

## **Лекция 4.1 Основные понятия по обеспечению точности технологических процессов**

**Цель лекции** – ознакомить с фундаментальными понятиями и статистическими показателями, необходимыми для количественной оценки, анализа и обеспечения требуемого уровня точности и стабильности технологических процессов.

### **Задачи лекции:**

- разобрать понятия точность (Accuracy) и Воспроизводимость (Precision), а также определить различия между систематической и случайной погрешностями, влияющими на качество продукции;
- понять, как устанавливается Допуск (T) и Поле допуска (USL, LSL), и как заданная точность определяет структуру технологического процесса и требования к контролю;
- освоить классификацию причин погрешностей на Общие (случайные) и Особые (специальные), а также понять, как факторы 6M используются для поиска этих источников.
- понять методы управления точностью: - (Setup), направленной на устранение систематической погрешности, и Регулированием (Regulation), направленным на устранение случайной погрешности.
- освоить расчет и интерпретацию Индексов воспроизводимости процесса ( $C_p$  и  $C_{pk}$ ) для количественной оценки способности процесса производить изделия в пределах допуска.

**Под точностью в технологии машиностроения** понимается степень соответствия производимых изделий их заранее установленному прототипу.

В качестве **прототипа** может выступить и макет, и опытный образец, и документация. Чем больше соответствие, тем выше точность. Чем выше точность, тем выше надежность продукции, а, значит, и ее качество. Вместе с этим на всех этапах технологического процесса изготовления продукции неизбежны те или иные погрешности, в результате чего абсолютной точности достичь практически невозможно.

**Точность изделий** во многом зависит от качества исходных материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, точности изготовления деталей и точности сборки узлов и всего изделия.

**Точность** – важнейший фактор повышения эксплуатационных качеств изделий и удовлетворения все растущих требований потребителей.

При решении вопросов точности технологических процессов устанавливают необходимую точность изготовления изделия исходя из предъявляемых к нему требований и его функционального назначения. Заказчику (покупателю) продукции нужна не самая высокая точность, а такая, какая в данный момент удовлетворяет его потребностям. Заданная точность определяет соответствующую структуру построения технологического

процесса, необходимые методы и средства технического контроля процессов и продукции, устанавливает требования к экономичности производства.

В зависимости от того, какие требования необходимо выдержать, подход к решению вопроса точности технологических процессов будет различным.

Так, для быстроходных изделий расчеты точности следует делать с учетом динамических явлений. Особо рассматриваются тепловые явления, допустимый износ, качество сопряженных поверхностей и т. д.

От точности зависит долговечность изделия, его функциональность и соответствие требованиям стандартов и технических условий.

**Показатели точности:** Для оценки точности используются допуски, квалитеты и погрешности. **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.

Высокая точность требует затрат. При жестких допусках, то есть с повышением точности изготовления изделия возрастает трудоемкость обработки и себестоимость продукции (рисунок 4.1.1), причем себестоимость возрастает быстрее трудоемкости. Очевидно, что для каждого конкретного случая требуется оптимальное решение по назначению необходимой точности.

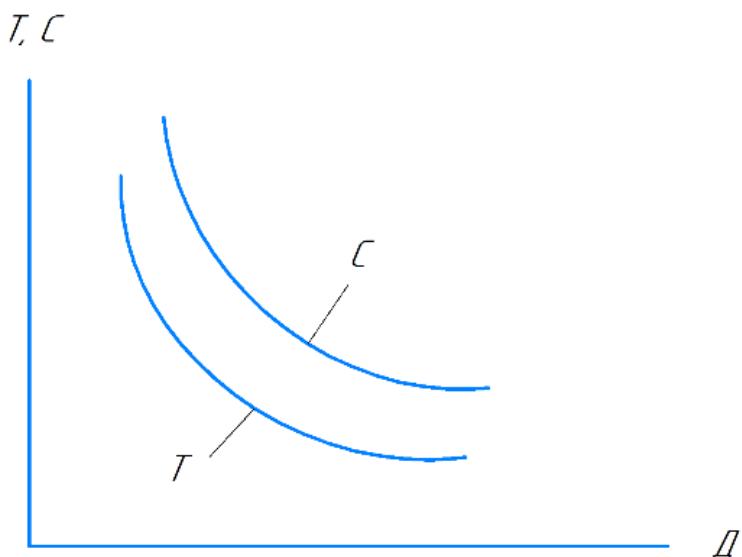


Рисунок 4.1.1 - Зависимость себестоимости (С) и трудоемкости (Т) от увеличения поля допуска (D)

На рисунке 4.1.2 показано, как с изменением величины зазора  $\delta$  между плунжером и цилиндром гидравлической машины изменяются затраты и на изготовление пары, и на эксплуатацию машины. Зависимость суммарных затрат от величины зазора позволяют определить наиболее экономически выгодный размер допуска на зазор.

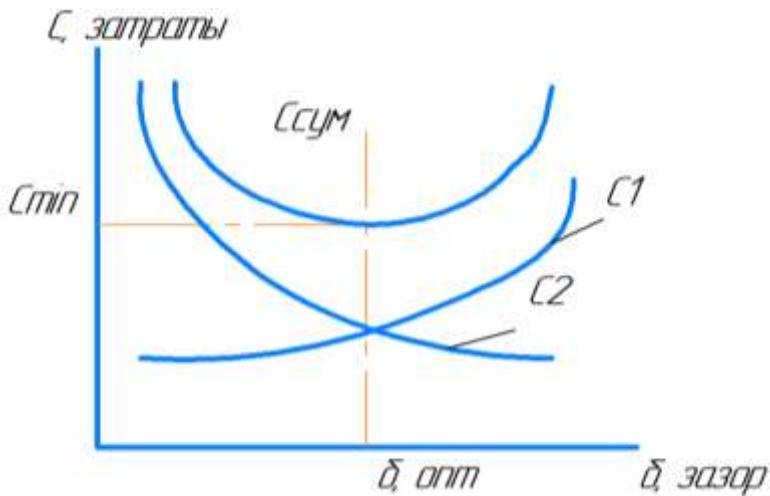


Рисунок 4.1.2 - Определение оптимального зазора  $\delta$  между плунжером и цилиндром:

$C_1$  – эксплуатационные расходы;  $C_2$  – себестоимость изготовления плунжерной пары;  $C_{\text{сум}}$  – суммарные затраты

Особое значение имеет точность сборочных процессов. При сборке сложного изделия могут иметь место ошибки взаимного положения его элементов, некачественные сопряжения, деформации соединяемых деталей. Неправильная сборка узлов вращения (шпинNELи, роторы лопаточных машин) вызывает их осевое и радиальное биение, а также неуравновешенность. Перекосы деталей в узлах трения приводят к их неравномерному и интенсивному износу, нагреву, к возможности задиров (царапин) поверхностей скольжения. Именно от неточности самой сборки или выбора нерационального метода обеспечения точности замыкающего звена возникает большинство отказов при эксплуатации изделий.

Устанавливая жесткий допуск на размер, конструктор должен всегда думать, как он может быть обеспечен на производстве. С одной стороны, ужесточение допусков является стимулом для производственника к внедрению мероприятий по повышению точности технологических процессов, что обеспечивает повышение качества продукции, а это важный фактор конкурентоспособности. Но, с другой стороны, жесткие допуски требуют проведения серьезной работы по снижению вариабельности технологической системы, что достигается значительными капитальными затратами по внедрению технологического оборудования повышенной точности, приобретению современного режущего инструмента, коренному улучшению системы переподготовки и повышения квалификации инженерного корпуса и производственных рабочих.

Большие капитальные затраты приведут к повышению себестоимости продукции, являющейся не менее важным, чем качество, фактором конкурентоспособности. На стыке допуска на размер и поля рассеяния этого размера в процессе производства лежат самые большие проблемы предприятия по оптимизации экономических и технических факторов,

обеспечивающих конкурентоспособность продукции. И среди этих факторов важнейший – обеспечение точности элементов конструкции изделия за счет снижения вариабельности технологической системы.

### **Факторы, влияющие на точность**

На точность технологических процессов влияют различные факторы:

- технологические факторы: износ инструмента, нестабильность режимов обработки, вибрации, тепловые деформации;
- конструктивные факторы: неточности в чертежах, дефекты заготовок, жесткость конструкций;
- внешние факторы: температура, влажность, вибрации, электромагнитные поля.

### **Методы обеспечения точности**

Для обеспечения точности применяются следующие методы:

- контроль: измерение параметров изделий и технологических процессов, статистический анализ данных;
- управление: регулирование режимов обработки, компенсация погрешностей, использование автоматизированных систем управления;
- стандартизация: разработка и применение стандартов и технических условий, сертификация продукции.

Точность важна не только для отдельной детали, но и для их сопряжения.

**Посадка** - это характер соединения двух деталей (например, вала и отверстия), определяемый разностью их размеров. Различают:

- зазор (Clearance Fit): Соединение, гарантирующее наличие свободного пространства (зазора) между сопрягаемыми поверхностями;
- натяг (Interference Fit): Соединение, гарантирующее наличие напряженного состояния (натяга), что обеспечивает прочное неразъемное соединение (например, горячая посадка);
- переходная посадка: Обеспечивает возможность получения как зазора, так и натяга в зависимости от фактического размера сопрягаемых деталей.

Ни один производственный процесс не может быть абсолютно точным; всегда присутствует **вариабельность**. Источники этой вариабельности классифицируются как:

1. Общие (Случайные) причины: неустранимые, присущие самому процессу. Они создают стабильный, но статистически предсказуемый разброс. Процесс, находящийся под контролем только общих причин, считается статистически управляемым.

2. Особые (Специальные) причины: вызванные внешними, неожиданными событиями (поломка, ошибка оператора, смена партии сырья). Они выводят процесс из управляемого состояния.

Для структурированного поиска источников вариабельности используется Диаграмма Исикавы (Fishbone Diagram) по факторам 6M:

- man (Человек): квалификация, усталость, ошибки оператора;
- machine (Оборудование): износ, неисправность, вибрация;
- material (Материал): неоднородность, дефекты сырья, разница в партиях;

- method (Метод): несовершенство технологии, неправильная последовательность операций;
- measurement (Измерение): погрешности приборов, неточность методик, квалификация контролера.
- mother Nature/Environment (Среда): Температура, влажность, пыль.

**Настройка:** устранение систематической погрешности (смещение  $\mu$ ). Это достигается путем регулировки оборудования (например, калибровка инструмента, установка нуля) для центрирования процесса относительно номинального размера. Регулирование: Устранение случайной погрешности (разброс  $\sigma$ ). Это более сложная задача, требующая поиска и устранения Общих причин, что часто означает улучшение самой технологии, модернизацию оборудования или повышение стабильности сырья.

Обеспечение точности технологических процессов - это не разовое действие, а **непрерывный цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act)**, основанный на статистическом мышлении и стремлении к минимизации вариабельности, чтобы обеспечить соответствие каждого изготовленного изделия требованиям, установленным конструкторской и нормативной документацией.

## Контрольные вопросы по лекции 4.1

1. Объясните различие между «Точностью» (Accuracy) и «Воспроизводимостью» (Precision) технологического процесса, и как каждая из этих характеристик связана с понятиями систематической и случайной погрешности.
2. Какова роль «Поля допуска» в обеспечении точности, и как устанавливается допуск ( $T$ )? Объясните, почему для конечного потребителя нужна не самая высокая, а заданная точность.
3. Раскройте сущность и причины возникновения двух основных видов погрешностей: систематической и случайной. Приведите примеры, как каждая из них влияет на отклонение фактического размера от номинального.
4. В чем состоит принципиальное отличие Индекса воспроизводимости  $Cp$  от Индекса  $Cpk$ ? Почему  $Cpk$  является более строгим и реалистичным показателем способности процесса?
5. Что означает ситуация, когда Индекс воспроизводимости  $Cp$  имеет высокое значение (например,  $Cp > 1.33$ ), но при этом  $Cpk$  оказывается ниже 1.0? Какую проблему в процессе (смещение или разброс) это указывает?
6. Опишите, какие действия требуются для улучшения процесса, когда его Индекс  $Cp$  меньше 1.0. На какой параметр процесса (разброс  $\sigma$  или среднее  $\mu$ ) необходимо воздействовать, и почему?
7. Объясните, как источники вариабельности классифицируются на «Общие (случайные)» и «Особые (специальные)» причины. Что отличает статистически управляемый процесс с точки зрения этих причин?
8. Перечислите и кратко объясните, как факторы «6M» (Man, Machine, Material, Method, Measurement, Mother Nature) используются для

структурированного поиска источников погрешностей в технологическом процессе.

9. Объясните разницу между «Настройкой» (Setup) и «Регулированием» (Regulation) процесса в контексте управления точностью. Какую цель преследует каждый из этих методов с точки зрения устранения погрешностей?

10. Почему обеспечение точности технологических процессов представляет собой «непрерывный цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act)», а не разовое действие? Как этот цикл связан с постоянным стремлением к минимизации вариабельности?