

## Практическое занятие 4.1

### Тема: «Основные понятия по обеспечению точности технологических процессов»

**Цель работы:** Усвоить терминологию, касающихся точности технологических процессов.

#### Теоретическая основа

**Точность** - это степень соответствия измеренного значения истинному значению измеряемой величины. Это показатель того, насколько близко результат измерения соответствует истинному значению.

**Обеспечение точности технологических процессов** - это набор методов и приемов, направленных на снижение погрешностей и ошибок при проведении технологических операций. Целью является увеличение точности производства, повышение качества продукции и снижение издержек.

**Допуск** – это разность между максимальным и минимальным допустимыми значениями параметра.

**Квалитет** – это группа допусков, соответствующих определенной точности.

**Погрешность** – это отклонение фактического значения параметра от номинального.

**Волнистость поверхности** – это совокупность периодически повторяющихся неровностей поверхности на участках длиной от 1 до 10 мм.

**Шероховатость поверхности** (микрогеометрические отклонения) – это совокупность микронеровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности детали на участках длиной до 1 мм.

Точность параметров детали устанавливает конструктор исходя из ее служебного назначения при проектировании машины. Конструктор устанавливает как номинальное значение параметра, так и его допускаемые предельные значения (предельные отклонения).

#### Практическое задание

Составить кластер на тему «обеспечению точности технологических процессов»

## Практическое занятие 4.2

### Тема: «Статистический анализ точности и стабильности технологических процессов и оборудования и анализ качества продукции»

**Цель работы:** Научиться рассчитывать показатели анализ точности и стабильности технологических процессов.

#### Теоретическая основа

Точность и стабильность технологических процессов характеризуется следующими показателями:

##### 1. Показатель рассеяния

$$K_p = \frac{\omega}{T}$$

где  $\omega$  – поле рассеяния контролируемого признака качества;

$T$  – поле допуска.

Показатель  $K_p$  характеризует степень соответствия поля рассеяния полю допуска. Если  $K_p > 1$ , **точность процесса не удовлетворяет требованиям технической документации.**

##### 2. Показатель уровня настройки

$$K_n = \frac{x_n - \bar{x}_1}{T}$$

где  $x_n$  – заданный центр настройки;

$\bar{x}_1$  – среднее значение первой мгновенной выборки.

Показатель  $K_n$  характеризует точность настройки оборудования в начальный после настройки периода обработки.

##### 3. Показатель смещения центра рассеяния

$$K_y = \frac{\bar{x}_n - \bar{x}_i}{T}$$

где  $\bar{x}_n, \bar{x}_i$  – средние значения соответственно последней и первой мгновенных выборок.

##### 4. Показатель межнастрочной стабильности

$$K_{mc} = \frac{S_n}{S_1}$$

где  $s_n, s_1$  – средние квадратические отклонения соответственно в первой и последней выборках.

#### Практическое задание

Сделаны измерения диаметра валков: 20,03; 19,97; 20,05; 19,92; 20,13; 20,01; 20,06; 19,94; 19,98; 20,00. Номинальный размера валка с полем допуска по чертежу:  $20 \begin{pmatrix} +0,01 \\ -0,03 \end{pmatrix}$

Вторая выборка измерений диаметров валков: 20,01; 19,97; 19,97; 19,99; 20,01; 20,02; 20,06; 19,95; 19,98; 20,00.

- 1) Рассчитайте среднее значение и стандартное отклонение для ряда измерений;
- 2) Рассчитайте показатель рассеяния по полю допуска;
- 3) Рассчитайте показатель уровня настройки процесса;
- 4) Рассчитайте показатель смещения центра рассеяния;
- 5) Рассчитайте показатель межнастрочной стабильности.

Проанализируйте полученные значения показателей и сделайте вывод о качестве процесса.

### Практическое занятие 4.3

#### Тема: «Оценка качества технологического процесса»

**Цель работы:** Научиться оценивать качество технологического процесса из партии заготовок.

#### Теоретическая основа

Для оценки качества технологического процесса требуется сравнение допуска на размер с полем его рассеяния в конкретной технологической системе. Несмотря на то, что именно суммарная погрешность процесса изготовления является наиболее представительным значением поля рассеяния технологической системы, на практике таким сравнением пользуются редко, так как расчет суммарной погрешности процесса является исключительно трудоемкой операцией. Гораздо проще определить поле рассеяния какого-либо размера детали при ее изготовлении в конкретном технологическом процессе путем обработки результатов экспериментальных исследований.

Наиболее эффективным способом исследования распределения размера параметра является построение гистограммы.

**Гистограмма распределения** – это графическое отображение вариабельности процесса. Для построения гистограммы необходимо собрать необходимые данные о процессе.

#### Практическое задание

С целью оценки качества технологического процесса из партии заготовок, обработанных на станке-полуавтомате в течение рабочей смены и представленных на контроль, взята большая случайная выборка объема  $n = 100$  единиц продукции. Заготовки проконтролированы шкальным мерительным инструментом с ценой деления шкалы  $d_{II} = 2$  мкм по наружному диаметру размером  $\varnothing 24$  мм. Допуск на размер  $T = 52$  мкм, предельные отклонения  $T_B = 0$  и  $T_H = -52$  мкм. Полученные в результате измерений значения реализаций проверяемого показателя качества  $X$  (отклонения от номинального размера  $\varnothing 24$  мм в мкм) приведены в таблице контрольного листа.

Контрольный лист

Изучаемая характеристика качества	Название	Номинальное значение	Допуск $T$	Верхний предел $T_B$	Нижний предел $T_H$	Середина поля допуска $X_0$				
	Наружный диаметр	$\varnothing 24$ мм	52 мкм	0 мкм	-52 мкм	-26 мкм				
Цена деления шкалы измерительного прибора $d_H$				2 мкм						
Измеренные значения отклонений $X$ от номинального размера, мкм										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-40	-34	-42	-26	-50	-38	-36	-30	-42	-38
2	-34	-26	-40	-30	-46	-38	-38	-38	-34	-38
3	-44	-30	-46	-30	-40	-36	-38	-46	-38	-28
4	-48	-40	-38	-40	-46	-52	-34	-40	-34	-38
5	-46	-42	-44	-52	-38	-46	-50	-34	-26	-48
6	-40	-36	-36	-38	-32	-36	-40	-42	-48	-32
7	-38	-32	-40	-50	-38	-38	-36	-46	-30	-28
8	-40	-32	-44	-40	-34	-34	-40	-38	-36	-42
9	-30	-32	-50	-34	-42	-34	-36	-40	-42	-38
10	-40	-38	-32	-40	-34	-46	-42	-28	-44	-46
Объем выборки (общее число наблюдений)			Наибольшее значение $X$ в выборке ( $\max X$ )				Наименьшее значение $X$ в выборке ( $\min X$ )			
$n = 100$			-26				-52			

№	Интервалы $X$ от до		Подсчет частот	Частота $f_i$
1	-54	-50	II	2
2	-50	-46	IIII II	7
3	-46	-42	IIII IIII III	13
4	-42	-38	IIII IIII IIII IIII III	23
5	-38	-34	IIII IIII IIII IIII IIII I	26
6	-34	-30	IIII IIII IIII II	17
7	-30	-26	IIII IIII	9
8	-26	-22	III	3
$\Sigma$				100

1. Построить гистограмму и полигон распределения измеренных наружных диаметров заготовок
2. Рассчитать среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  исследуемого размера  $X$
3. Рассчитать:
  - максимальную ординату распределения  $y_{\max}$ ;
  - ординату для односигмовых ( $\pm\sigma$ ) расстояний от середины поля рассеяния  $y_\sigma$ ;
  - величину поля рассеяния  $\omega_{\max}$ ;
4. Определить величину смещения центра поля рассеяния от середины поля допуска
5. Определить индекса воспроизводимости процесса  $C_p$

#### Практическое занятие 4.4

#### Тема: «Статистические методы регулирования технологических процессов при контроле по альтернативному признаку»

**Цель работы:** научиться строить и анализировать рп-карту (контрольная карта числа дефектных изделий в партии).

#### Теоретическая основа

Каждому признаку качества должна соответствовать своя карта, однако из экономических соображений карты применяют для контроля лишь критических признаков.

Есть признаки, которые нельзя исследовать с помощью измерительных приборов, например степень загрязнения или интенсивность окрашивания. В этом случае применяют визуальный контроль. Часто сознательно отказываются от измерения, выражаемого числом, например, когда используют калибры. Проверенные изделия классифицируют на годные и дефектные.

Карта типа рп используется, когда контроль качества продукции производится по альтернативному признаку и применяется для отслеживания числа дефектных изделий в одинаковых партиях продукции. Число бракованных изделий (рп) статистически описывается биномиальным законом распределения.

##### Порядок построения:

1. Все изделия в порядке их изготовления объединяются в одинаковые по количеству партии, каждой из которых присваивается порядковый номер  $j$  от 1 до  $k$ , где  $k = 25 \div 30$ .

2. При контроле определяется число дефектных изделий  $m_j = rp_j$  в каждой  $j$ -ой партии. Значение  $rp_j$  заносится в контрольную карту

3. Когда набирается 25 – 30 точек, вычисляется среднее значение по формуле:

$$CL = \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^k (pn)_j = \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^k p_j \cdot n$$

$$UCL = \bar{pn} + 3\sqrt{(\bar{pn} \cdot (1 - \bar{p}))}; LCL = \bar{pn} - 3\sqrt{(\bar{pn} \cdot (1 - \bar{p}))}$$

4.

Данные о контроле необходимы для следующих целей:

- констатации реального уровня дефектности в наблюдаемый (исследуемый) период;
  - анализа процесса и определения реальных возможностей на ближайший плановый период.
- Существует также контрольная карта для текущего контроля при малых значениях  $n$ .

С ее помощью можно глубже проникнуть в процесс производства и лучше исследовать причины различных отклонений от нормы. Через определенные промежутки времени берут для контроля выборки небольшого объема. При этом детали с отклонениями от нормы исключаются из дальнейшей обработки. Карту заполняют обычно контролеры на конвейере.

Промежутки времени между отдельными выборками зависят от чувствительности производственного процесса к помехам, от производительности машин и от объема выборок. Хотя выборки большого объема содержат больше информации, однако это ведет к увеличению издержек. Объем выборок составляет от 5 до 10 % продукции смены. Карта текущего контроля имеет только верхнюю линию, поэтому трудно заметить наступление существенного улучшения в процессе, как это можно увидеть в **р** и **рп** - картах.

Карту заполняют регулярно. Доля брака в процентах, определяемая по ней, не должна намного превосходить заданной нормы. Значение доли (процента) брака, необходимое для ведения текущего контроля, можно определять по **р** - карте.

В **рп** карте **р** означает долю (процент) дефектных изделий в партии объемом  $n$  единиц.

Контрольные **р-карты** и **рп-карты** строятся на основе биномиального распределения.

Карта текущего контроля, классифицируя изделия по видам отклонений, дает знать о том, где следует искать нарушения процесса; она позволяет лучше использовать оборудование и материалы, способствует повышению квалификации рабочих и ответственности персонала.

Формулы для построения рп-карты

pn	$UCL = \bar{p} \cdot n + 3\sqrt{\bar{p} \cdot n \cdot (1 - \bar{p})}$ $CL = \bar{p} \cdot n$ $LCL = \bar{p} \cdot n - 3\sqrt{\bar{p} \cdot n \cdot (1 - \bar{p})}$
----	--

### Практическое задание

Построить рп-контрольную карту для оценки числа дефектных изделий в партии бытовых электрических лампочек. Обычно в процессе продажи этого товара продавец проверяет лампы в присутствии покупателя, отделяя не загоревшиеся при контроле. В течение недели результаты поточной проверки одинаковых партий лампочек (объёмом по 100 штук каждая) заносились в специально подготовленную таблицу.

1	2
2	6
3	3
4	8
5	7
6	4
7	9
8	5
9	5
10	7
11	3
12	6
13	5
14	9
15	4
	$\sum_{j=1}^{15} pn = 83$

## Практическое занятие 4.5

### Тема: «Оценка регулируемости технологических процессов при контроле по количественному признаку»

**Цель работы:** научиться проводить оценку управляемости (регулируемости) процесса при помощи s-карты.

#### Теоретическая основа

Значения стандартных отклонений  $S$ , рассчитанных для каждой серии измерений (таблица 1) определяется по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1)$$

При этом цена деления шкалы  $S$  должна быть такой же, как и для шкалы  $X$ .

2) Верхняя и нижняя контрольная граница регулирования для стандартных отклонений и средних значений по формулам:

$$\text{ВГР}_S = B_4 \cdot \bar{S} \quad (2)$$

$$\text{НГР}_S = B_3 \cdot \bar{S} \quad (3)$$

$$\text{ВГР}_X = \bar{X} + A_3 \cdot \bar{S} \quad (4)$$

$$\text{НГР}_X = \bar{X} - A_3 \cdot \bar{S} \quad (5)$$

Значения коэффициентов  $A_3$ ,  $B_3$ ,  $B_4$  выберем из таблицы 1.

Таблица 1 - Значения коэффициентов  $A_3$ ,  $B_3$ ,  $B_4$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A3	2,66	1,95	1,63	1,43	1,29	1,16	1,10	1,03	0,98
B3	-	-	-	-	0,03	0,12	0,19	0,24	0,28
B4	3,27	2,57	2,27	2,09	1,97	1,88	1,82	1,76	1,72

#### Практическое задание

Построить s-карту для оценки управляемости процесса производства изготовления втулок. За показатель качества при этом выбран диаметр втулки и его допускаемые (верхнее ES и нижнее EI) отклонения:  $D = 20$  мм,  $ES = -0,005$  мм,  $EI = -0,019$  мм. Исходные данные представлены в таблице 2. Сделать вывод.

Таблица 2 - Исходные данные

№ серии	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$\bar{X}_i$ , мкм	$R_i$ , мкм	$S_i$ , мкм
1	8	9	7	10	11			
2	6	12	6	3	8			
3	14	12	10	6	9			
4	2	5	10	6	9			

5	5	8	10	7	9			
6	7	3	9	12	8			
7	9	5	6	8	4			
8	10	12	7	5	8			
9	8	9	10	12	7			
10	9	10	6	7	8			
11	4	7	9	10	11			
12	6	9	5	8	10			
13	9	7	8	4	10			
14	11	10	9	6	4			
15	5	10	8	7	9			
16	6	9	7	5	8			
17	11	12	5	10	4			
18	9	8	9	13	4			
19	9	10	8	4	11			
20	11	9	10	6	5			



## Практическое занятие 4.6

### Тема: «Анализ производительности процесса»

**Цель работы:** научиться проводить оценку производительности технологического процесса при помощи индекса годности производственного процесса.

#### Теоретическая основа

Если гистограмма имеет симметричный (колоколообразный) вид, то можно предполагать гауссовский закон распределения случайной величины.

В этом случае среднее значение гистограммы приходится на середину размаха данных. Наивысшая частота оказывается в середине и постепенно снижается в обе стороны.

Когда выяснено, что гистограмма следует гауссовскому (нормальному) закону распределения, становится возможным исследование адекватности процесса, т.е. определяется неизменность основных параметров процесса: среднего значения  $\bar{x}$  или математического ожидания  $M(x)$  и стандартного отклонения ( $\sigma$ ) во времени. Оно важно при оценке процесса с помощью выборочных данных, когда требуется выяснить вероятность пересечения распределения генеральной совокупности и границ поля допуска, и появления в связи с этим несоответствия требованиям потребителя (пользователя). Если процесс имеет нормальное распределение, то не представляет труда определить возможность выхода распределения генеральной совокупности при заданных значениях  $M(x)$  и  $\sigma$  исходя из сравнения соответствующих трехсигмовых пределов и пределов поля допуска.

Если брать в качестве границ допуска трехсигмовые пределы, то годными будут считаться 99,73 % всех данных генеральной совокупности и только 0,27 % данных будут считаться несоответствующими (non- conformity — NC) требованиям потребителя (пользователя), так как они расположены за границами заданного поля допуска. Таким образом, часть годных данных ( $\leq 0,27$  %) считают несоответствующими требованиям, и в этом состоит особенность трехсигмовых пределов, которые применяют на практике для сравнения распределения данных с устанавливаемыми границами допуска.

На современных предприятиях все чаще начинает использоваться анализ при помощи шестисигмовых контрольных границ (Six-Sigma Limits), т.е. рассматриваются пределы, соответствующие шести среднеквадратическим отклонениям.

Для количественной оценки того, сколько из данных вошло в поле допуска, используют так называемый коэффициент годности  $C_p$ :

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

где USL - верхний предел спецификации,

LSL - нижний предел спецификации;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение,

$\bar{x}$  – среднее значение выборки,

$x_i$  - i-ый элемент выборки,

n- количество элементов в выборке .

Однако в подавляющей части зарубежной литературы это отношение принято называть отношением или индексом годности.

Исследование адекватности процесса с помощью  $C_p$  позволяет оценить качество процесса в соответствии с требованиями потребителя. **Чем больше величина  $C_p$ , тем выше качество процесса и тем меньше вероятность несоответствия его выхода ожиданиям потребителя.**

Часто на практике для оценки смещения среднего значения применяют **индекс годности Срк**.

**Индекс годности** (индекс производственных возможностей процесса) показывает, насколько точно разброс технических характеристик произведенной продукции соответствует допускам, определенным проектными границами. Если проектные границы выше трёх сигм, принятых для процесса, то среднее значение может немного сдвигаться по отношению к центру, не требуя какое-то время корректировок процесса, и при этом будет продолжаться выпуск большого процента качественных деталей.

Поскольку среднее значение процесса может смещаться направлении, направление сдвига и его расстояние от характеристик определяют предел возможностей процесса, что и отражает индекс годности. С формальной точки зрения Срк вычисляется как меньшее из двух, определяемых по следующей формуле:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{X - LSL}{3\sigma}; \frac{X - USL}{3\sigma} \right\} \quad (3)$$

Для анализа используется следующее правило:

$C_p > 1,33$  — процесс в удовлетворительном состоянии;

$1,00 \leq C_p \leq 1,33$  — процесс отвечает предъявляемым к нему требованиям;

$C_p < 1,00$  — процесс не отвечает предъявляемым требованиям.

Связь индексов воспроизводимости и стабильных процессов с ожидаемым уровнем несоответствий продукции

Значение $C_p$ или $C_{pk}$	Уровень несоответствий продукции в	
	процентах несоответствующих единиц продукции, %	числе несоответствующих единиц на миллион единиц продукции
0,33	32,2	322000
0,37	26,7	267000
0,55	9,9	99000
0,62	6,3	63000
0,69	3,8	38000
0,75	2,4	24000
0,81	1,5	15000
0,86	0,99	9900
0,91	0,64	6400
0,96	0,40	4000
1,00	0,27	2700
1,06	0,15	1500
1,10	0,097	970
1,14	0,063	630
1,18	0,040	400
1,22	0,025	250
1,26	0,016	160
1,30	0,0096	96
1,33	0,0066	66

### Практическое задание

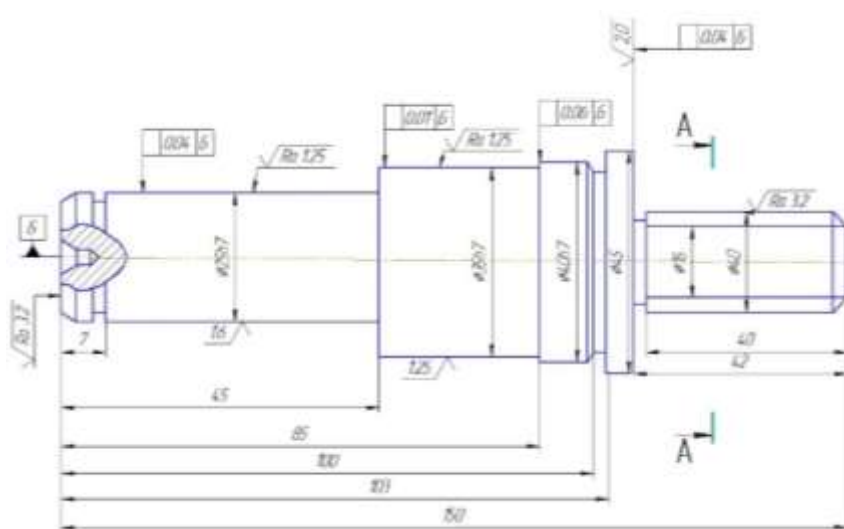
Приер расчета показателей производительности процесса механической обработки вала.

Требуется определить индекс годности процесса.

Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

№ серии	X <sub>1</sub> 35(-0,025) мм
1	35,01
2	35,01
3	34,998
4	34,997
5	34,98
6	34,981
7	34,992
8	34,993
9	34,992
10	34,998
11	34,993
12	35
13	34,985
14	34,975
15	34,981
16	35
17	34,978
18	35
19	35,02
20	34,996



- 1) определить среднее арифметическое производственного процесса
- 2) определить среднеквадратическое производственного процесса
- 3) определить отношение производительности производственного процесса
- 4) определить индекс годности производственного процесса
- 5) Сделать вывод о годности производственного процесса