всегда однозначно определяет причинно-следственные связи между величинами. При отсутствии предварительной информации о процессе для выявления таких взаимосвязей и проверки их значимости может потребоваться специально спланированный эксперимент.

Определить измерительную систему. Каждый контролируемый результат должен быть измерен в процессе работы, а информация должна быть своевременно доведена до всех заинтересованных лиц. Следует заранее определить, какая информация, где, когда и при каких условиях должна быть собрана. Измерительное оборудование должно отвечать требованиям точности и воспроизводимости результатов измерений и периодически проходить калибровку и поверку.

Минимизировать изменчивость. Необходимо снизить воздействие особых причин изменчивости. Для этого следует регистрировать все существенные изменения в условиях осуществления процесса, такие как смена инструмента, исходного материала и т.д. При последующем анализе это поможет предотвратить смешение данных, полученных в существенно различных условиях, а также идентифицировать особые причины недопустимых отклонений результатов процесса.

Выбрать объем, частоту отбора и число подгрупп данных (выборки). Подгруппы должны быть сформированы так, чтобы вариации внутри каждой из них были обусловлены только изменчивостью от одной единицы продукции к другой за короткий период времени. В этом случае любое нехарактерное различие между подгруппами будет отражать нежелательное изменение в процессе, которое должно быть исследовано для принятия соответствующих действий.

На первом этапе анализа процесса подгруппы должны охватывать четыре-пять последовательно изготовленных единиц продукции, произведенных при одинаковых производственных условиях за короткий промежуток времени. При этом изменчивость внутри подгрупп будет отражать только обычные причины. Объем выборки должен быть постоянным для всех подгрупп.

Особые причины изменчивости могут возникнуть из-за различий между персоналом смен, существенно неодинаковыми характеристиками материала различных партий, коррекциями технологического режима и т.д. Поэтому подгруппы рекомендуется отбирать так часто, чтобы они могли отразить возможные особые причины изменений процесса во времени. При первоначальном обследовании отбор подгрупп рекомендуют производить последовательно через короткие интервалы времени. Когда процесс стабилен (или проводят усовершенствование процесса), интервал времени между формированием подгрупп может быть увеличен.

Число подгрупп должно быть таким, чтобы могли проявиться все основные причины изменчивости. При проверке на стабильность и если она есть, хорошую оценку настройки и разброса про-

цесса дают результаты анализа не менее 25 подгрупп, содержащих 100 или более индивидуальных значений. В некоторых случаях могут также использоваться существующие данные, которые получены недавно.

После выполнения перечисленных выше подготовительных мероприятий необходимо определить допустимость оценки возможностей процесса с применением индексов. Сначала, на основе контрольных карт необходимо убедиться, что подтверждена стабильность процесса и результативность его улучшения, т. е. особые причины идентифицированы, проанализированы, скорректированы и устранены (рис.10.5).

Количественную оценку возможностей стабильного процесса можно проводить на основе индексов воспроизводимости C_p и C_{pk} при выполнении следующих условий:

- технические требования и другие установленные нормативы точно представляют потребности потребителя;
- задан центр и (или) границы поля допуска;
- изменчивость измерений относительно мала;
- пользователи согласны с относительностью полученных значений индексов воспроизводимости в связи с объективно существующей изменчивостью процесса;
- процесс находится в статистически управляемом состоянии (статистически стабилен), т. е. наблюдается случай, изображенный на рис. 10.2,а;
- измерения индивидуального показателя качества соответствуют нормальному распределению.

Если стабильность процесса подтверждена, то вычисляется собственная изменчивость σ_I по одной из приведенных выше формул – (10.5), (10.6) или (10.7) - в зависимости от типа контрольной карты, применявшейся для подтверждения стабильности процесса. Далее рассчитываются значения индексов C_p и C_{pk} делается вывод относительно состояния процесса. Напомним, что значение C_p характеризует потенциальные возможности процесса, а C_{pk} - фактические, т. е. с учетом настроенности процесса на заранее указанное целевое значение (например, на середину поля допуска).

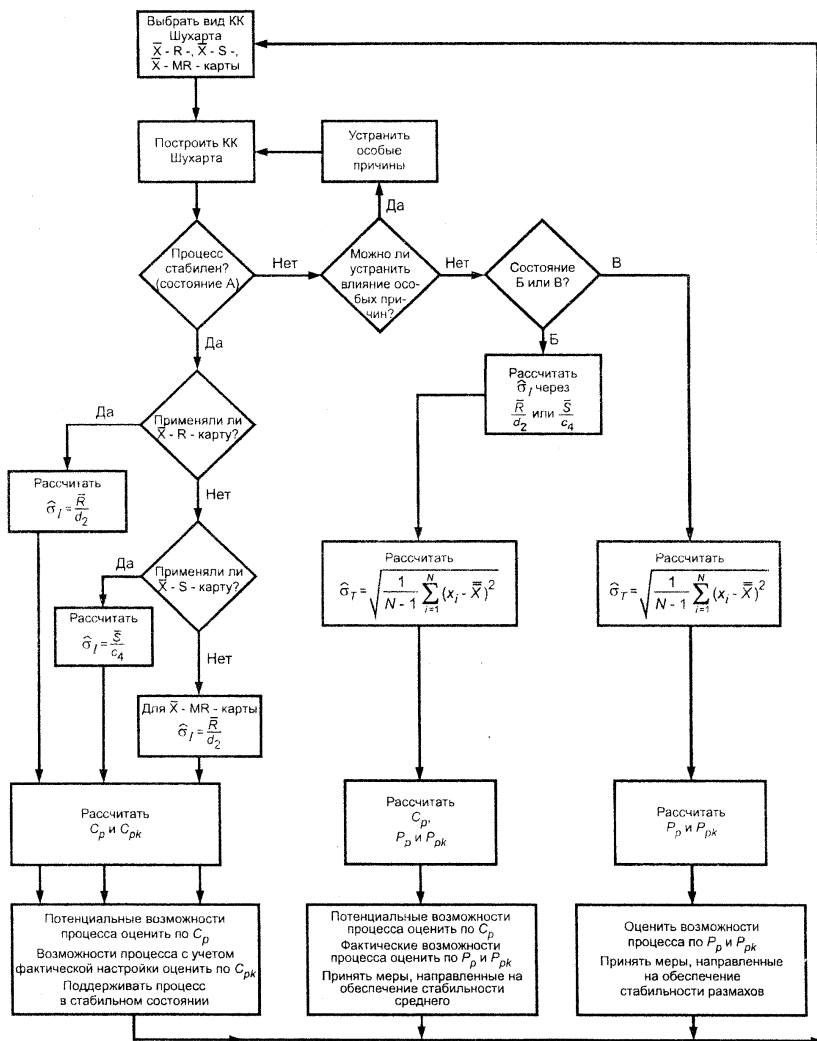


Рис. 10.5. Алгоритм оценивания возможностей процесса [<>]

В случае нестабильности процесса необходимо оценить возможность устранения особых причин. Если устранение особых причин невозможно, для анализа процесса следует использовать индексы C_p , P_p и P_{pk} . При этом, сначала, необходимо определить какой из случаев нестабильности наблюдается.

Если процесс нестабилен только по положению среднего (рис. 10.2,б), необходимо рассчитать собственную изменчивость σ_I по формулам (10.6) или (10.7), а также полную изменчивость $\widehat{\sigma}_T$ по формуле (10.12). В данном случае следует использовать индекс C_p для оценки потенциальных возможностей процесса, а также индексы P_p и P_{pk} для оценки фактических возможностей. Необходимо также принять меры по обеспечению стабильности положения среднего.

Если процесс нестабилен и по положению среднего, и по разбросу, рассчитывается полная изменчивость $\widehat{\sigma}_T$ по формуле (10.12) и оцениваются возможности процесса с применением индексов P_p и P_{pk} . В дальнейшем необходимо принять меры для обеспечения стабильности размахов.

10.5.Пример расчета индексов процесса в *MS Excel*

Приведем пример оценивания надежности производства на широкополосном стане горячей прокатки полосы нормальной точности по ГОСТ 19903 с номинальными размерами 2,5×1250 мм.

Для анализа взяты 5 партий металла, результаты контроля которых введены с клавиатуры в ячейках от B10 до F21 (рис. 10.6). Анализируемые партии полос представляют собой единичные независимые и однородные выборки, т. е. они получены независимо одна от другой в различные периоды работы стана и не содержат грубых погрешностей.

В ячейках E1 и E2 введены с клавиатуры номинальные размеры полосы.

В ячейках B7 и D7, также с клавиатуры, введены «минусовой» δ_h^- и «плюсовой» δ_h^+ допуски ГОСТ 19903 на металл нормальной точности по толщине при заданных номинальных размерах. Нижняя LSL и верхняя USL допустимые границы, а также нормативное поле допуска анализируемого параметра $USL - LSL$ рассчитываются в ячейках D7, E7 и F7 следующим образом:

Ячейка	Расчет в <i>MS Excel</i>
D7	=E2+B7
E7	=E2+C7
F7	=E7-D7

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Толщина г/к полос шириной			1250	мм									
2	при настройке на номинал			2,5	мм									
3	для	обычной		точности										
4	по ГОСТ 19903													
5	Допуски, мм		Нормативное поле											
6	$\delta \cdot$	$\delta \cdot$	Sl	Su	Su - Sl									
7	-0,18	0,18	2,32	2,68	0,36									
8			Партии металла											
9	1	2	3	4	5									
10	2,45	2,47	2,53	2,44	2,49									
11	2,51	2,48	2,51	2,43	2,50									
12	2,58	2,53	2,45	2,54	2,48									
13	2,49	2,55	2,51	2,54	2,52									
14	2,42	2,43	2,43	2,52	2,47									
15	2,40	2,46	2,52	2,53	2,52									
16	2,52	2,58	2,35	2,46	2,46									
17	2,54	2,49	2,50	2,51	2,53									
18	2,49	2,43	2,41	2,46	2,49									
19	2,48	2,51	2,43	2,55	2,49									
20		2,48	2,51	2,48										
21		2,57		2,55										
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														

В ячейках J3:N11 рассчитываются и оцениваются характеристики единичных выборок. Особенности программирования расче-

Рис. 10.6. Пример оценивания надежности технологического процесса

та и оценивания приведем для выборки 1 (ячейки от J2 до J11):

Ячейка	Расчет в MS Excel
J3	=СЧЁТ(В10:В19)
J4	=МИН(В10:В19)
J5	=МАКС(В10:В19)
J6	=ЕСЛИ(J4<\$D\$7;"Нет";ЕСЛИ(J5>\$E\$7;"Нет";"Да"))
J7	=СРЗНАЧ(В10:В19)
J8	=СТАНДОТКЛОН(В10:В19)
J9	=ДИСП(В10:В19)
J10	=ЕСЛИ(ABS(СКОС(В10:В19))/КОРЕНЬ(6*J3*(J3-1)/(J3-2)/(J3+1)/(J3+3)))<3;"Да";"Нет")
J11	=ЕСЛИ(ABS(ЭКССЦЕСС(В10:В19))/((J3-1)*КОРЕНЬ(24*J3/(J3-3)/(J3-2)/(J3+3)/(J3+5))))<5;"Да";"Нет")

Особенность программирования для других выборок состоит в правильном задании ссылок на адреса ячеек в аргументах статистических функций. Для выборки 2 необходимо использовать ссылку (С10:С21), для выборки 3 – (D10:D20) и т. д.

Проверка нормальности распределения изучаемого параметра в ячейках J10:N10 и J11:N11 производится на основании соотношений (2.13) и (2.15). Во всех случаях получен результат «Да», т. е. все выборки представляют значения случайной величины с нормальным законом распределения вероятности. Если пользоваться терминологией международных стандартов менеджмента качества, это означает, что в исследуемом технологическом процессе вариация показателя качества вызвана воздействием только обычных причин.

Расчет индексов годности производится в ячейках J14:J20 с использованием формул (2.26)-(2.29).

Ячейка	Расчетная формула	Расчет в MS Excel
J14	-	=СУММ(J3:N3)
J15	(2.28)	=СРЗНАЧ(В10:В19;С10:С21;D10:D20;E10:E21;F10:F19)
J16	-	=(D7+E7)/2
J17	(2.27)	=СТАНДОТКЛОН(В10:В19;С10:С21;D10:D20;E10:E21;F10:F19)
J18	(2.26)	=F7/(6*J17)
J19	-	=J15-D7
J20	-	=E7-J15
J21	(2.29)	=МИН(J19:J20)/(3*J17)

Вывод по результатам анализа годности генерируется в ячейке H22 с помощью функции ЕСЛИ():

=ЕСЛИ(МИН(J18;J21)<0,67;"Стабильность отсутствует";_
 ЕСЛИ(МИН(J18;J21)<1;"Необходимо вмешательство";_
 ЕСЛИ(МИН(J18;J21)<1,33;"Желательно улучшить";_

ЕСЛИ(МИН(J18;J21)<=1,67;"Стабильность хорошая";"Стабильность отличная")))))

Внимание! В MS Excel программирование данной конструкции необходимо осуществлять одной строкой, без пробелов и других разделителей. В примере символ «_» использован как условное обозначение неразрывности данной программной конструкции.

Расчет индексов воспроизводимости производится в ячейках J25:J32 с использованием формул (2.30)-(2.35).

Ячейка	Расчетная формула	Расчет в MS Excel
J25	-	=СЧЁТ(J2:N2)
J26	(2.35)	=СУММ(J7:N7)/J25
J27	-	=(D7+E7)/2
J28	(2.31)	=КОРЕНЬ(СУММ(J9:N9)/J25)
J29	(2.30)	=F7/(6*J28)
J30		=J26-D7
J31		=E7-J26
J32	(2.34)	=МИН(J30:J31)/(3*J28)

Вывод по результатам анализа годности генерируется в ячейке Н33 с помощью функции ЕСЛИ():

=ЕСЛИ(МИН(J29;J32)<0,67;"Стабильность отсутствует";_
 ЕСЛИ(МИН(J29;J32)<1;"Необходимо вмешательство";_
 ЕСЛИ(МИН(J29;J32)<1,33;"Желательно улучшить";_
 ЕСЛИ(МИН(J29;J32)<=1,67;"Стабильность хорошая";"Стабильность отличная")))))

10.6. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой анализ технологического процесса? На чем он основывается?
2. Поясните смысл потенциала процесса и приведите примеры.
3. Поясните смысл стабильности процесса и приведите примеры.
4. Запишите и поясните индексы воспроизводимости. Для какого в смысле стабильности процесса они применимы?
5. Запишите и поясните индексы пригодности процесса, стабильность которого не подтверждена.
6. Укажите возможные значения индексов и рекомендуемые действия для различных случаев.