

4. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

4.1. ТОЧНОСТЬ И ЕЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ

Под **точностью** в технологии машиностроения понимается **степень соответствия** производимых изделий их заранее **установленным параметрам**. Она в большой мере определяется **точностью изготовления отдельных деталей и сборочных единиц**.

Точность в машиностроении – понятие комплексное. Оно характеризует **не только геометрические параметры машин и их элементы, но и единообразие различных свойств изготавливаемых изделий (упругих, динамических, магнитных, электрических и др.)**.

Понятие точности детали включает в себя следующие параметры: точность, размеров, точность формы поверхностей, точность относительного расположения поверхностей, шероховатость поверхностей, волнистость, физико – механические свойства поверхностного слоя.

Количественные показатели точности и допускаемые отклонения регламентируются Единой системой допусков и посадок и ее стандартами. Задачи обеспечения необходимой точности изделия решаются на этапах их конструирования, разработки и внедрения технологии изготовления.

Любой технологический процесс реализуется в определенной технологической системе, включающей в себя средства технологического оснащения и заготовку.

С момента начала механической обработки заготовки технологическая система действует как многофакторная автоматическая система. Структурная модель многофакторной автоматической технологической системы механической обработки, представлена на рис. 3.

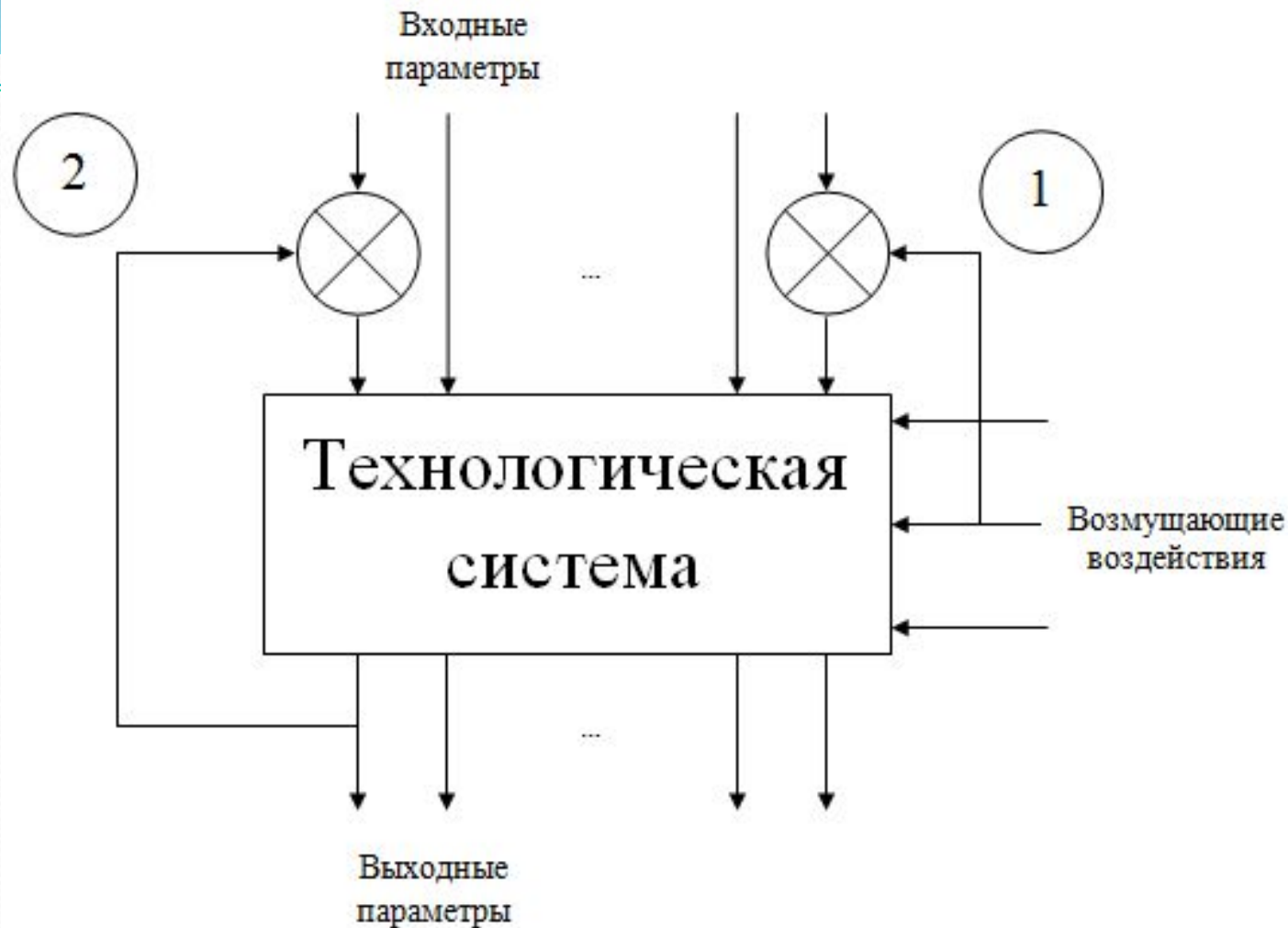


Рис. 3. Структурная модель многофакторной автоматической технологической системы механической обработки

Входными параметрами этой системы являются:

- **характеристики металлорежущего станка** – тип, модель, мощность, диапазоны частот вращения и подач, точность, жесткость, виброустойчивость;
- **характеристики технологической оснастки** – приспособлений, устройств механизации и автоматизации, промышленных роботов;
- **характеристики заготовки** – материал, его химический состав, механические свойства, погрешность размеров, формы, взаимного расположения, качество поверхностного слоя;
- **технологическая схема обработки** поверхности;
- **эксплуатационные свойства режущего инструмента** – прочность, стойкость, размерный износ;
- **режимы резания** – V , S , t ;
- **начальный размер наладки.**

К **возмущающим воздействиям**, нарушающим начальные условия обработки, относятся:

- **упругие деформации** элементов технологической системы;
- **размерный износ** режущего инструмента;
- **тепловые деформации** элементов технологической системы;
- **погрешность установки** заготовок;
- **погрешность корректирования первичного** наладочного размера;
- **погрешность измерений**;
- **погрешности профильного и мерного режущего инструмента**;
- **погрешность от перераспределения внутренних остаточных напряжений**;
- **колебания элементов технологической системы.**

Выходными параметрами являются:

- качество механической обработки – точность размеров, формы, взаимного расположения и качество обработанной поверхности;
- производительность механической обработки;
- экономические критерии процесса обработки.

Из схемы видны возможные пути управления технологическими процессами:

- управление по выходным параметрам (обратная связь 2);
- управление по внешним возмущающим воздействиям (обратная связь 1).

На общую суммарную погрешность обработки может оказывать влияние совокупность любых из перечисленных выше параметров (входных, возмущающих и выходных).

К элементарным составляющим суммарной погрешности относятся:

- неточность технологической схемы обработки;
- геометрическая погрешность станков;
- погрешность приспособлений;
- погрешность мерного и профильного режущего инструмента;
- погрешности измерений;
- погрешность от упругих деформаций элементов технологической системы;
- тепловые деформации элементов технологической системы;
- размерный износ режущего инструмента;
- погрешность начальной размерной наладки;
- погрешность подналадки;
- погрешность установки заготовок;
- погрешность от перераспределения остаточных внутренних напряжений; шероховатость обработанной поверхности;

- погрешность, вызываемая колебаниями элементов технологической системы;

- погрешность определяемая конструктивными особенностями системы управления технологическим процессом.

На рис. 4 показана структурная модель многофакторного технологического процесса механической обработки в случае использования нескольких технологических систем. Из рисунка видно, что часть выходных параметров предшествующей системы являются входными параметрами последующей системы, что наглядно демонстрирует явление технологической наследственности.

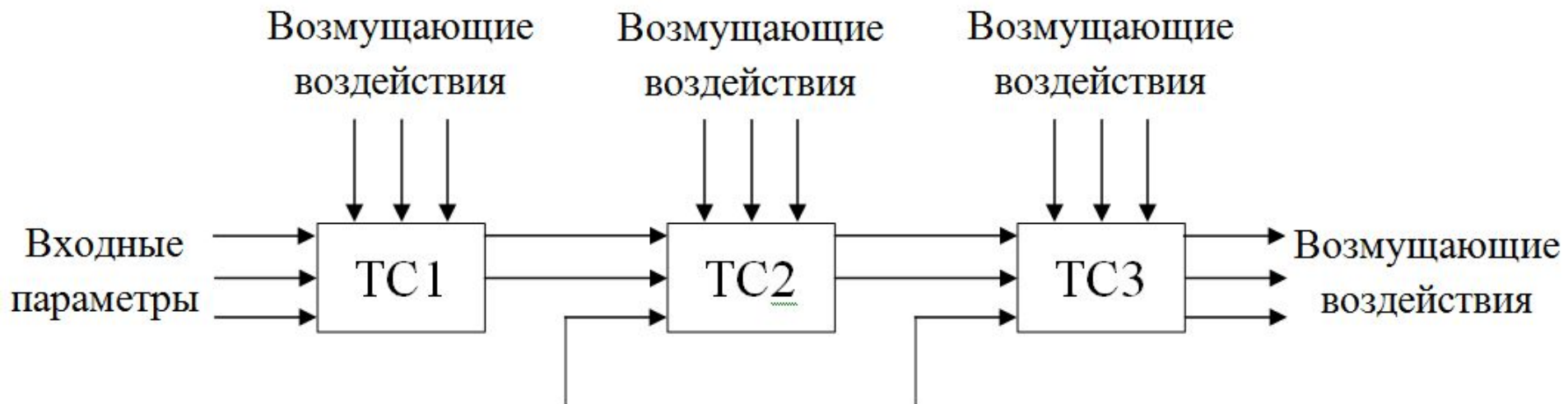


Рис. 4. Структурная модель многофакторного технологического процесс

наследственностью понимается перенесение на готовое изделие в процессе его изготовления погрешностей, механических и физико – химических свойств исходной заготовки или свойств и погрешностей, сформировавшихся у заготовки на отдельных операциях изготовления изделия.

Проявление технологической наследственности может привести как к улучшению, так и ухудшению эксплуатационных свойств деталей.

Технологический процесс изготовления деталей должен разрабатываться с учетом технологической наследственности так, чтобы сохранить у детали положительные качества (наклеп поверхностного слоя, высокую поверхностную твердость, остаточные напряжения сжатия и др.) или, наоборот, **устранить отрицательные качества** – дефектный слой, отклонения формы и расположение поверхностей, и др.

Для целесообразного использования явления технологической наследственности необходимо установить непосредственные связи между эксплуатационными характеристиками деталей и режимами обработки заготовок.

Технологическая наследственность проявляется на всех этапах реализации технологических процессов.

В технологии машиностроения принято различать следующие виды элементарных погрешностей обработки по воздействию на технологическую систему:

- систематические постоянные погрешности, вызываемые, например, неточностью мерного инструмента;
- систематические погрешности, закономерно изменяющиеся по течению технологического процесса, вызываемые, например, размерным износом режущего инструмента;

- **случайные погрешности**, которые, появившись при обработке одной заготовки, необязательно появляются при обработке других заготовок, а их значения для различных заготовок изменяются в определенных пределах от Δ_{\min} до Δ_{\max} . **Предсказать момент появления и величину этих погрешностей возможно только с определенной вероятностью.**

Систематические погрешности обработки изучаются с помощью теоретических или экспериментальных исследований закономерностей, которым они подчиняются.

Случайные погрешности изучаются с применением теории вероятностей и математической статистики.

Для исследований точности механической обработки используются следующие основные методы: расчетно-аналитический; вероятностно-статистический и расчетно-статистический.

Расчетно-аналитическая модель предполагает полную детерминированность процесса, для которого точно известны как начальная точность, так и влияние сопутствующих факторов. Путем решения систем уравнений, описывающих закономерности переноса погрешностей технологического процесса, однозначно определяется искомая точность. Факт детерминированности означает, что при одном и том же комплексе исходных условий при каждом последующем расчете получается один и тот же результат. Однако реальные процессы не всегда правильно отображаются детерминированными моделями и правомерность их применения в таких случаях, зависит от детальности изучения исследуемого процесса. Математическое описание процессов в этом случае заключается в последовательном определении начальных (исходных) погрешностей заготовки; далее устанавливается в аналитическом виде их влияние на окончательную точность готовой детали и, наконец, решается полученная система уравнений.

Вероятностно-статистическая модель применяется при изготовлении достаточно больших партий деталей. Она позволяет без раскрытия физической сути явлений решать ряд задач по оценке и исследованию точности обработки, сборки, контроля и анализу точности оборудования. При этом определяются как первичные, так и суммарные погрешности.

Расчетно-статистические модели сочетают положительные стороны обоих, вышерассмотренных методов. Они пригодны для различных условий производства и являются весьма гибкими, так как позволяют рассчитывать первичные и суммарные погрешности, оценивая их отдельные составляющие статистически или расчетным путем. При недостатке данных модель носит в большей мере вероятностно-статистический характер. В то же время, применяя детерминированный подход, можно определить поле рассеивания случайных погрешностей и отдельные погрешности расчетно-аналитическим методом.

4.2. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

К статистическим методам относятся исследования с использованием кривых распределения погрешностей и графоаналитический метод (точечных диаграмм).

4.2.1. МЕТОД КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

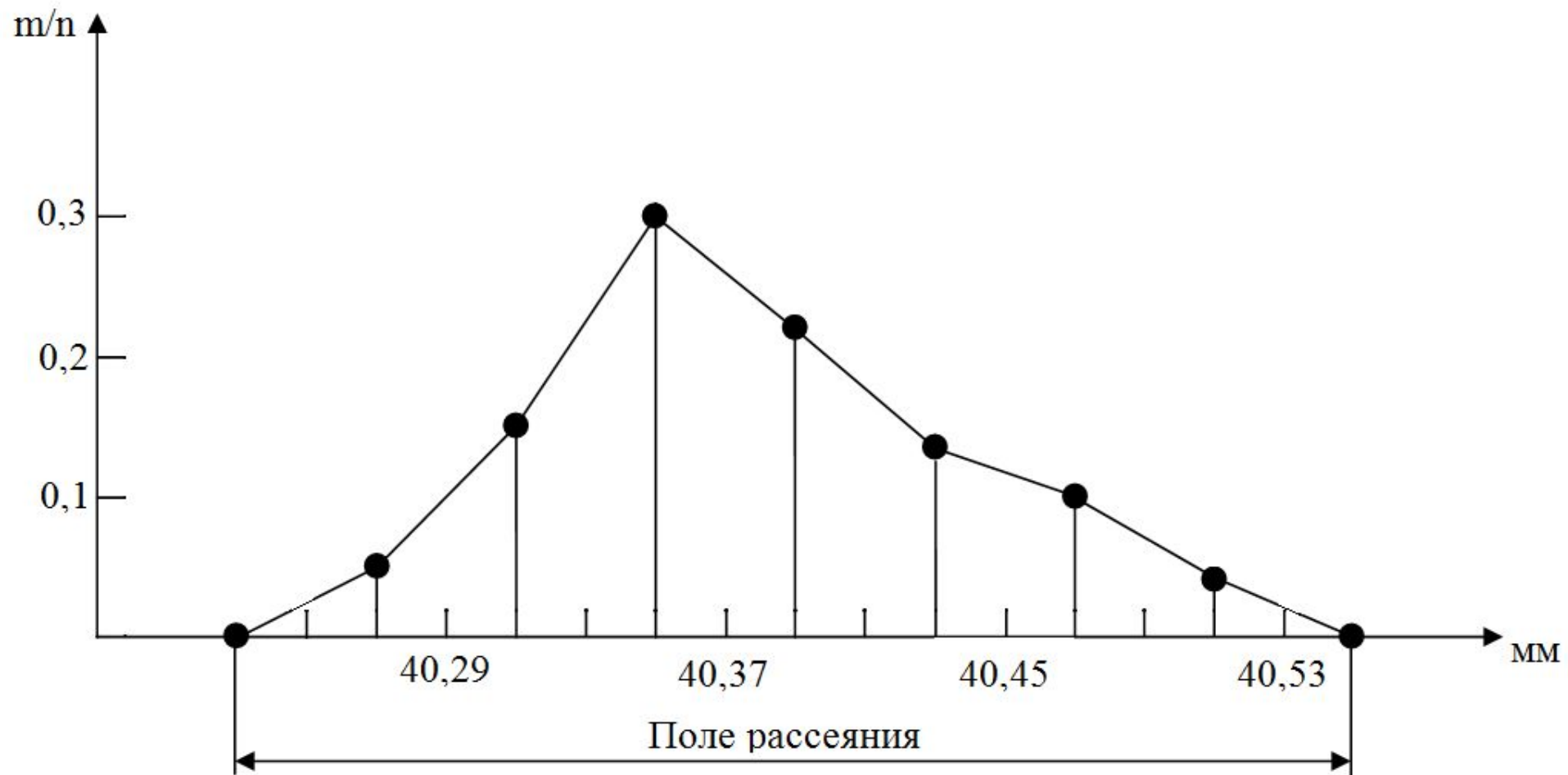
Центральная теорема теории вероятностей Ляпунова дает теоретическое обоснование тому факту, что при устойчивом процессе обработки деталей на настроенных станках и при отсутствии изменяющихся во времени систематических погрешностей действительные размеры деталей часто подчиняются закону нормального распределения, так как результирующая погрешность обработки представляет собой сумму большого числа, погрешностей, зависящих от станка, приспособления, инструмента и заготовки.

Этот метод оценки точности применяется в условиях производства большого количества деталей. Для его применения необходимо произвести выборку деталей из обрабатываемых на исследуемой операции. Количество деталей в выборке влияет на точность оценки и определяется по специальной методике. По результатам измерения деталей выборки строится опытная кривая распределения, к которой по критерию согласия подбирается теоретический закон распределения.

Опытные кривые распределения строят следующим образом.

По оси абсцисс откладывают измеряемую величину, например диаметр деталей, через определенные интервалы, а на оси ординат их количество, попадающее в эти интервалы, или частоты.

Частота — это отношение числа деталей одного размера к общему числу деталей выборки. Соединяя точки пересечения, получают ломаную линию, которая называется опытной кривой распределения или полигоном распределения деталей по размерам.¹⁶



Опытная кривая или полигон распределения размеров

Определяют поле рассеяния размеров деталей как приближенную меру их точности. Поле рассеяния размеров определяется на основе рассчитываемых параметров соответствующего теоретического закона распределения.

Плотность вероятности или дифференциальная функция распределения случайной величины непрерывного типа, подчиняющейся закону нормального распределения, имеет следующее выражение

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

Где x – переменная случайная величина

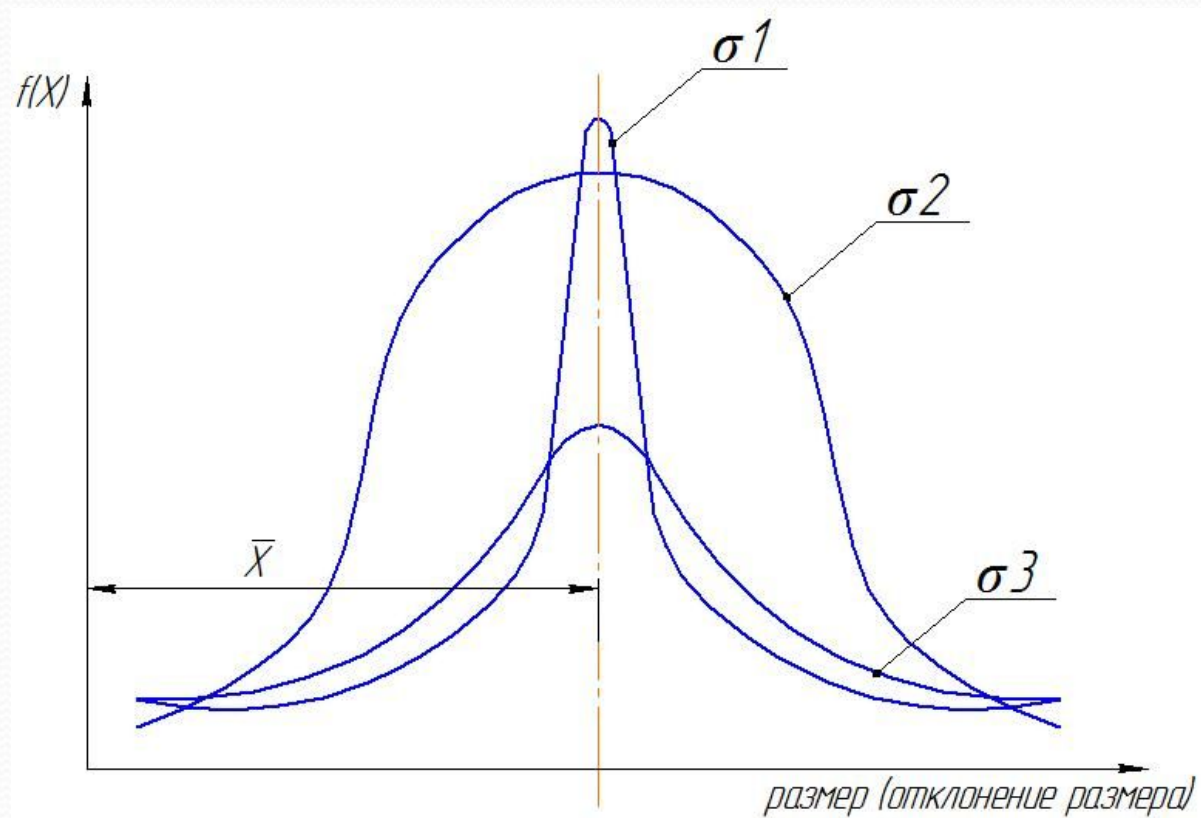
$\varphi(x)$ - плотность вероятности

σ – среднее квадратичное отклонение случайной величины x от \bar{x}

\bar{x} - среднее значение (математическое ожидание μ) величин x

e – основание натуральных логарифмов

Дифференциальная функция нормального распределения графически выражается в виде холмообразного типа.

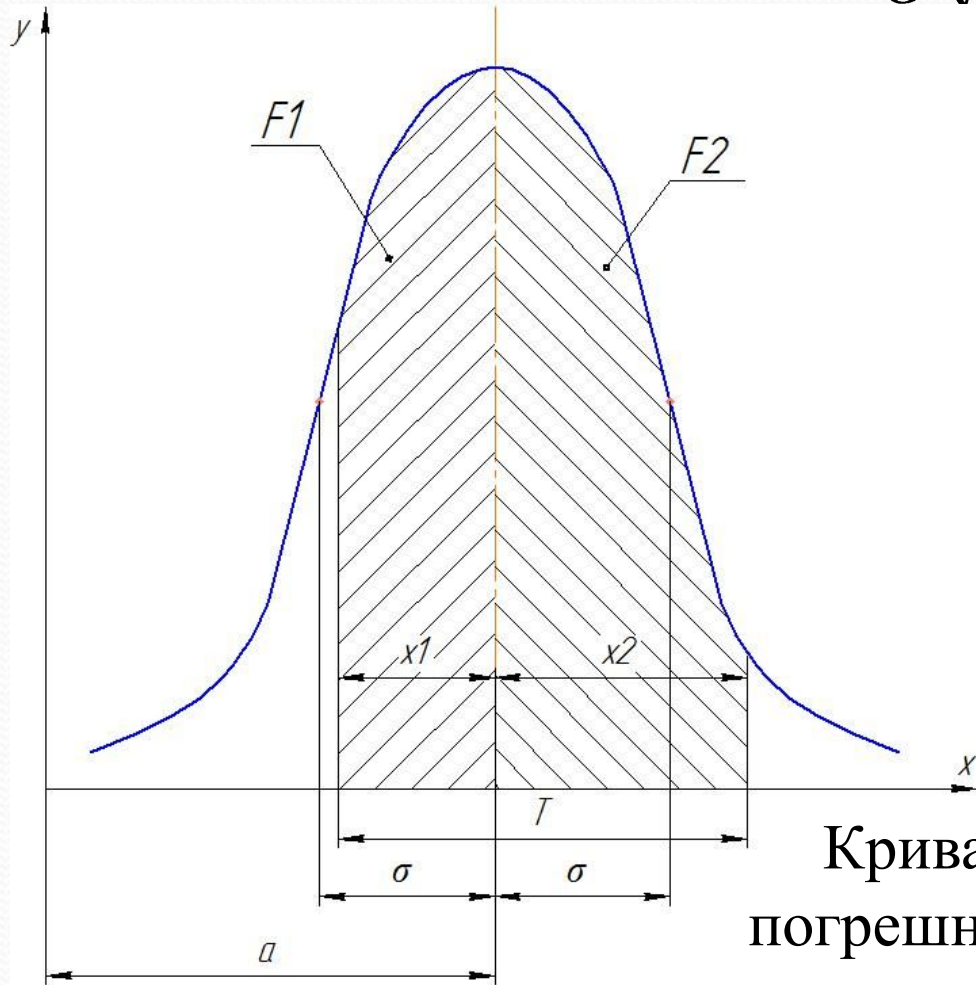


Влияние среднего – квадратичного отклонения на форму кривой

По виду кривой она симметрична относительно ординаты точки $x = \bar{x}$, т.е. равновозможны одинаковые положительные и отрицательные отклонения от \bar{x} . При этом отклонения более вероятны, чем большие, и весьма большие отклонения от центра группирования маловероятны. Положение кривой относительно начала координат и ее форма определяются двумя параметрами \bar{x} и σ . С изменением \bar{x} форма кривой не меняется, изменяется ее положение относительно начала координат. С изменением σ положение кривой не изменяется, но изменяется ее форма. С уменьшением σ кривая становится более вытянутой, а ветви ее сближаются; с увеличением σ наоборот, кривая становится более приплюснутой, а ветви ее раздвигаются шире.

Интегральный закон нормального распределения выражается в общем виде так:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \varphi(x) dx = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx$$

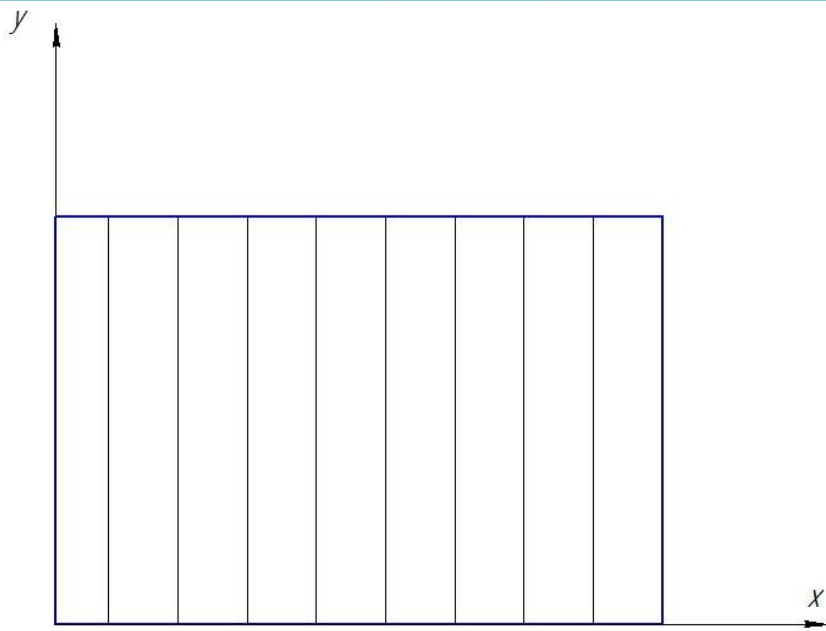


Кривая нормального распределения погрешностей (размеров)

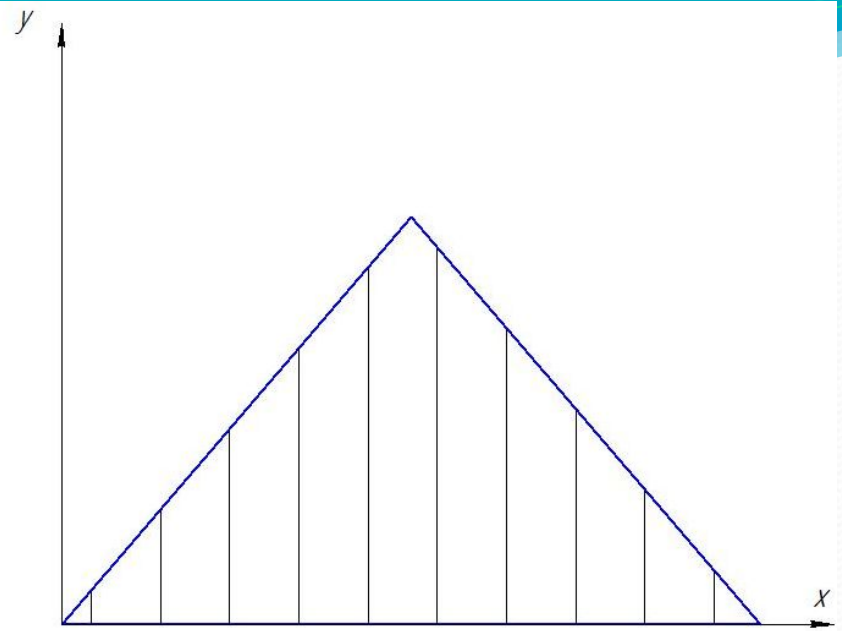
Интеграл $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ носит название нормированной функции

Лапласа. Эта функция нечетная, следовательно, $\Phi(-t) = -\Phi(t)$ и для отрицательных значений t данные берутся со знаком минус.

Кроме закона нормального распределения используются и другие законы. Так, если на размер обработки оказывает влияние установившийся износ инструмента деталей будут подчиняться закону равной вероятности. Если имеет место ярко выраженный начальный износ, зона установившегося износа мала, а за ней идет зона ускоренного возрастания износа, распределение размеров деталей может оказаться выраженным законом треугольника (Симпсона).



а



б

Законы распределения погрешностей (размеров):
а – равной вероятности; б – Симпсона (треугольника)

Распределение погрешностей взаимного положения, формы (отклонений от параллельности, перпендикулярности двух поверхностей, перпендикулярности оси детали к торцу, разностенности полых деталей) подчиняется закону эксцентриситета (Релея).

Метод кривых распределения универсален и нашел широкое применение в производстве. Однако по полученным кривым не всегда возможно определение причин, вызывающих изменение точности обработки. Метод не учитывает последовательности обработки, фиксирует результаты законченного этапа, т.е. «обращен в прошлое». Кривые распределения не дают необходимой информации для управления точностью процесса обработки заготовок.

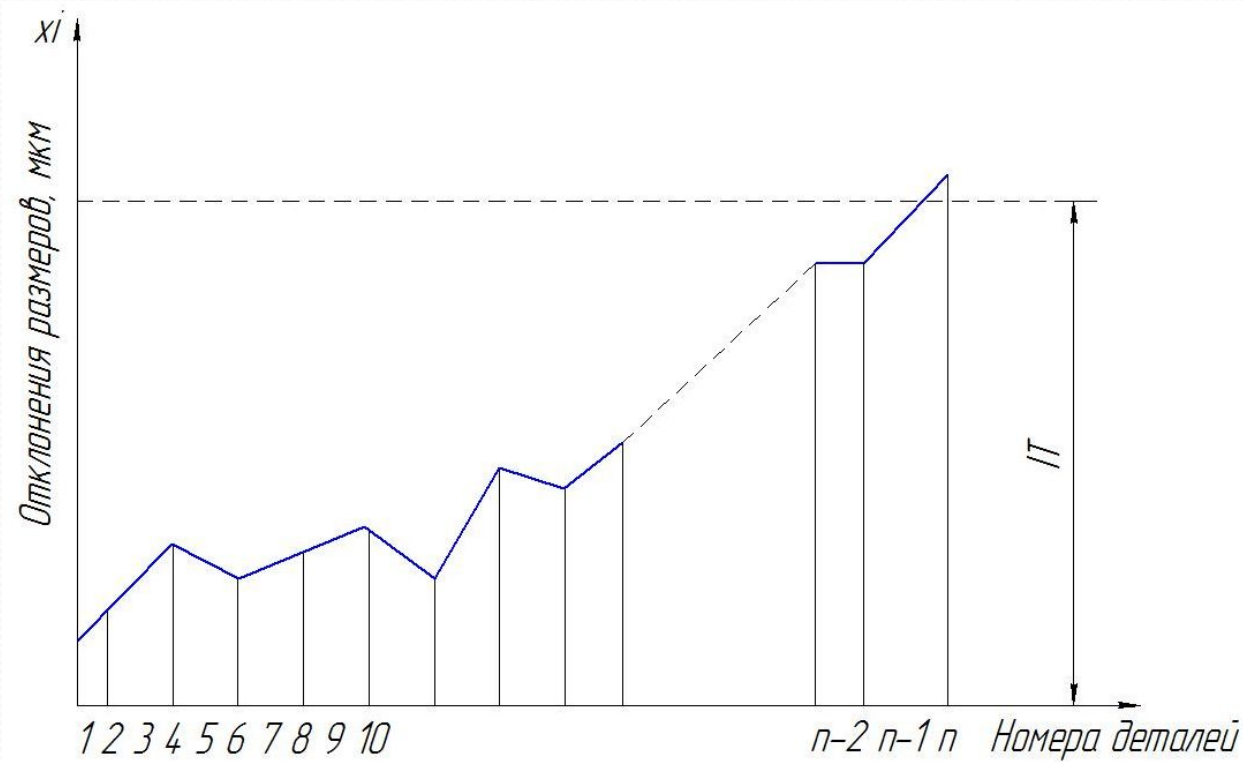
4.2.2. ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД (МЕТОД ТОЧЕЧНЫХ ДИАГРАММ)

Графоаналитический метод оценки точности технологических операций следует применять:

- для получения качественной характеристики точности технологических операций;
- как предварительный этап по установлению качественных значений показателей точности и стабильности и закономерностей их изменения в процессе обработки.

Оценка точности проводится путем построения графиков, на которых по оси абсцисс откладывают условные номера обрабатываемых заготовок в последовательности их обработки (или время окончания их обработки по оси ординат – значения погрешностей контролируемого параметра или его измеренные значения. Графики должны строиться по данным протоколов измерений.

В зависимости от цели исследования и вида технологического процесса на один график наносят результаты измерения деталей выборок, относящихся к одной или нескольким партиям деталей.

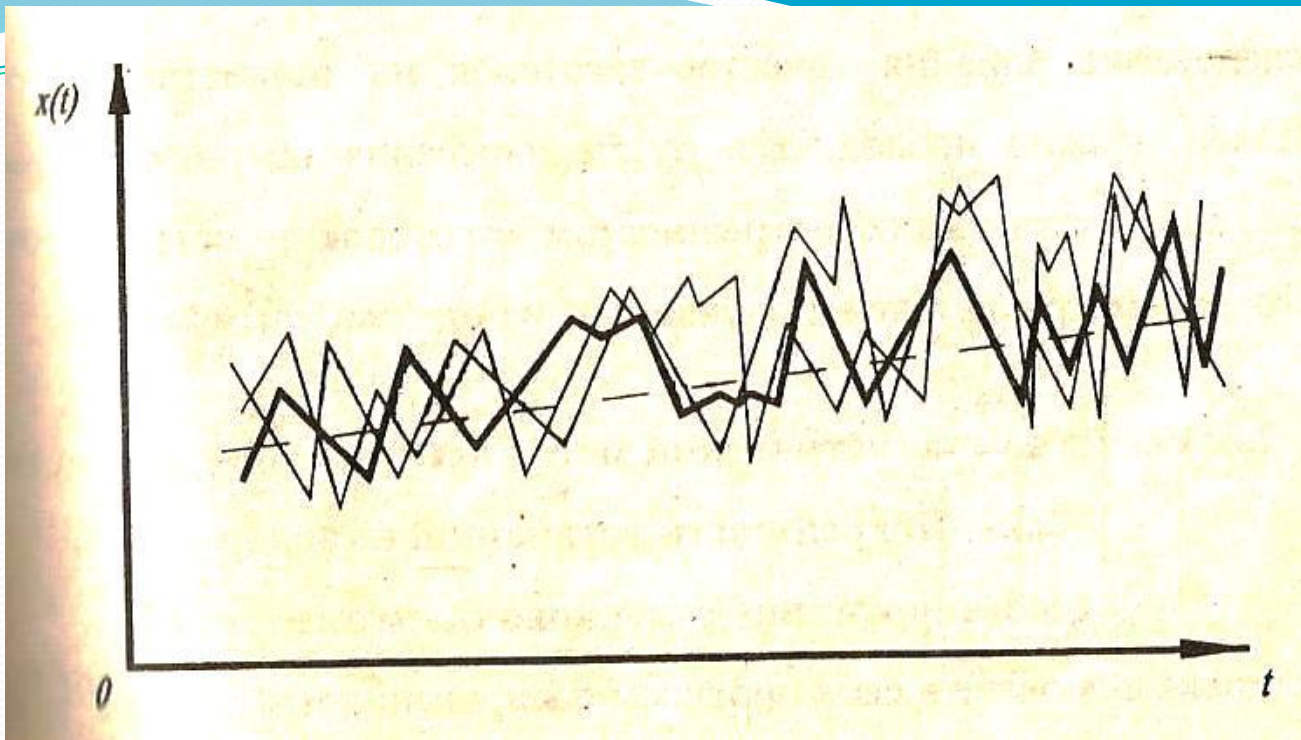


Точечная диаграмма отклонений размеров партии деталей

По данному графику можно судить:

- о соответствии контролируемого параметра установленному полю допуска (IT);
- о характере изменения систематических погрешностей изготовления;
- о предлагаемом моменте выхода контролируемого параметра детали за границы поля допуска;
- о точности наладки оборудования на заданный размер.

Рассмотрим случай изготовления нескольких партий деталей на одном оборудовании и возможностей смене (или перезаточке) режущего инструмента.



Точечные диаграммы отклонений размеров нескольких партий

На графике изображено несколько реализаций случайного процесса $x(t)$ изменения погрешностей контролируемого параметра на одном оборудовании.

По данному графику можно судить:

- о соответствии точностных характеристик системы СПИД исследуемого оборудования установленным полям допусков на контролируемый параметр;
- о величине и виде распределения погрешности настройки оборудования;
- о величине и характере изменения систематических погрешностей в процессе обработки;
- о величине и характере изменения величины случайной погрешности во времени.

В тех случаях, когда статистический анализ точности технологического процесса проводят с целью изучения влияния на точность обработки одного конкретного фактора, на график наносят две реализации по результатам измерения двух партий деталей, полученных при различных значениях исследуемого фактора и

максимально возможной идентичности условий обработки по другим факторам.

Исследование влияния качества заготовок на точностные характеристики деталей должно проводиться путем нанесения на один график двух реализаций, соответствующих погрешностям заготовок и погрешностям исследуемого параметра деталей, получаемых из тех же заготовок.