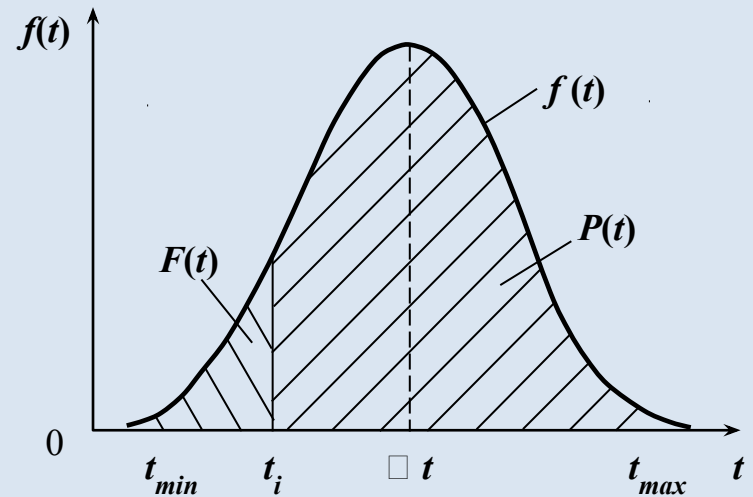


# Оценка надежности технологических систем по параметрам качества изготавливаемой продукции



# Источники информации

1. ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения.
2. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции.
3. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Общие требования к методам оценки надежности.
4. РД 50-706-91. Методические указания. Надежность в технике. Методы контроля надежности.
5. Правиков Ю.М., Муслина Г.Р. Основы теории надежности технологических процессов в машиностроении : учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 122 с.

# Общие положения

Надежность оценивают в основном в двух случаях:

- для определения надежности ТС действующих ТП и операций, установления причин недостаточной их надежности, разработки мероприятий по устранению причин отказов в массовом и серийном производстве ;
- при технологической подготовке производства для выбора наилучшего варианта ТП.

# Общие положения

В зависимости от уровня ТС все показатели надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции подразделяются на четыре группы:

- по точности ТП и средств технологического оснащения;
- по технологической дисциплине;
- по выполнению заданий по параметрам качества продукции;
- комплексные показатели.

# Общие положения

При расчете надежности ТС параметры, определяющие работоспособное состояние, согласно ГОСТ 27.203, следует разделить на три группы:

- характеризующие качество изготавливаемой продукции  $Q(t)$ ;
- характеризующие производительность  $R(t)$ ;
- характеризующие величину затрачиваемых ресурсов  $C(t)$ .

Состояние ТС следует считать работоспособным, если

$$Q(t) \subset \tilde{Q}; \quad R(t) \subset \tilde{R}; \quad C(t) \subset \tilde{C}.$$

# Общие положения

Для оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции в зависимости от вида ТС и целей оценки обычно используют:

- расчетные,
- опытно-статистические,
- регистрационные,
- экспертные методы.

Для предварительной оценки надежности ТС по параметрам точности, как правило, используют метод **квалитетов**.

# Области применения групп показателей надежности ТС по ГОСТ 27.202

| Вид технологической системы        | Группы показателей надежности ТС |                               |                                   |                        |
|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
|                                    | по точности                      | по технологической дисциплине | по выполнению заданий по качеству | комплексные показатели |
| ТС технологической операции        | +                                | -                             | +                                 | -                      |
| ТС технологического процесса       | +                                | +                             | +                                 | +                      |
| ТС производственного подразделения | -                                | +                             | +                                 | +                      |
| ТС предприятия                     | -                                | +                             | +                                 | +                      |

Примечание. Знак «+» означает возможность применения группы показателей для ТС данного вида.

# Методы оценки надежности

Расчетные методы основаны:

- на использовании математических моделей изменения параметров качества изготавливаемой продукции или параметров ТП с учетом физики отказов (качественной природы процесса изнашивания, старения, температурных деформаций и т.п.) и имеющихся априорных данных о свойствах ТС данного класса;
- на использовании данных о закономерностях изменения во времени факторов (износ инструмента, температурные и упругие деформации и т.п.), влияющих на один или одновременно несколько параметров качества изготавливаемой продукции.



# Методы оценки надежности

Опытно-статистические (измерительные) методы основаны на использовании данных измерений параметров качества изготавливаемой продукции, полученных в результате специального выборочного обследования ТС и (или) специальных испытаний ТС и ее элементов.

Регистрационные методы не требуют проведения специального выборочного обследования и основаны на анализе информации, регистрируемой в процессе управления предприятием (результаты контроля точности ТП, число принятых партий, дефектов и т.п.).

# Результаты оценки надежности

Результаты оценки надежности ТС используются для:

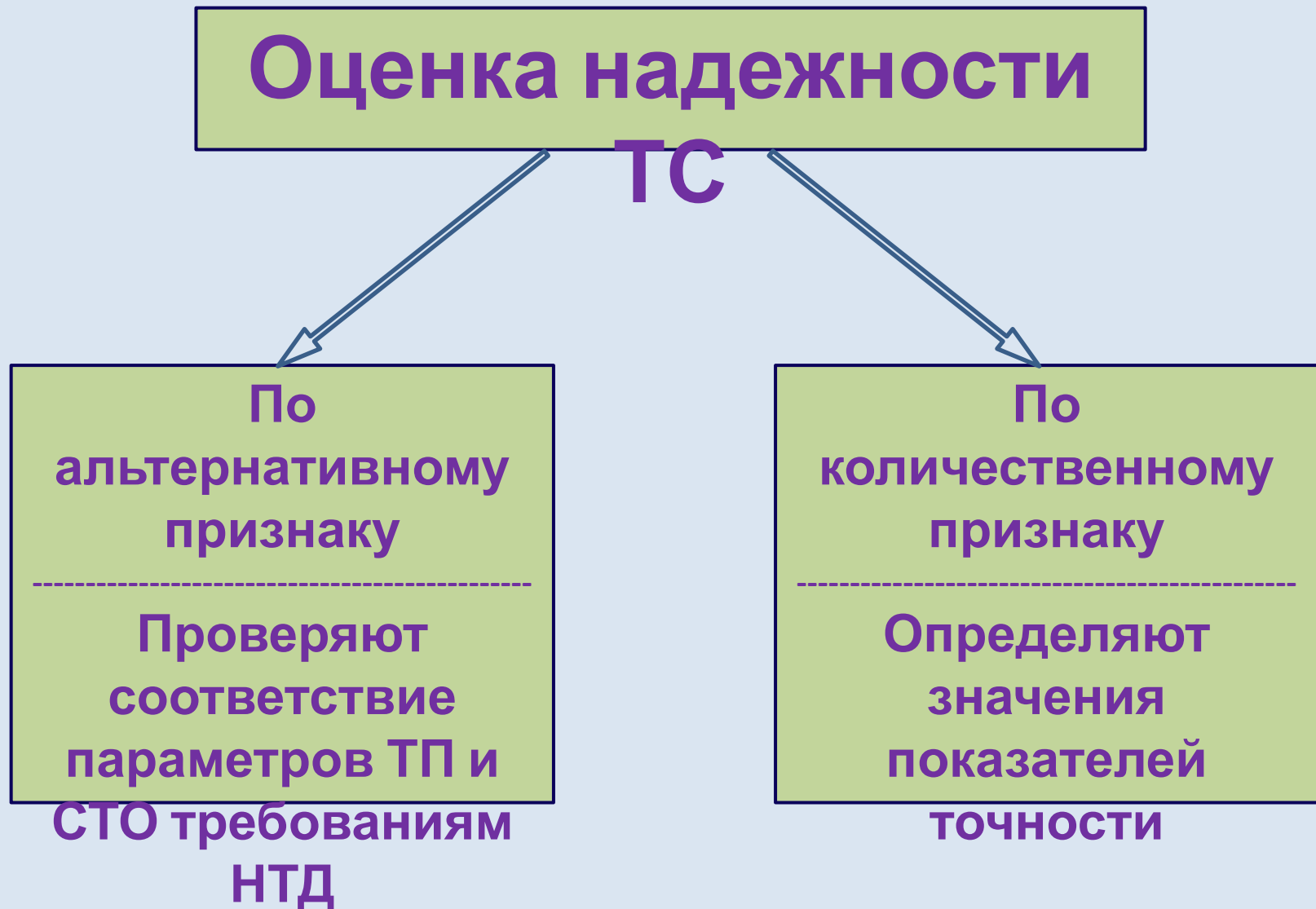
## *действующий ТП*

- нормирования показателей надежности разрабатываемых ТС;
- корректировки периодичности замены режущего инструмента;
- оптимизации ТП, установлении факторов, приводящих к отказам;

## *проектируемый ТП*

- выбора оптимального варианта ТП;
- выбора средств технологического оснащения;
- определения периодичности замены режущего инструмента

# Оценка надежности ТС по параметрам точности



# Показатели точности ТС (ТП)

*Основными показателями точности ТС (ТП) являются:*

- ▶ **Коэффициент точности  $K_T$**  → характеризует потенциальные возможности ТП (относительную величину случайной погрешности) в случае настройки ТС на середину поля допуска;
- ▶ **Коэффициент смещения  $K_C$**  → характеризует правильность настройки ТС (относительную величину систематической погрешности). Используется для оценки стабильности ТП.

# Показатели точности ТС (ТП)

*Коэффициент точности по контролируемому параметру*

$$K_T = \frac{T}{\omega},$$

где  $T$  – допуск на контролируемый параметр;

$\omega$  – погрешность (поле рассеяния).

$$\omega = l(\gamma) \cdot S_x$$

где  $l(\gamma)$  – коэффициент, зависящий от закона распределения случайной величины и доверительной вероятности; для закона Гаусса и  $\gamma = 0,9973$   $l(\gamma) = 6$ ;

$S_x$  – СКО контролируемого параметра.

ТС (ТП) надежна (надежен), если  $K_T \geq 1,2$

# Показатели точности ТС (ТП)

*Коэффициент смещения контролируемого параметра, характеризующий стабильность ТП*

$$K_c = \frac{\bar{\Delta}(t)}{T},$$

где  $\bar{\Delta}(t)$  - отклонение среднего значения контролируемого параметра относительно середины поля допуска в момент времени  $t$

$$\bar{\Delta}(t) = |\bar{x}(t) - x_0|,$$

где  $\bar{x}(t)$  - среднее значение контролируемого параметра в момент времени  $t$ ;  $x_0$  - значение параметра, соответствующее середине поля допуска.

- При  $K_c \leq 0,05$  настроенность ТП *удовлетворительна*.
- При  $K_c > 0,12$  настроенность ТП *неудовлетворительна*.

# Показатели точности ТС (ТП)

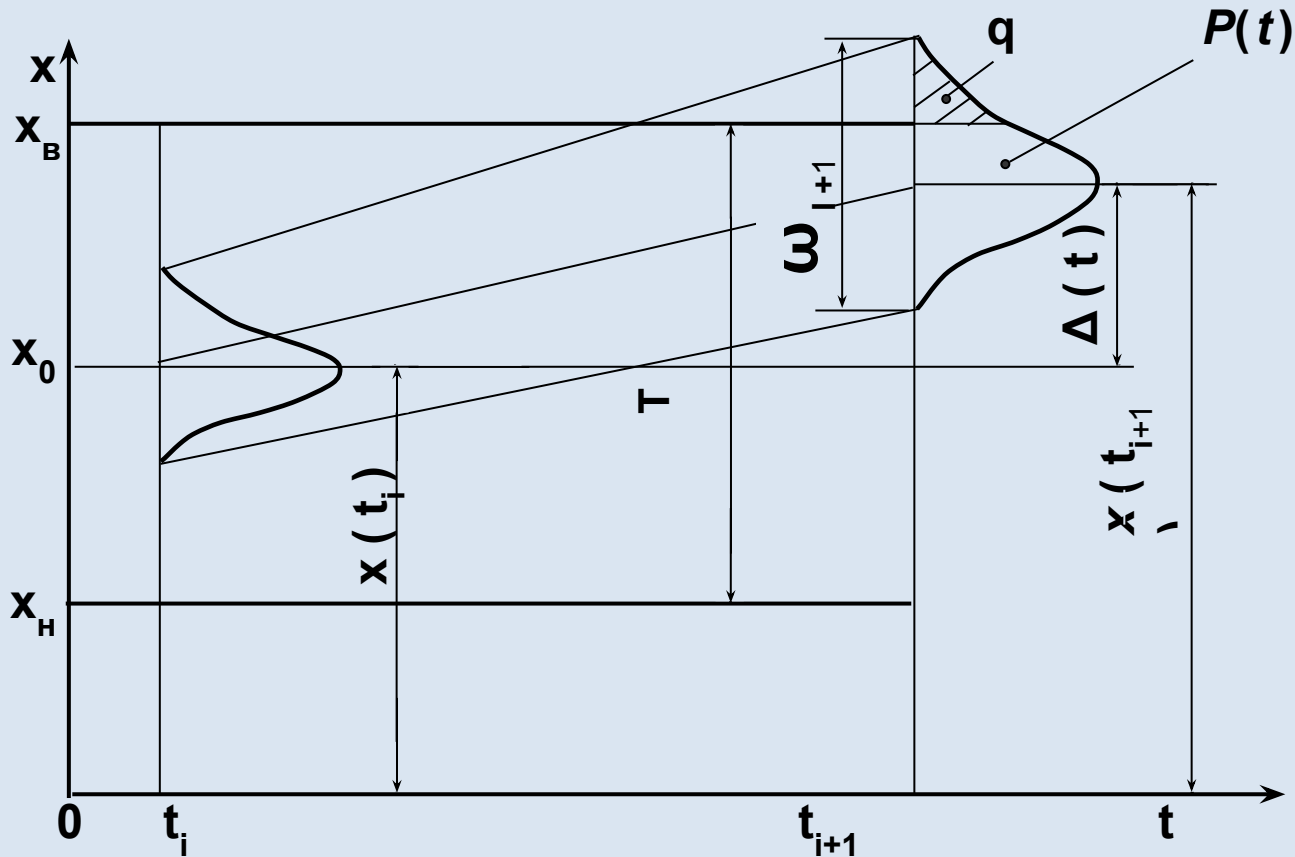
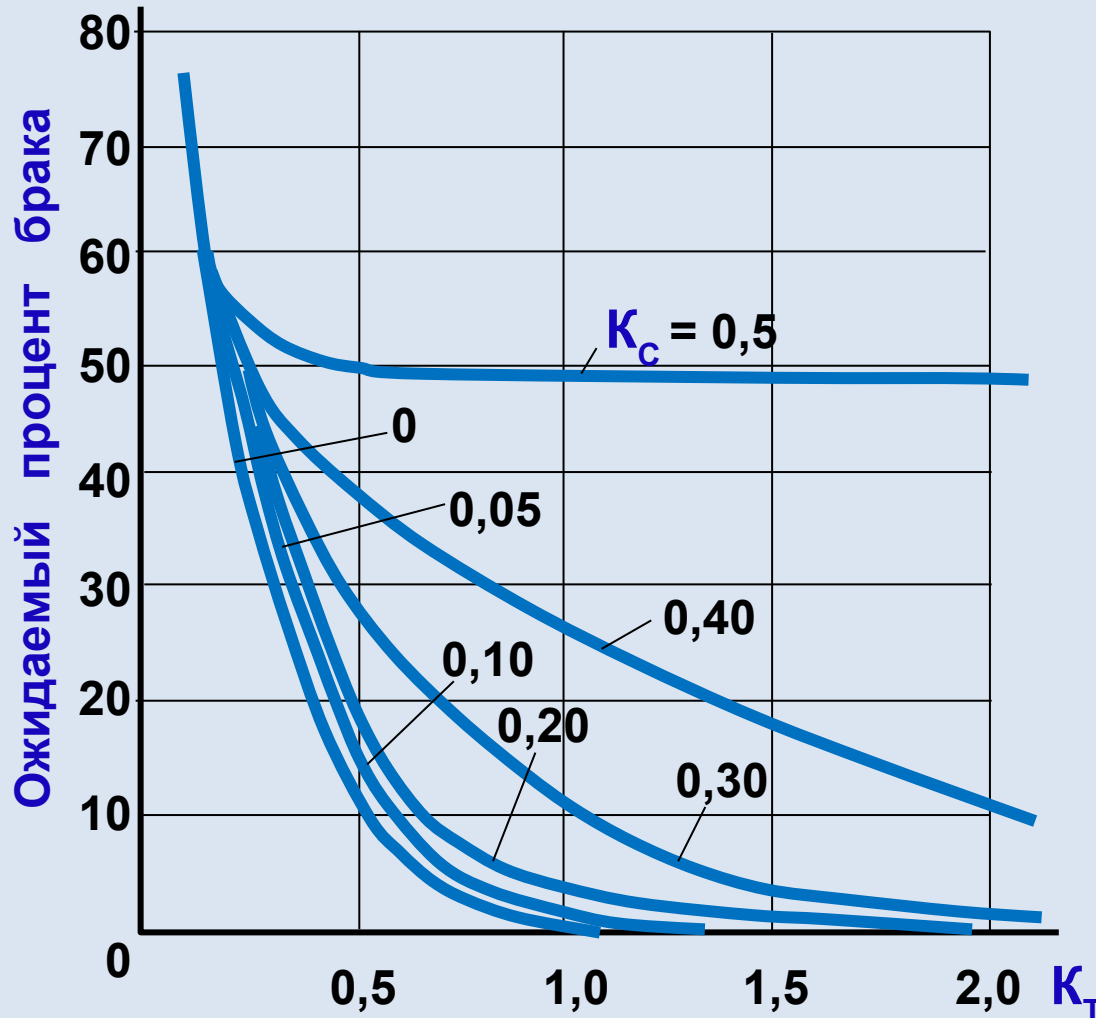


Схема расположения поля рассеяния  $\omega$  и поля допуска  $T$  для контролируемого параметра

# Показатели точности ТС (ТП)

## Прогнозирование надежности технологических операций



Условиями надежности ТС (ТП) (обработка заготовок без брака) являются

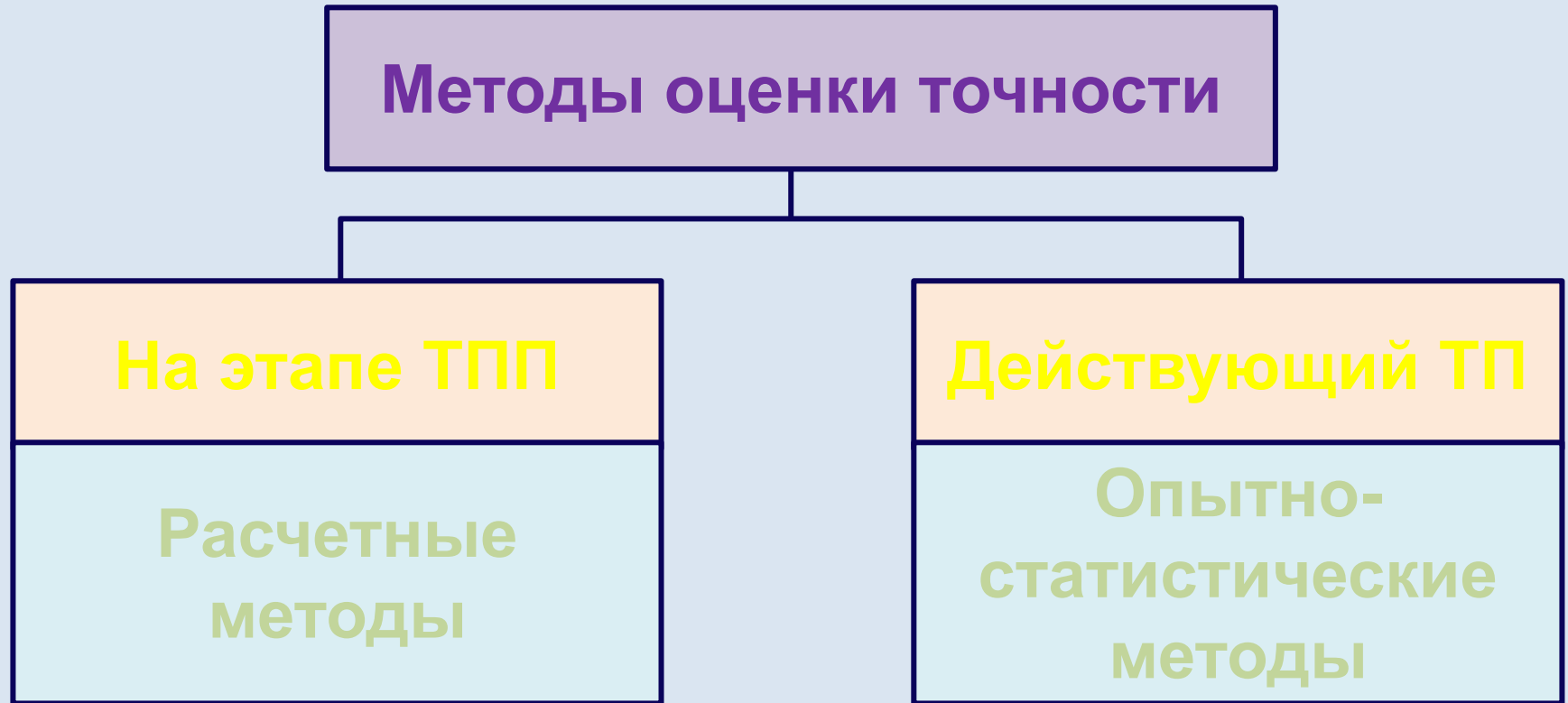
$$K_T \geq 1,2;$$

$$K_C < 0,5 \cdot \left( 1 - \frac{1}{K_T} \right).$$

$K_T$  – коэффициент точности;  
 $K_C$  – коэффициент смещения



# Методы оценки точности ТС (ТП)



## По количественному признаку:

- ◆ Метод случайных функций;
- ◆ Метод элементарных погрешностей.

## По альтернативному признаку:

- ◆ Метод квалитетов.

## По количественному признаку:

- ◆ Метод мгновенных выборок;
- ◆ Метод гистограмм.

## По альтернативному признаку:

- ◆ Метод точечных диаграмм;
- ◆ Метод приведенных отклонений.

# Оценка точности ТС (ТП)

## Метод элементарных погрешностей

Суммарную погрешность  $\omega$  контролируемого параметра определяют по формуле

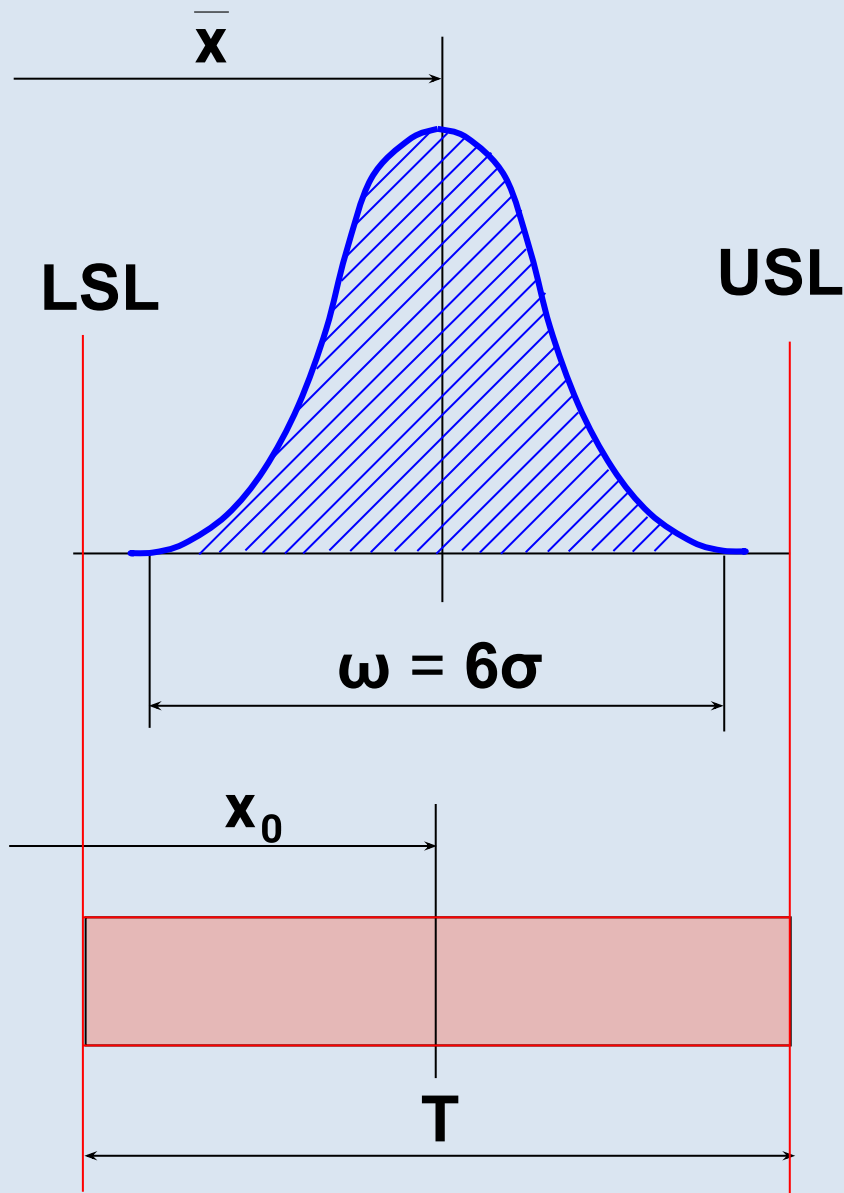
$$\omega = K \cdot \sqrt{\lambda_1 \cdot \omega_1^2 + \lambda_2 \cdot \omega_2^2 + \dots + \lambda_n \cdot \omega_n^2},$$

где  $K$  – коэффициент риска;  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  – коэффициенты, учитывающие законы распределения элементарных погрешностей;  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  – предельные значения элементарных погрешностей (*например, погрешность металлорежущего станка, погрешность закрепления, погрешность базирования, погрешность изготовления приспособления, погрешность настройки и др.*).

$$\text{Условие надежности } K_T = \frac{T}{\omega} \geq 1,2.$$

# Методы оценки точности ТС (ТП)

## Метод гистограмм



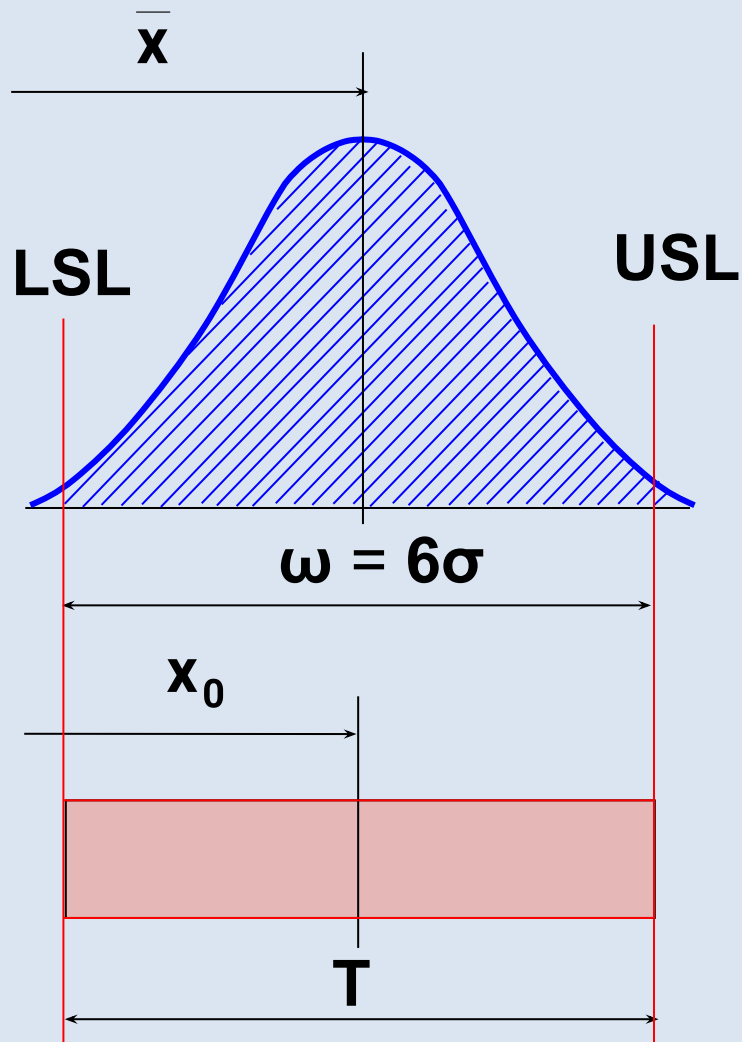
$$K_T > 1,2; \quad K_C = 0; \quad q = 0,06 \%$$

ТП надежен, протекает стабильно.

Требуется поддержание существующего состояния

# Методы оценки точности ТС (ТП)

## Метод гистограмм



$$1,2 > K_T \geq 1,0; \quad K_C = 0;$$

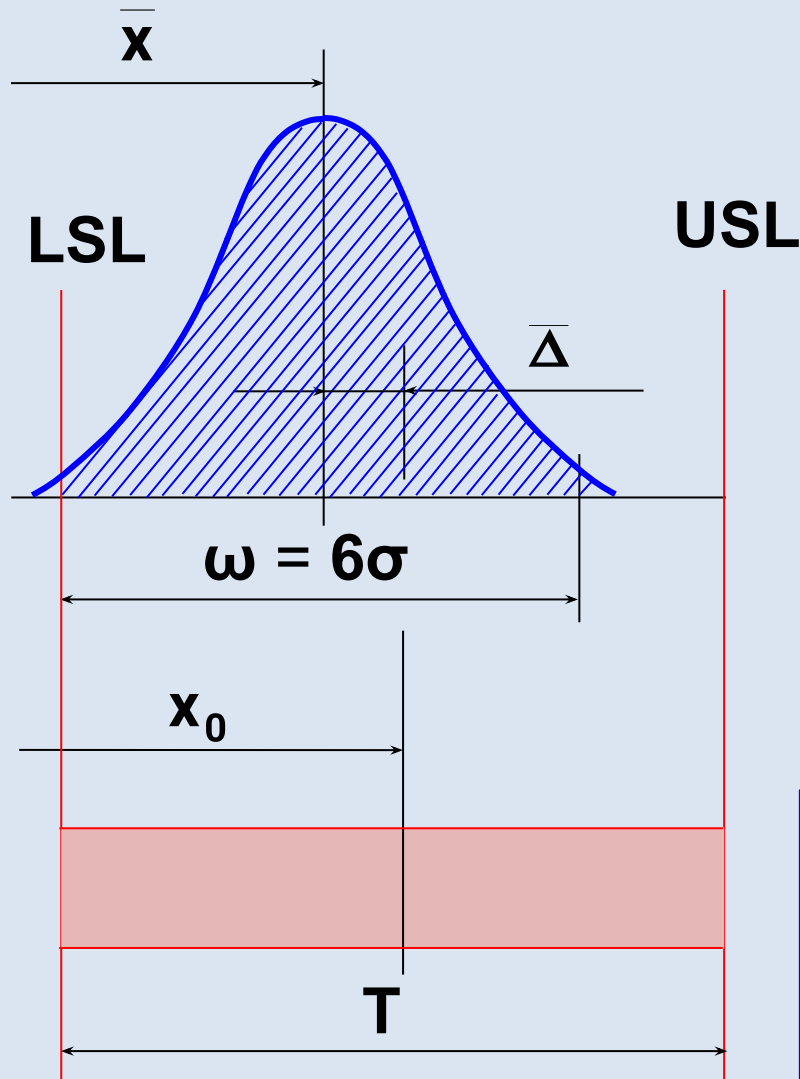
$$\text{при } K_T = 1,0 \quad q = 0,27\%$$

ТП протекает нормально,  
но нет запаса надежности.

Можно провести мероприятия  
по уменьшению  $\omega$ , если за-  
траты на них будут меньше,  
чем потери от брака

# Методы оценки точности ТС (ТП)

## Метод гистограмм



$$K_T \geq 1,2; \quad |K_C| \leq 0,05$$

ТП протекает нормально при условии правильной настройки ТС.

В противном случае ТП нестабилен.

При критическом смещении поля рассеяния необходимо добиться его смещения

$$\bar{\Delta} \rightarrow \min$$

# Методы оценки точности ТС (ТП)

## Метод гистограмм

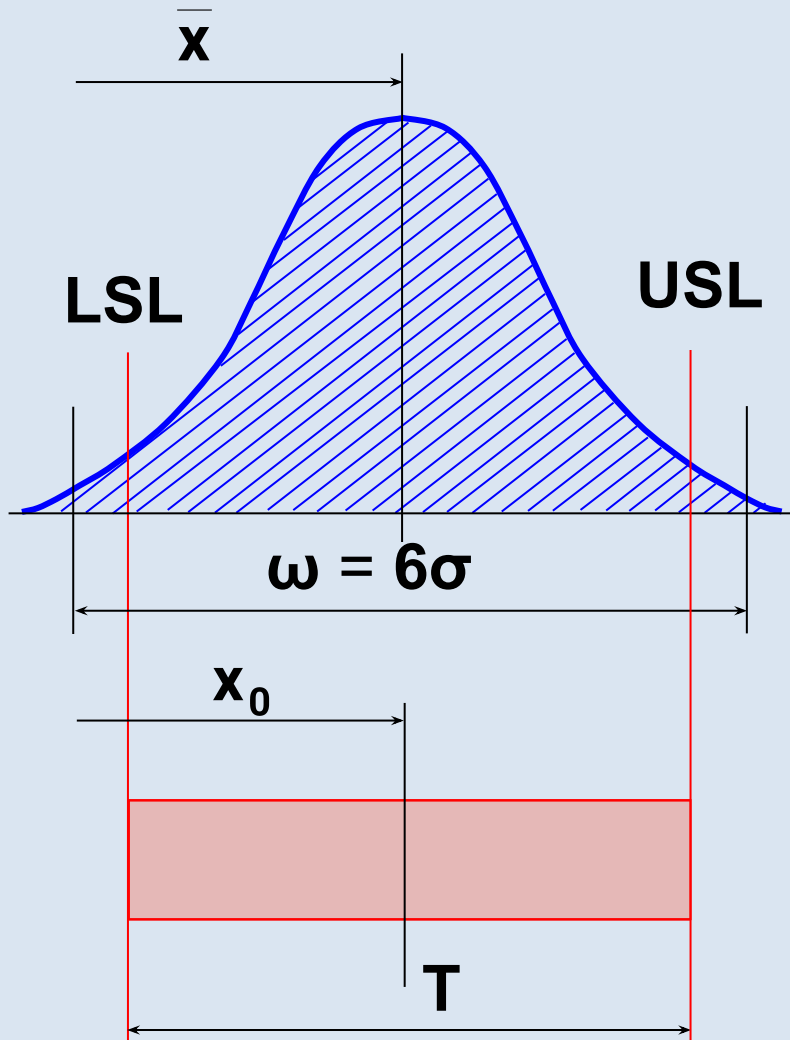
$$K_T < 1,0; \quad |K_C| \leq 0,05$$

$$\text{При } K_T = 0,95 \approx 1,0$$

$$\text{и } K_C = 0 \quad q \approx 0,6\%$$

Надежность ТП неудовлетворительная.

Большая вероятность брака.



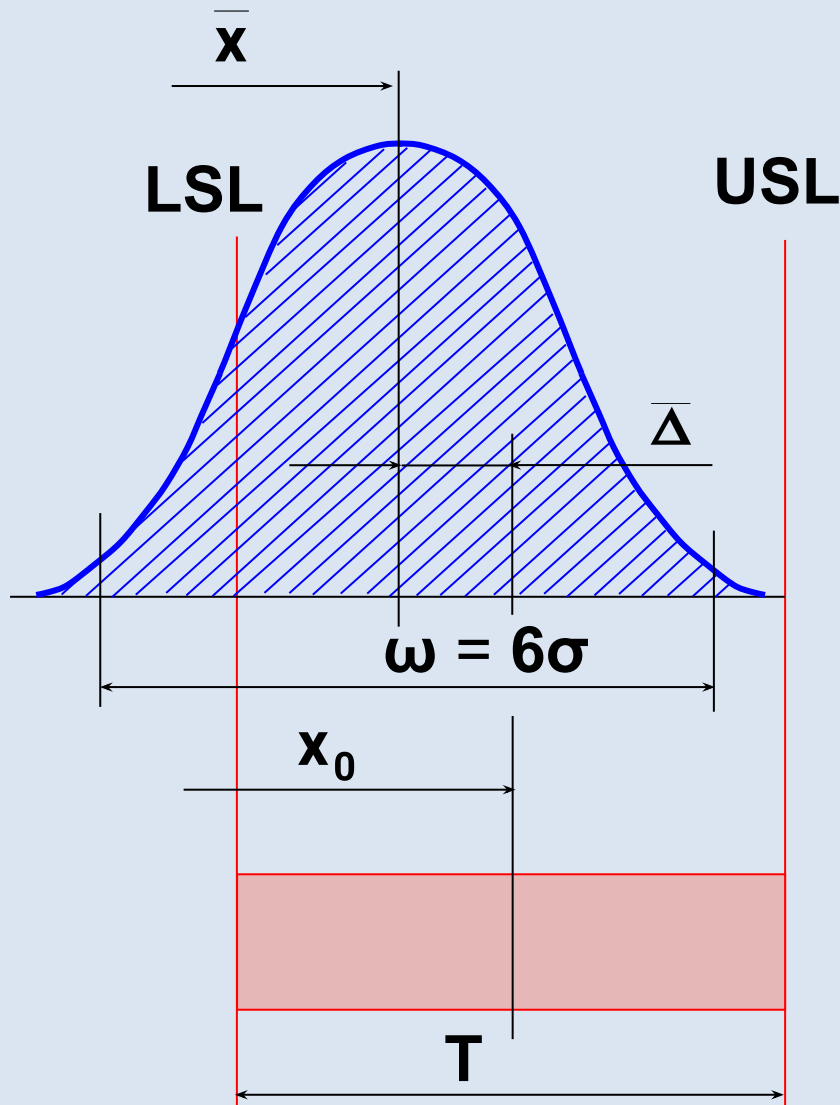
Необходимы мероприятия по повышению точности ТП (уменьшению поля рассеяния)

$$\omega < T$$

# Методы оценки точности ТС (ТП)

## Метод гистограмм

$$K_T \ll 1,0; \quad |K_C| > 0,12$$



1. Необходимо добиться совмещения середины поля рассеяния  $\bar{x}$  с серединой поля допуска  $x_0$

$$\Delta \rightarrow \min$$

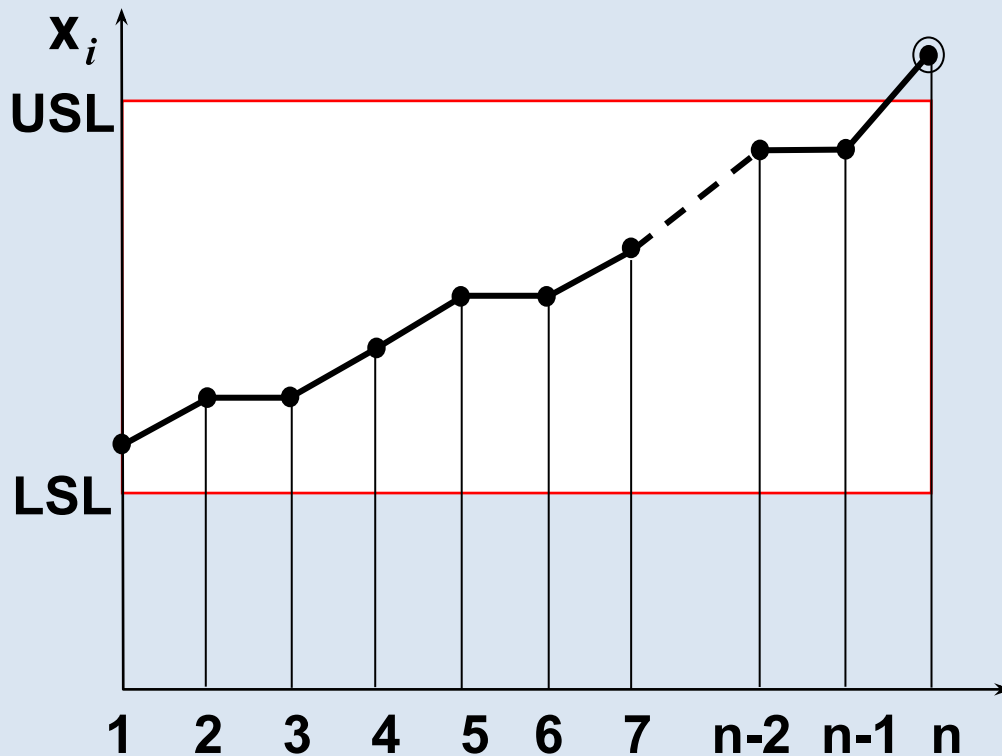
2. Уменьшить поле рассеяния

$$\omega < T$$

# Оценка точности ТС (ТП)

## Метод точечных диаграмм

Используется для контроля точности ТС технологической операции по альтернативному признаку



Выборка деталей зависит от целей контроля точности:

1. Контроль точности одной конкретной реализации ТП
  - одна партия деталей;
  - одна единица ТС;
  - одна настройка ТС.
2. Контроль точности ТС технологической операции
  - несколько партий деталей;
  - одна единица ТС;
  - различные настройки ТС.



# Оценка точности ТС (ТП)

## Метод квалитетов

Оценка точности ТС (ТП) методом квалитетов производится на этапе ТПП.

Точность ТС технологической операции считается удовлетворительной при выполнении следующих условий:

- требуемые значения параметров точности изготавливаемой продукции принадлежат области их возможных значений, установленных в базовой документации (например, соответствуют допустимым отклонениям аналогичных параметров образца изделия при проверке точности средств технологического оснащения в работе);
- условия функционирования ТС (температура, влажность, уровень вибраций и т.п.) и параметр используемых предметов производства (твердость материала, шероховатость поверхности и т.п.) соответствуют установленным в базовой документации.

**Условие надежности  $\omega < T$**

# Оценка точности ТС (ТП)

## Метод приведенных отклонений

Расчет приведенных отклонений выполняют по выборкам, в которые включают детали с общими конструктивными и технологическими признаками, но возможно отличие номинальных размеров.

Приведенные отклонения  $\Delta_{пр i}$  вычисляют:

– относительно нижнего  $\Delta_{ни i}$  верхнего  $\Delta_{в i}$  предельных отклонений

$$\Delta_{пр i} = \frac{\Delta_{ди} - \Delta_{ни i}}{T_i}; \quad \Delta_{пр i} = \frac{\Delta_{в i} - \Delta_{ди}}{T_i};$$

– относительно координаты середины поля допуска  $\Delta_{0 i}$

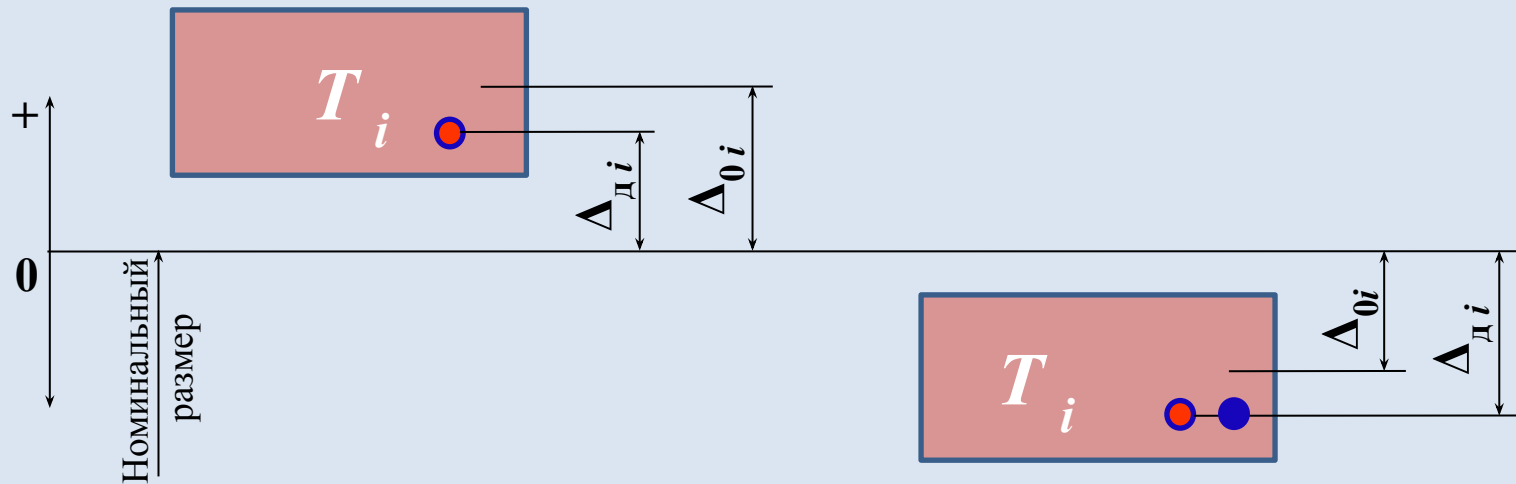
$$\Delta_{пр i} = \frac{2(\Delta_{ди} - \Delta_{0 i})}{T_i};$$

– для отклонений формы или расположения  $\Delta_{пр i} = \frac{\Delta_{ди}}{TF_i (TP_i)}$ ,

где  $\Delta_{ди}$  – действительное отклонение размера, формы или расположения  $i$ -ой детали.

# Оценка точности ТС (ТП)

## Метод приведенных отклонений



**Точность ТС технологической операции считают удовлетворительной при условии:**

– при расчете относительно верхнего и нижнего предельных отклонений формы и расположения

$$0 \leq \Delta_{прi} \leq 1;$$

– при расчете относительно середины поля допуска

$$-1 \leq \Delta_{прi} \leq 1.$$

Метод используется в условиях единичного и мелкосерийного производства

# Оценка точности ТС (ТП) по параметрам качества

## Расчетный метод для технологической операции

При оценке надежности ТС для технологической операции используют вероятность выполнения задания по одному ( $k$ -му) или нескольким параметрам качества изготавливаемой продукции в момент времени  $t$

$$P_k(t) = P\{x_{нk} \leq x_k(t) \leq x_{вk}\},$$

где  $x_k(t)$ ,  $x_{вk}$ ,  $x_{нk}$  – соответственно фактическое, верхнее и нижнее значение  $k$ -го контролируемого параметра.

*Оценка надежности ТС по выполнению задания должна производиться для ТП (операций), оказывающих решающее влияние на качество готовой продукции, а также по которым получены неудовлетворительные результаты оценки точности ТС.*

Если контролируемый параметр распределен по нормальному закону вероятность выполнения задания в фиксированный момент времени

$$P_k(t) = \Phi_0 \left( \frac{x_{вk} - \bar{x}}{\sigma_k} \right) - \left( \frac{x_{нk} - \bar{x}}{\sigma_k} \right).$$

# Оценка точности ТС (ТП) по параметрам качества

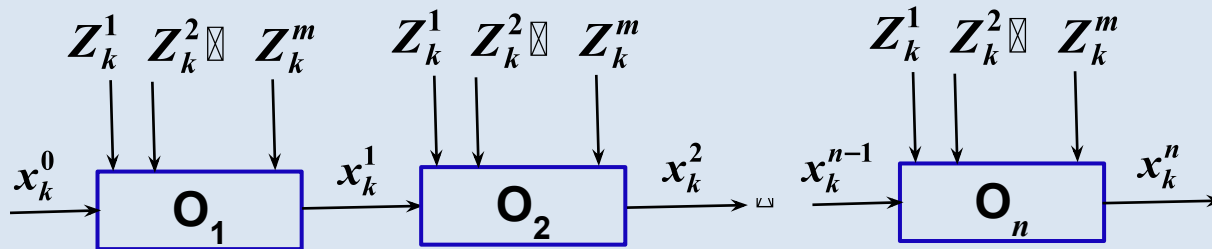
## Расчетный метод для технологического процесса

Если погрешности обработки на последовательно выполняемых операциях ТП независимы, показатели выполнения заданий по  $k$ -му параметру качества изготавливаемой продукции определяют по формуле

$$P_k(t) = \prod_{i=1}^n P_k^i(t),$$

где  $P_k^i$  – соответствующий показатель выполнения задания по  $k$ -му параметру качества изготавливаемой продукции для  $i$ -ой операции ТП.

### Структурная схема ТП



$x_k^0, x_k^1, \dots, x_k^n$  – значения  $k$ -го контролируемого параметра для исходной заготовки, первой  $O_1$  операции, ..., последней  $O_n$  операций;  $Z_k^0, Z_k^1, \dots, Z_k^n$  влияющие величины для  $k$ -го контролируемого параметра

# Оценка точности ТС (ТП) по параметрам качества

## Расчетный метод для технологического процесса

Расчет надежности новых ТП следует производить с учетом технологической наследственности при формировании качества обрабатываемых деталей.

Технологической наследственностью называется явление переноса свойств объектов от предшествующих операций к последующим, обусловленное наличием технологических связей между ними.

С учетом технологической наследственности, если параметры качества не зависят друг от друга, вероятность выполнения задания на двух операциях по одному  $k$ -му параметру качества изготавливаемой продукции можно определить по формуле

$$P_k(t) = P_k^{(2)}(t) \cdot [1 - K_{\text{пд}}^{(1,2)} \cdot (1 - P_k^{(1)}(t))],$$

где  $P_k^{(1)}$  и  $P_k^{(2)}$  – вероятность выполнения задания по  $k$ -му контролируемому параметру соответственно для первой и второй операций;  $K_{\text{пд}}^{(1,2)}$  – коэффициент передачи дефекта с первой операции на вторую по  $k$ -му контролируемому параметру.