

## Лекция 5.3 Метод Тагути при анализе качества продукции

**Цель лекции - ознакомить с концепцией «инжиниринга качества» Г. Тагути , главное в которой — достижение повышения качества с одновременным снижением расходов , обеспечивающее выпуск конкурентоспособной продукции.**

### Задачи лекции:

- рассмотреть Философию Тагути , в которой важнейшей мерой качества являются суммарные потери для общества, порождаемые продуктом.
- изучить, как экономический фактор (стоимость) и качество анализируются совместно с помощью функции потерь.
- объяснить, что потери потребителей пропорциональны квадрату отклонений рабочих характеристик от их заданных значений (номинала).
- изучить, как методы Тагути позволяют оценивать показатели качества продукции и определять потери, увеличивающиеся по мере отклонения параметра от номинала, даже в пределах допуска.
- объяснить, что качество определяется в большой степени процессами разработки и изготовления.
- рассмотреть план действий Тагути.

**Методы Тагути** (этот термин появился в США, сам же Тагути называет свою концепцию «инжиниринг качества») представляют собой один из принципиально новых подходов к решению вопросов качества. Они получили распространение не только в Японии, но и в США и странах Западной Европы.

В Великобритании создан клуб Тагути, ориентированный на открытый обмен информацией и продвижение и применение предложенных им методов.

Философия Тагути базируется на следующих семи основных положениях:

- 1) важнейшей мерой качества произведенного продукта (изделия) являются суммарные потери для общества, порождаемые этим продуктом;
- 2) чтобы в условиях конкурентной экономики оставаться в бизнесе, необходимо постоянное повышение качества и снижение затрат;
- 3) программа постоянного повышения качества включает непрерывное уменьшение отклонений рабочих характеристик продукта (изделия) относительно заданных величин;
- 4) потери потребителей, связанные с отклонениями при эксплуатации продукции, обычно пропорциональны квадрату отклонений рабочих характеристик от их заданных значений 2 ;
- 5) качество и стоимость готового продукта определяются в большой степени процессами разработки и изготовления;
- 6) отклонения в эксплуатации продукта (или функционировании процесса) могут быть снижены посредством использования нелинейных 3 зависимостей рабочих характеристик от параметров продукта (или процесса);

7) для идентификации параметров продукта (или процесса), влияющих на снижение отклонений в эксплуатации (функционировании), должны использоваться статистические планируемые эксперименты.

**Главное в философии Тагути** - это повышение качества с одновременным снижением расходов.

Согласно Тагути, экономический фактор (стоимость) и качество анализируются совместно. Оба фактора связаны общей характеристикой, называемой функцией потерь.



Функция потерь качества графически может быть представлена параболой с вершиной в точке оптимального значения (номинала), где потери равны нулю.

Методы Тагути позволяют оценивать показатели качества продукции и определять потери качества, которые по мере отклонения текущих значений параметра от номинального, увеличиваются, в том числе и в пределах допуска.

Методы Тагути используют новую систему назначения допусков и вводят управление по отклонениям от номинального значения с использованием упрощенных методов статистической обработки.

#### План действий

- 1) Изучение состояния дел с качеством и эффективностью продукции;
- 2) Определение базовой концепции работоспособной модели объекта или схемы производственного процесса (системное проектирование).

Устанавливаются исходные значения параметров продукции или процесса:

1) Определение уровней управляемых факторов, которые минимизируют чувствительность ко всем факторам помех (параметрическое проектирование). На этом этапе допуски полагаются столь широкими, что производственные затраты оказываются малыми.

2) Расчет допустимых отклонений вблизи номинальных значений, достаточных для уменьшения отклонений продукции (проектирование допусков).

#### Особенности метода Тагутти

Качество продукции не может быть улучшено до тех пор, пока не будут определены и измерены показатели качества.

На основе методов Тагути вычисляют разницу между идеальным и реальным объектами и стремятся сократить ее до минимума, обеспечивая тем самым улучшение качества.

Г. Тагути считает, что каждый раз при отклонении характеристики от целевого значения, происходят некоторые потери. Чем больше отклонение, тем большие потери.

Г. Тагути предложил разделять переменные, влияющие на рабочие характеристики продукции и процесса, на две группы так, чтобы в одной из них оказались факторы, ответственные за основной отклик (номинал), а во второй - ответственные за разброс.

Задача метода Тагутти заключается в том, чтобы уменьшить чувствительность продукции и процессов к неконтролируемым факторам.

Концепция Тагути включает принцип устойчивого проектирования и функцию потерь качества.

Функция потерь по Тагути различает изделия внутри допуска в зависимости от их близости к номиналу (целевому значению).

Технологической основой устойчивого проектирования служит планирование эксперимента.

### **Достоинства**

Обеспечение конкурентных преимуществ за счет одновременного улучшения качества и снижения себестоимости продукции.

### **Недостатки**

Широкое применение методов Тагути в управлении процессами, на базе вероятностно-статистических методов, не всегда корректно в условиях высокой динамики требований к объектам оценивания и отсутствия аналогов.

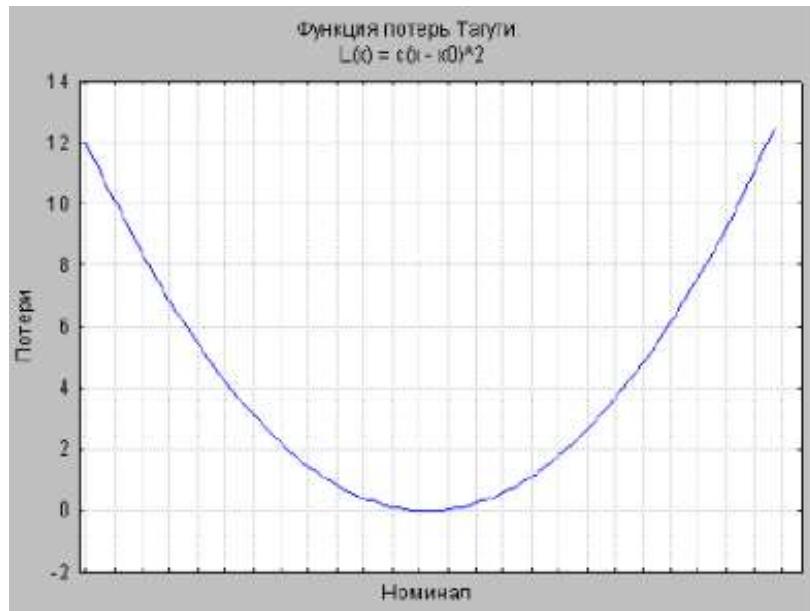
### **Ожидаемый результат**

Выпуск конкурентоспособной продукции.

### **Пример.**

Проблемы, возникающие, если соответствие валов и отверстий не идеально. Если их соплечение соответствует более плотной посадке, в процессе работы машины возникнет избыточное трение. Для его преодоления потребуется большая мощность или расход топлива.

При этом возможно возникновения локального перегрева, могущего привести к некоторым деформациям и плохой работе. Если посадка слишком свободная, то может происходить утечка смазки, которая может вызвать повреждение в других местах.



где  $x$  - измеряемое значение показателя качества;

$x_0$  - ее номинальное значение;

$L(x)$  - значение функции потерь Тагути в точке  $x$ ;

$c$  - коэффициент масштаба

Значение показателя качества откладывается на горизонтальной оси, а вертикальная ось показывает "потери", или "вред", или "значимость", относящиеся к значениям показателей качества.

Эти потери принимаются равными нулю, когда характеристика качества достигает своего номинального значения.

### 1. Философия Качества Тагути: От Соответствия к Потерям

Традиционное представление о качестве часто основывается на бинарном подходе: изделие либо **годно** (находится в пределах допусков), либо **брюковано** (вне допусков). Тагути же предложил радикально иную точку зрения, основанную на **функции потерь качества** (*Quality Loss Function*).

#### 1.1 Функция Потерь Тагути

Тагути утверждает, что любое отклонение характеристики качества продукта от ее **номинального (целевого) значения** приводит к **потерям** для общества. Эти потери включают не только прямые затраты производителя (брюк, переделка, гарантийные ремонты), но и косвенные потери потребителя и общества в целом (неудовлетворенность, снижение репутации, снижение производительности, загрязнение окружающей среды).

Функция потерь Тагути имеет **квадратичную форму** (парабола) с вершиной в целевом значении ( $m$ ):

$$L(y)=k(y-m)^2$$

где  $L(y)$  — потери, возникающие, когда характеристика качества равна  $y$ .

$y$  — измеренное значение характеристики качества.

$m$  — номинальное (целевое) значение характеристики.

$k$  - константа, определяемая экономическими издержками (коэффициент масштаба).

Потери начинаются **сразу** при малейшем отклонении от целевого значения, а не только при выходе за пределы допусков. Следовательно, повышение качества равносильно **минимизации вариации** характеристик продукта вокруг их целевого значения.

## 1.2 Принцип Робастного Проектирования

Основной принцип Тагути гласит: **«Качество должно быть заложено в продукт на этапе проектирования, а не проверено после его изготовления»**. Это достигается за счет **робастного проектирования** — создания продукта или процесса, который **нечувствителен** к влиянию неконтролируемых «шумов».

**Шумовые факторы** делятся на три категории:

1. **Внешние шумы:** Условия эксплуатации продукта (температура, влажность, вибрация, квалификация пользователя).

2. **Внутренние шумы:** Износ компонентов, старение, деградация материалов.

3. **Производственные шумы:** Вариации материалов, погрешности оборудования, колебания параметров процесса.

Цель робастного проектирования - найти такую комбинацию **контролируемых факторов** (параметров конструкции или процесса), при которой влияние «шумов» на выходную характеристику качества будет **минимальным**.

## 2. Три Стадии Проектирования Качества по Тагути

Методология Тагути разделяет инжиниринг качества на три взаимосвязанные стадии, которые выполняются **до начала массового производства**:

### 2.1. Системное Проектирование (*System Design*)

Это начальный, концептуальный этап, включающий инновации, научные и инженерные знания. На этом этапе определяются **основные функции** продукта, выбираются материалы, технологии и базовая архитектура системы, которая будет выполнять требуемую функцию. Это творческий процесс, который определяет **фундаментальную работоспособность** продукта.

### 2.2 Параметрическое Проектирование (*Parameter Design*)

Это самый важный этап, где Тагути предлагает свои статистические инструменты. На этой стадии определяются **оптимальные номинальные значения** контролируемых параметров системы (например, температура, время, состав сплава, размер компонента).

**Задача:** Найти комбинацию уровней контролируемых факторов, которая обеспечивает максимальную **устойчивость** продукта к шумовым факторам, а не просто дает требуемый номинал.

**Инструменты:** **Ортогональные Массивы** (*Orthogonal Arrays*) и **Отношение Сигнал/Шум (S/N)**.

### 2.3 Допусковое Проектирование (*Tolerance Design*)

Эта стадия применяется только в том случае, если параметрическое проектирование не позволяет достичь требуемого уровня качества. На этом этапе используются более дорогие, но эффективные методы, такие как ужесточение допусков на критически важные компоненты или использование более высококачественных материалов. Применение допускового проектирования всегда рассматривается Тагути как **последнее средство**, поскольку оно неизбежно увеличивает производственные затраты.

### **3. Инструменты Тагути: Ортогональные Массивы и S/N**

Для эффективного и экономичного проведения параметрического проектирования Тагути разработал два ключевых статистических инструмента.

#### **3.1. Ортогональные Массивы (*Orthogonal Arrays - OA*)**

Традиционное планирование эксперимента для исследования множества факторов и их взаимодействия требует проведения очень большого числа опытов (например, для 10 факторов на 2 уровнях –  $2^{10} = 1024$  эксперимента). Тагути предложил использовать специальные **Ортогональные Массивы**, которые позволяют исследовать множество факторов и их взаимодействия с **минимальным количеством экспериментов**.

OA - это стандартизованные таблицы, которые обеспечивают **сбалансированность** и **ортогональность** экспериментальной схемы. Ортогональность гарантирует, что эффект одного фактора может быть оценен независимо от других факторов. Это резко снижает затраты времени и ресурсов на эксперименты.

#### **3.2. Отношение Сигнал/Шум (*Signal-to-Noise Ratio - S/N*)**

Отношение S/N - это ключевая метрика Тагути, которая используется для оценки качества. В отличие от среднего значения, которое измеряет только близость к номиналу, S/N-отношение измеряет **робастность** (устойчивость) продукта.

$$S/N = 10 \log_{10}(\text{Сила Шума}/\text{Сила Сигнала})$$

**Сигнал** (числитель) — это желаемая производительность или среднее значение характеристики.

**Шум** (знаменатель) — это вариация вокруг целевого значения, вызванная неконтролируемыми факторами.

Чем выше S/N-отношение, тем **лучше качество**, поскольку это означает, что желаемая производительность (сигнал) **доминирует** над нежелательной вариацией (шумом). Тагути предлагает различные формулы S/N-отношения в зависимости от цели:

1. **Номинал – Лучше всего (*Nominal-the-Best*)**: Цель - приблизиться к конкретному номиналу с минимальной вариацией (например, диаметр вала).

2. **Меньше – Лучше всего (*Smaller-the-Better*)**: Цель - минимизировать значение до нуля (например, уровень шума, износ, загрязнение).

3. **Больше – Лучше всего (Larger-the-Better):** Цель – максимизировать значение (например, прочность на разрыв, время безотказной работы).

Метод Тагути изменил парадигму управления качеством, перенеся его из плоскости инспекции в плоскость **инжиниринга и проектирования**. Его философия, основанная на **квадратичной функции потерь и робастном проектировании**, фокусирует усилия на **минимизации вариации** характеристик продукта, делая его устойчивым к «шумам» еще до того, как он попадет в массовое производство. Использование **Ортогональных Массивов** и **S/N-отношения** позволяет инженерам эффективно и экономично находить оптимальные настройки параметров, что в конечном итоге приводит к созданию более качественных, надежных и экономически выгодных продуктов для производителя и общества в целом. Это обеспечивает долгосрочное конкурентное преимущество за счет снижения общих системных потерь.

### Контрольные вопросы по теме 5.3

1. Объясните философское отличие подхода Гэнити Тагути к качеству от традиционного подхода, основанного на допусках. Как это отличие отражено в понятии «потерь для общества»?

2. Сформулируйте и графически опишите Функцию Потерь Тагути. Почему Тагути выбрал квадратичную форму для этой функции, и что это означает для инженера-проектировщика?

3. Опишите концепцию Робастного Проектирования (*Robust Design*). Что означает, что продукт или процесс должен быть «нечувствителен» к «шумам»?

4. Назовите и охарактеризуйте три основные категории «шумовых факторов» (*noise factors*). Приведите примеры, как один из этих факторов может повлиять на качество конечного продукта.

5. Объясните роль Параметрического Проектирования (*Parameter Design*) в методологии Тагути. Почему Тагути считает этот этап самым важным для достижения высокого качества?

6. Какова цель использования Ортогональных Массивов (*Orthogonal Arrays*) в экспериментах Тагути? Как Ортогональные Массивы позволяют снизить затраты на разработку?

7. Что измеряет Отношение Сигнал/Шум (*S/N*), и почему оно является более предпочтительной метрикой для оценки качества по Тагути, чем простое среднее значение характеристики?

8. Опишите три основные стадии проектирования качества по Тагути: Системное, Параметрическое и Допусковое. В какой последовательности они применяются и почему Допусковое Проектирование должно быть последним выбором?

9. Приведите пример, как выбирается подходящая формула *S/N*-отношения в зависимости от целевой характеристики качества. Какую

формулу (тип S/N) вы бы использовали для характеристики «Срок службы изделия» и почему?

10. Каким образом метод Тагути помогает предприятиям достичь экономической выгоды, даже если он требует дополнительных усилий на ранних этапах проектирования?