

## Оценка точности, настроенности и стабильности технологических процессов

**Горячев В.В.** – вице-президент АНО «Военный Регистр», руководитель органа по оценке компетентности при Центральном органе СДС «Военный Регистр», эксперт СДС «Военный Регистр», к.т.н.

Исходя из опыта участия в межведомственных и сертификационных проверках предприятий ОПК и из общения с заместителями директоров по качеству, начальниками служб качества и главными технологами предприятий, можно сделать вывод, что одним из требований, вызывающих вопросы при сертификации и проверке СМК предприятия является оценка точности, стабильности и настроенности технологических процессов (операций). Это выполнение требований ГОСТов п.п. 7.5.1.9, 7.5.1.11 /1/ по проверке и обеспечению качества выполнения технологического процесса и п.7.1 /2/ при проведении периодических испытаний. Точность и стабильность технологического процесса, его настроенность – одни из основных показателей качества технологического процесса, его отработанности.

Основной целью статистического анализа точности и стабильности технологического процесса является получение и обработка систематизированной непрерывной информации о качестве продукции, необходимой для дальнейшего совершенствования технологического процесса, а также для определения оптимальных параметров его статистического регулирования (настройки).

Под статистическим анализом точности и стабильности технологического процесса понимается совокупность действий по установлению статистическими методами значений показателей точности, настроенности и стабильности технологического процесса и определению закономерностей их изменения во времени /4/.

В соответствии с классификацией дефектов /3/ (критический, значительный, малозначительный) устанавливаются три группы нормативов.

К первой группе относятся параметры продукции, деталей и сборочных единиц, несоблюдение заданных требований к которым по точности и стабильности может привести к нарушению безопасности изделия.

Ко второй группе относятся параметры продукции, влияющие на надежность работы изделий и их внешний вид, к третьей группе - параметры, не влияющие на безопасность и надежность работы (малозначительный дефект): незначительные отклонения в габаритных параметрах, отклонения отдельных параметров, проверяемые при последующей сборке в сборочные единицы и т.д.

Примечание.

Как показывает анализ классификации параметров продукции /7/, к первой группе может относиться до 5% от общего количества параметров продукции, ко второй - до 15-25%, к третьей - до 60-85% параметров.

Именно параметры первой и второй группы подлежат статистическому анализу на точность и стабильность в первую очередь.

При оценке точности и стабильности технологического процесса используются статистические методы, в частности контрольные карты Шухарта /8, 9, 10/.

Контрольная карта - это графическое отражение состояния процесса, его уровня и изменчивости.

Метод контрольных карт представляет собой простой графический метод оценки степени статистически неуправляемого состояния технологического процесса путем сравнения значений отдельных статистических данных из серии выборок или подгрупп с контрольными границами.

### **1. Оценка точности и настроенности техпроцессов**

Перед проведением контроля стабильности технологического процесса оценивается его точность.

В соответствии с п. 53 /5/ **под точностью технологического процесса понимается свойство технологического процесса, обуславливающее близость действительных и номинальных значений параметров по их распределению вероятностей.** В /7/ дано несколько другое определение: **точность - свойство обеспечивать близость действительных значений параметров технологического процесса к нормируемым их значениям.** Последнее определение, по-видимому, более понятно при использовании контрольных карт для оценки точности, настроенности и стабильности технологического процесса.

Точность технологического процесса определяется через коэффициент точности технологического процесса или технологического оборудования, который характеризует степень отклонения поля рассеяния контролируемого параметра от поля допуска и рассчитывается по формуле, представленной в /4/:

$$K_t = \omega \backslash T, \text{ где} \quad (1)$$

$T$  – поле допуска по чертежу (допуск на контролируемый параметр);

$\omega$  – поле рассеяния или разность максимального и минимального значений контролируемого параметра за установленное время.

$$\omega = I(\gamma) S, \text{ где} \quad (2)$$

$I(\gamma)$  – коэффициент, зависящий от закона распределения контролируемого параметра и величины  $\gamma$ . При нормальном законе распределения и доверительной вероятности  $\gamma$ , равной 0.997,  $I(\gamma) = 6$ .

Это означает, что 0,3 % точек (средних значений) могут выходить за пределы этих границ. Эта величина получила название ошибки первого рода или альфа-риска ( $\alpha = 0,003$ ), т.е. мы будем считать, что процесс

неточен, хотя на самом деле его параметры укладываются в нормы точности.

$$\omega = 6 S, \text{ где} \quad (3)$$

$S$  – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра.

$$S = \sqrt{1 \setminus (n-1) \left( \sum_{j=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right)} \quad (4)$$

Среднее значение или центр рассеяния (выборочное среднее арифметическое) определяется по формуле:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \text{ где} \quad (5)$$

$X_i$  – результат  $i$ -го измерения анализируемого параметра;

$n$  – объем выборки.

$K_t$  характеризует степень соответствия поля рассеяния контролируемого параметра полю допуска на этот параметр.

Процесс считается точным, если  $K_t < 1$ . Т.е. поле рассеяния контролируемого параметра должно быть меньше поля допуска на этот параметр. Если  $K_t > 1$ , то процесс не точен (идет брак) и нужны корректирующие действия по его регулированию.

Более точно  $K_t$  определяется для конкретных изделий и технологических процессов исходя из условий их применения.

Настроенность технологического процесса определяется как, см. (3, 7):

$$K_n = \frac{\bar{X}_i - X_n}{T}, \text{ где} \quad (6)$$

$K_n$  – коэффициент настройки технологического процесса;

$X_n$  – заданный центр настройки технологического процесса (или середина поля допуска).

Коэффициент настройки характеризует степень соответствия заданного в технологической документации центра настройки технологического процесса его среднему значению.

Технологический процесс считается настроенным, если  $K_n \rightarrow 0$ .

Первоначальную оценку точности технологических процессов проводят по первой выборке (установочной партии) после настройки технологического оборудования. Затем оценку точности техпроцессов можно проводить в рамках контроля технологической дисциплины.

После того, как мы убедились, что технологический процесс точен и настроен, оценивают его стабильность за определенный промежуток времени, например, период между периодическими испытаниями.

## 2. Оценка стабильности техпроцессов

После того, как проведена оценка точности технологического процесса и есть уверенность, что процесс настроен, проводится оценка его стабильности.

В соответствии с п. 3.1.28 /2/ и п. 54 /5/ **стабильность технологического процесса есть свойство технологического процесса, обуславливающее постоянство распределений вероятности его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне.**

Процесс считается стабильным, если контролируемые параметры находятся внутри контрольных пределов и не наблюдается тренд к их выходу за эти пределы. Трендом можно считать наличие трех и более точек в определенной последовательности.

При оценке контроля стабильности технологического процесса можно использовать контрольные карты, построенные по количественному или качественному признаку.

Контрольные карты по количественному признаку применяют, когда контролируемый параметр можно измерить, на него даны соответствующие допуски. Если контролируемый параметр не поддается измерению, а годность изделия определяется по количеству дефектов, то применяют контрольные карты по качественному признаку /9, 10/.

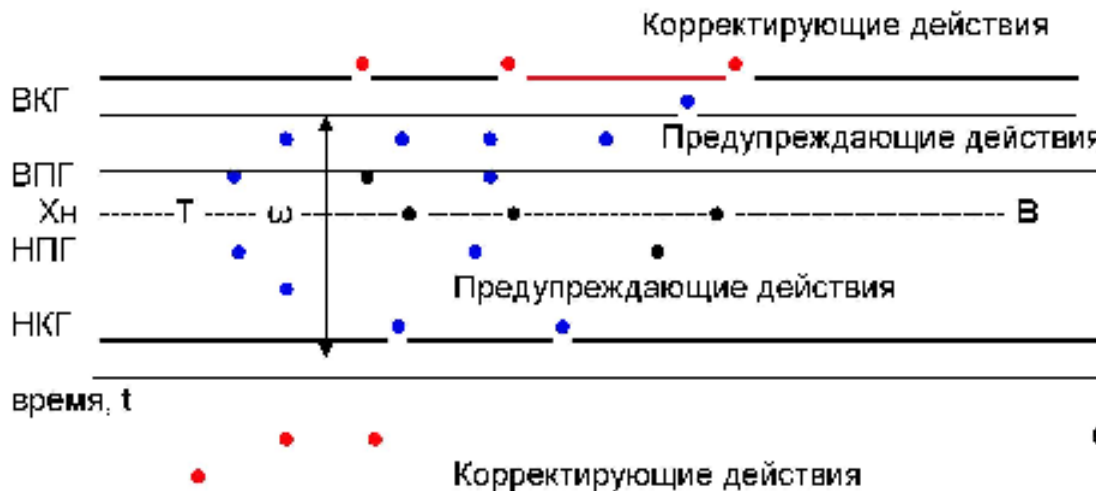
### 2.1 Построение контрольной карты по количественному признаку.

На рис.1 приведен пример контрольной карты, построенной по количественному признаку с 2-х сторонним допуском, выход контролируемого параметра за любую границу которого приводит к появлению несоответствующей продукции.

Для контроля по количественному признаку обычно используется нормальное распределение. Внешняя граница устанавливается на уровне среднего значения процесса  $\pm 3$  стандартного (квадратического) отклонения  $S$ .

Перед нанесением контрольных границ определяют центральную линию (заданный центр настройки  $X_n$ ) на контрольной карте. Это может быть середина поля допуска. Затем наносят контрольные границы:  $\pm 3 S$ .

Контр. параметр



ВКГ – верхняя контрольная граница;  
 НКГ – нижняя контрольная граница;  
 ВПГ - верхняя предупредительная граница;  
 НПГ - нижняя предупредительная граница.

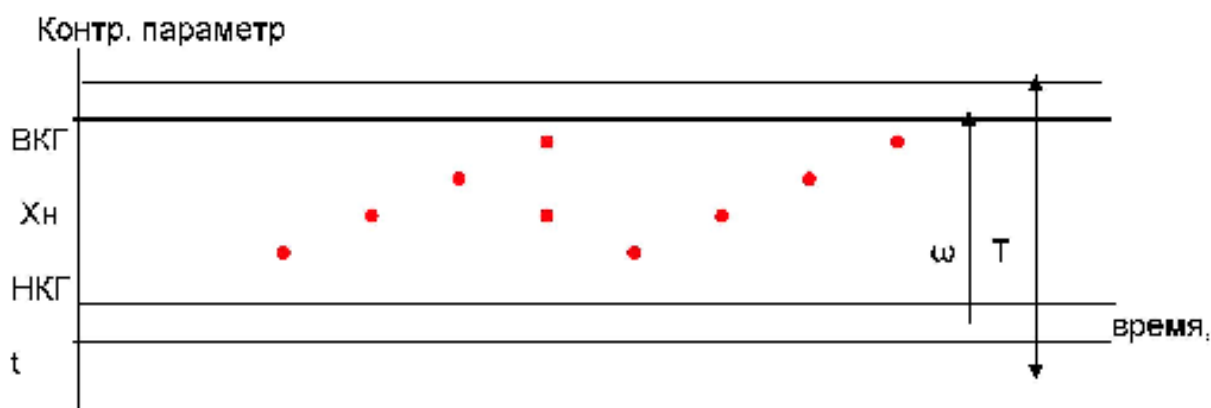
ВПГ и НПГ являются предупредительными (предупреждающими) границами, которые устанавливаются на уровне  $\pm 2 S$ . Предупредительные границы обычно устанавливаются для особо ответственных операций (технологических процессов).

Контрольные границы используют в качестве критерия для сигнализации о необходимости принять соответствующие меры или решить находится процесс в статистически управляемом состоянии или нет. Попадание точек вблизи от ВКГ и НКГ служит "ранним предупреждением" о начинающейся разладке технологического процесса..

Управление технологическим процессом может иметь следующие формы:

- определение причины статистически неуправляемого состояния технологического процесса;
- регулирование технологического процесса;
- остановка технологического процесса.

Технологический процесс, представленный на рис. 1, не точен, т.к. некоторые значения контролируемого параметра находятся вне поля допуска (●). Процесс также не стабилен. Необходимы корректирующие действия с остановкой технологического процесса для проведения его настройки. Затем проводятся предупредительные действия, т.к. имеется тренд к выходу контролируемого параметра за границы поля допуска



(значения, обозначенные ●).

Рис. 2

Процесс, представленный на рис.2, точен (настроен  $X_n = X$ ), но не стабилен. В данном случае проводятся предупредительные действия по выявлению причин нестабильности технологического процесса, его регулировка с целью недопущения выхода за ВКГ и НКГ.

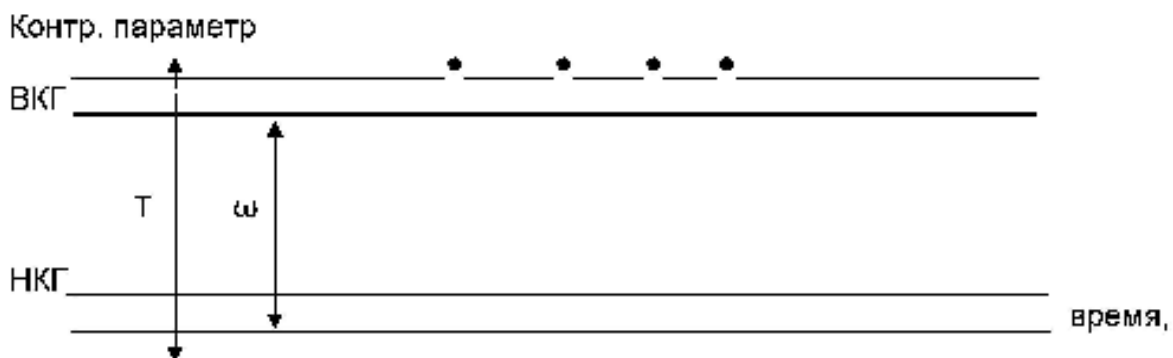


Рис. 3

Процесс, представленный на контрольной карте, рис.3, стабилен, но не точен. Проводятся корректирующие действия по регулировке технологического процесса.

Контр. параметр

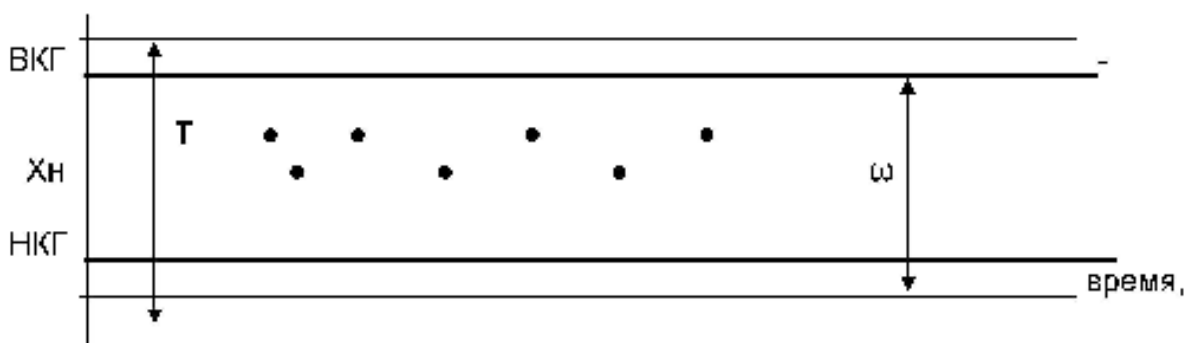


Рис. 4

Процесс, представленный на рис.4, настроен и стабилен. Корректирующих и предупреждающих действий по регулированию технологического процесса не требуется.

Стабильность технологического процесса можно оценить через коэффициент стабильности  $K_c$  по формуле, приведенной в /7/:

$$K_c = St_1 / St_2, \text{ где} \quad (7)$$

$St_1$  - среднее квадратическое отклонение в фиксированный момент времени  $t_1$ ;

$St_2$  - среднее квадратическое отклонение в сравниваемый фиксированный момент времени  $t_2$ .

В этом случае показателем стабильности технологического процесса служит среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра.

Технологический процесс считается стабильным при  $K_c \rightarrow 1$ .

Для оценки стабильности технологического процесса можно применять метод, предложенный в /11/, с использованием критерия Кохрана, который представляет собой критерий анализа однородности дисперсий при равном объеме выборок:

$$G = S_{\max} \sqrt{\sum_{i=1}^2 (S_i)}, \text{ где } \quad (8)$$

$S_{\max}$  – наибольшая из выборочных дисперсий;  
 $S_i$  – выборочная дисперсия для  $k$  выборок.

$S$  в /7/, /9/ и /10/ определяется по формуле (4).

Расчетный критерий Кохрана сравнивается с критическим распределением критерия Кохрана  $G_{0,05/ k; n-1}$  с параметрами:

$k$  – число выборок с  $l = n-1$  степенями свободы, где  $n$  – объем отдельной выборки. Значение критерия Кохрана  $G_{0,05/ k; n-1}$  для уровня значимости

$\alpha = 0,05$  определяется из таблиц /12/. Если  $G < G_{0,05/ k; n-1}$ , процесс считается стабильным.

Следует отметить, что  $K_t$  более важный показатель чем  $K_n$ , т.к. при  $K_t > 1$  идет брак и необходимы корректирующие действия. При  $K_t \leq 1$  корректирующих действий не требуется. А при  $0 < K_n < 0.5 T$  (при стабильном технологическом процессе необходимы только предупреждающие действия. При оценке стабильности технологического процесса по формулам (7) и (8) построение контрольных карт не требуется.

## 2.2 Построение контрольной карты по качественному признаку

Значения качественных признаков получают, устанавливая факт годности с помощью средств измерений или группируя изделия по принципу *годно – не годно*.

Существуют несколько типов контрольных карт по качественному признаку (табл.1):

Таблица 1

Типы карт для признаков

Карта	Что регистрируется	Объем партии
p	Доля дефектов	Переменный
np	Число дефектных изделий	Постоянный
c	Число дефектов	Постоянный
u	Число дефектов на единицу	Переменный
100p	Процент дефектных изделий	Переменный

Использование карт сводится к прослеживанию трендов и оцениванию любых изменений в технологическом процессе.

Для регулирования технологического процесса через заданные интервалы времени извлекаются выборки, и полученные на их основании результаты наносятся на контрольную карту. Ниже приведен пример построения 100р-карты процента дефектных изделий (в нашем случае – процент выхода годных).

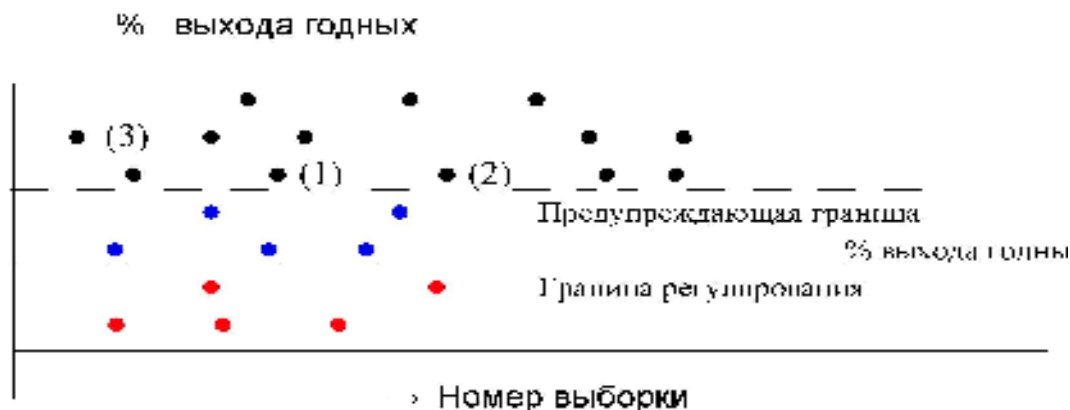


Рис. 5

Представленная на рис. 5 контрольная карта – карта с односторонним (нижним) полем допуска.

Процент выхода годных определяется после финишной операции. Граница регулирования (в нашем случае – нижняя, односторонняя) будет означать заданный в технологической документации процент выхода годных. Предупреждающую границу можно задавать несколько больше, чем процент выхода годных (определяется на основании выпуска установочной партии).

Статистическое регулирование технологического процесса (операции) заключается в нанесении на контрольную карту процента годных изделий из соответствующей выборки. Точки (●), находящиеся выше предупреждающей границы, свидетельствуют, что процесс настроен. Точка (●), находящаяся за предупреждающей границей, свидетельствует о том, что процесс не функционирует в соответствии со своим номиналом, а точка (●), находящаяся за пределами границы регулирования, свидетельствует о разладке процесса. Наличие трендов 1, 2, 3 свидетельствуют о нестабильности процесса.

Периодичность нанесения контрольных точек на контрольную карту определяется временем длительности техпроцесса, объемом и ритмичностью производства.

Следует отметить, что точность и стабильность технологического процесса можно оценить и без применения контрольных карт, если технологический процесс осуществляется на самонастраивающемся технологическом оборудовании, когда задаваемые поля допусков на контролируемый параметр автоматически регулируются средствами измерения, встроенными в это оборудование. Процесс считается точным, если за рассматриваемый период технологическое оборудование не перенастраивалось, и стабильным, если при очередной проверке соблюдения технологической дисциплины (или плановой проверке) средства измерения, встроенные в технологическое оборудование,

показывали, что контролируемый параметр находится в середине поля допуска. Встроенные средства измерения следует проверять через определенные промежутки времени, обусловленные также длительностью техпроцесса, объемом и ритмичностью производства.

Оценка точности, настроенности и стабильности технологических процессов и их регулирование находятся в рамках основной идеи СМК для предприятий ОПК – **не столько «отфильтровывать» брак на этапе контроля, сколько предупредить его появление.**

#### Литература:

1. ГОСТ РВ 15.002-2003 СРПП ВТ Системы менеджмента качества. Общие требования
2. ГОСТ РВ 15.307-2002 СРПП ВТ Испытания и приемка серийных изделий
3. ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
4. ГОСТ 27.202-83 Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготовленной продукции.
5. ГОСТ 15895-77 Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения
6. ГОСТ 23641-79 Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности операций механической обработки по параметрам точности и стабильности.
7. Р 50-601-20-91 ВНИИС. Рекомендации по оценке точности и стабильности технологических процессов.
8. Харингтон Г. Управление качеством в американских корпорациях. М., 1989.
9. Коуден Д. Статистические методы контроля качества / Пер. с англ. - М.: Физматгиз, 1961
10. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. М., изд-во «Мир», 1970
11. Херсонский Н.С., Прошин В.В. Статистические методы оценки точностных характеристик размерных цепей изделий и технологических процессов их изготовления. М., 2008
12. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М., Наука, 1983