

6. ИКОНОМИКА НА КАЧЕСТВОТО.

Пазарът през последните три десетилетия силно се промени: от пазар на продавачите (свръх предлагане) през потребителски пазар (свръх търсене) до днешното състояние на подтиснат пазар. Подтиснатият пазар изисква от предприятията постоянно внимание както към условията на пазара, така и към конкурентно способността на продуктите им.

За ефективността на контрола върху мерките за осигуряване на качеството от икономически аспект е удачно да се извърши разглеждане и анализ на свързаните с качеството разходи. Това разглеждане, оценка и документация на свързаните с качеството разходи, преди наричани още “разходи за качество”, започва в средата на четиридесетте години в САЩ и след това се развива в Япония.

В Европа през петдесетте години повишаването на качеството се свързваше непременно с повишаване на разходите. Това схващане е обосновано на погрешното вярване, че качеството не може да бъде обхванато в количествена форма. Като следствие от това традиционната наука за организация на стопанството дълго време не предприемаше опити, да изрази качеството в парично изражение. В противовес на това японците доказват, че високото качество означава ефективно използване на стопанските ресурси и намаляване на разходите и загубите. В това отношение съществен принос има Тагучи, който чрез своята *функция на загубите* дава възможност за комплексна оценка на качеството чрез отчитане едновременно на технически и икономически показатели.

6.1. Разходи по качеството

В класическата теория на качеството икономическите аспекти се свързват главно с *разходите по качеството*. Според стандарта БДС EN ISO 8402 разходите, свързани с качеството, са тези, които възникват при осигуряване и гарантиране на задоволително качество, или са във връзка със загубите, когато това качество не е достигнато. Тези разходи могат да се разделят на три основни групи:

1. Разходи за контрол и оценяване на качеството;
2. Разходи за несъответствия, дефекти, грешки;
3. Разходи за превантивни дейности.

Разходи за контрол и оценяване на качеството

- *Входящ контрол и изпитване.* Обхваща разходите за изследване и контрол на закупуваните материали, при определяне на доставчика, при получаване на партидата или при последващ надзор.

- *Контрол и измерване.* Разходи за текущ операционен контрол, за проверка на изискванията и за поддържане на процесите.

- *Краен контрол и изпитване.* Включва разходите за проверка и изпитване на характеристиките на готовия продукт и на изискванията за неговото приемане.

- *Надзор на качеството.* Проверка на съхраняваните продукти и на продуктите, пуснати на пазара.

- *Доставка и поддържане на контролноизмервателните средства.*
- *Поддържане на измервателните лаборатории.* Обхваща разходите за подготовка на проверките, за обучение на персонала, за контрол и калибриране на измервателните средства.
- *Проверки при експлоатацията.*

Разходи за несъответствия, дефекти, грешки

Вътрешни са разходите, свързани с грешки и несъответствия, открити преди предаването на продукта на клиента, като:

- *Брак* - при несъответствие с поставените изисквания. При невъзможност за корекции бракът се превръща в загуби.
- *Преработка и ремонт на поправим брак* за отстраняване на дефектите.
- *Отстраняване на грешките* и причините за несъответствията и възникналите проблеми в производството.
- *Допълнителен труд, материали, енергия.* Провеждане на допълнителни изпитвания.
- *Преоценяване на продукцията* в по-ниска категория.

Външни разходи са тези, свързани с дефекти, които се откриват след като продуктът е предаден на клиента. Те обхващат:

- *Гаранционен ремонт, проверки и замяна* на дефектни продукти в рамките на гаранционния срок.
- *Извънгаранционен ремонт,* проверка и замяна на дефектни продукти. Отстраняване на дефекти на продукти, за които не е направена рекламация.
- *Отстраняване на дефекти,* причинени на продукта при транспортиране, от лоша опаковка или при доставката на купувача.
- *Отговорност за продукта.* Изплащане на щети и неустойки, потърсени по законов път във връзка с нанесени на клиента вреди.
- *Отстъпки в цената* поради неизпълнение на договорените изисквания.

Разходи за превантивна дейност

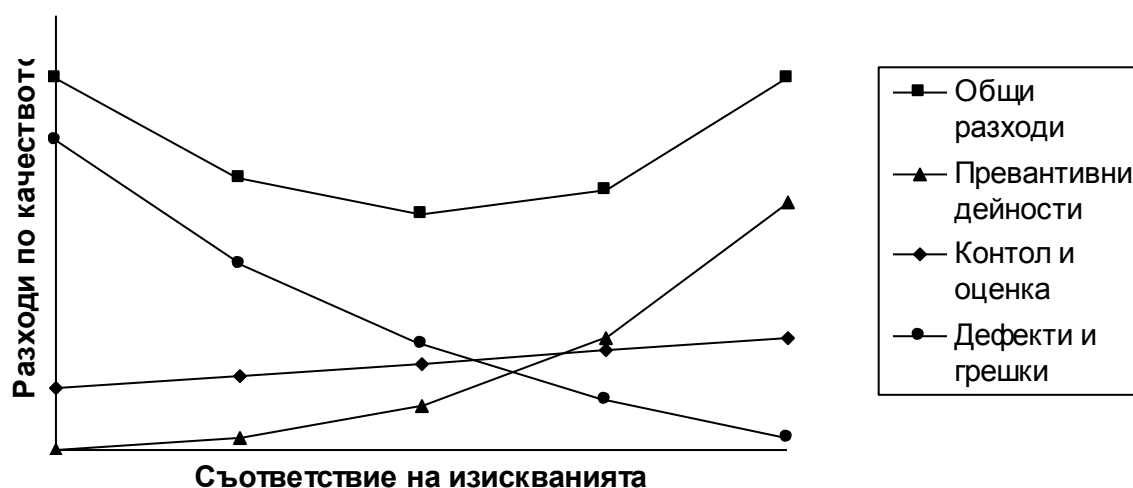
- *Планиране на качеството.* Включва разходите, свързани с проектирането и поддържането на системата по качеството, както и разходите за проучване и планиране на качеството на продукта.
- *Осигуряване на качеството на проекта.* Включва поддържане на нормативна и методическа документация, изследване и доказване на показателите на качеството на продукта, надеждността, техниката на безопасност и пр.
- *Изготвяне на опитни образци,* свързани с изпитването и коригирането на продукта.
- *Проектиране и поддържане на информационна система по качеството.* Проектиране и развойна дейност на необходимото оборудване за измерване и анализ на качеството.
- *Управление на процесите.* Проверка и анализ на производствените процеси.
- *Подготовка и усъвършенстване на сътрудниците в областта на качеството.* Програми за обучение, квалификация и мотивация.
- *Други разходи* за превантивни дейности.

Съществуват и редица **косвени (скрити) разходи**, породени от лошо качество, като:

- *Загуба на потенциални клиенти.* Неосъществените сделки поради отказ на клиента носят непосредствени загуби, но значително по-големи са щетите от загубата на имидж, която има мултиплициращ ефект.
- *Разходи за промяна или смяна на софтуера* поради недостатъци на качеството.
- *Разходи за изменения на производствените процеси* поради невъзможност да се изпълнят изискванията за качеството.
- *Допълнителни производствени разходи,* дължащи се на дефекти. Те могат да включат преразход на материали, труд, производствени мощности или поддържане на ненужни складови запаси.
- *Разходи, предвидени в стандартите и документацията* в съответствие с възприетите критерии, но по същество свързани с недостатъчното качество.

- *Неотчетен брак*, напр. поради страх от репресивни мерки, но осчетоводен по друг начин.

На фиг.6.1 са дадени типични графики на разходите по качеството в зависимост от степента на съответствие на изискванията на потребителите. Общите разходи очевидно имат оптимум. Най-трудно фирмите правят разходи за превантивни дейности, въпреки че според проф. Оукланд "...на основата на своя опит все още не е открил фирма, в която общите разходи са нараснали поради инвестиции за превантивна дейност", т.е. да е бил достигнат минимума на общите разходи по качеството.



Фиг.6.1 Разходи по качеството

6.2. Стойностен анализ

Един от широко прилаганите методи за анализ и намаляване на разходите в стопанската дейност е стойностният анализ. Методът е предложен по време на Втората световна война от Майлс, служител на Джeneral Електрик. Той обединява техническите и икономическите аспекти на анализа в единен метод – техникоикономически анализ. Методът е известен с названията “Функционално-стойностен анализ”, “Инженерно-стойностен анализ” и “Стойностен анализ”, което е названието на действащия у нас от 1992г. стандарт БДС 17294.

Основната цел на метода е в намаляването на излишните разходи – тези, които не влияят върху понижаване на качеството на изделията. Майлс определя два етапа:

- установяване на източниците за възникване на излишните разходи;
- предприемане на действия за отстраняването им.

За ефективността на метода говори факта, че Военното министерство на САЩ не сключва договори за продукция, която не е преминала стойностен анализ. В Япония методът се прилага масово. Фирми като Хитаи са намалили разходите си с 5,5% годишно, НЕК – 8%, Фуджицу - 5%.

Основните характеристики на метода са типични за TQM:

- Работа в група от представители на всички фирмени отдели;
- Психологически климат – равнопоставеност, не налагане на авторитарно ръководство;
- Творческо мислене – прилагане на креативни методи;
- Системен подход – анализ на външните и вътрешни връзки;
- “Функционален” подход – обекта се разглежда като съвкупност от функции, а не от елементи – избягва се предметната ориентация.
- Стойностно мислене – остойностяване на всяка функция и всяко решение.

Същността на метода е в повишаването на съотношението *Функционалност/Разходи* при съществуващите ресурсни ограничения или както е популярно у нас съотношението *Качество/Цена*. Това е и основна цел на мениджмънта.

Прилагането на метода преминава през следните етапи:

1. *Организация и подготовка.* По време на този етап се определя обекта на анализа, целите, сроковете, ограниченията и специфичните изисквания. Съставя се работна група от висококвалифицирани специалисти от различни области – конструктори, технолози, метролози, икономисти и др.
2. *Информационен етап.* Набира се информация за обекта на анализа: външна – каталози, проспекти, оферти, цени, патенти и т.н.; вътрешна – конструктивна и технологична документация, данни от контрол, снабдяване, себестойност по статии на калкулацията, начини на формиране на амортизации, разходни норми и др.
3. *Анализ.* На този етап се анализира цялата налична информация с цел да се идентифицират и ранжират функционалните несъответствия и излишните разходи, без да се намалява качеството.

4. *Творчески етап.* По време на този етап се търсят нови решения по отношение на определените на предишния етап критични функционални несъответствия и критичните разходи.
5. *Изследователски етап.* Целта на този етап е да бъдат синтезирани варианти на решения и да бъдат оценени тези варианти икономически. Разглежда се реализуемостта на предложените идеи по технически и стойностни критерии.
6. *Заключителен етап.* Разработва се техникоикономическа документация на избран вариант на решение.
7. *Внедряване.* Утвърденият от висшето ръководство вариант на решение се прилага на практика, като търсенето на оптимални решения продължава.

Прилагането на стойностния анализ е в пълно съответствие с целите и задачите на тоталното управление на качеството със своята универсалност и комплексен подход. В Европейския съюз се подготвя въвеждане на единен европейски стандарт на основата на немския DIN 69910.

6.3. КАЧЕСТВО И ФУНКЦИЯ НА ЗАГУБИТЕ.

Тагучи определя качеството в отрицателен смисъл като "загуби за обществото след момента на производството на даден продукт". Тези загуби включват цената на потребителската незадоволеност, което може да доведе до загуба на репутацията или благоразположение към компанията. Независимо от директните загуби вследствие на гаранционното поддържане и сервизно обслужване, съществуват и индиректни такива, обусловени от загубата на пазарен дял, както и увеличените маркетингови усилия, необходими за преодоляване недостига на конкурентоспособност.

Тагучи използва своята функция на загубите за установяване на стойностна база при разработването на качествени продукти. Тази функция приема необходимостта от едни средни характеристики на продукта, които да са в съответствие с изискванията на потребителя, както и факта, че изменемостта на тези характеристики трябва да бъде възможно най-малка. Според Тагучи, продуктът причинява загуби не само тогава, когато той въобще не съответства на спецификацията, но и тогава, когато той се отклонява от целевата си стойност. Всяка програма за усъвършенстване на качеството би трябвало да има като своя главна цел минимизацията на измененията в характеристиките на продукта относно целевата стойност. Колкото по-малки са тези изменения, толкова по-високо е качеството. Колкото по-голямо е отклонението от целевата стойност, толкова по-големи са загубите за потребителя и производителя.

Функция на загубите.

Загубите биха могли да бъдат изчислени приблизително посредством функцията на загубите на Тагучи, която дава квадратична зависимост между финансовите загуби и отклоненията на функционалните характеристики на продукта. Фигура 2.17. дава основната формула на функцията на загубите $L(X)$, както и графично представяне на загубите за обществото, когато характеристиките на продукта X се отклоняват от желаната цел t . Във формулата M представлява загубата за потребителя (в парично изражение) при

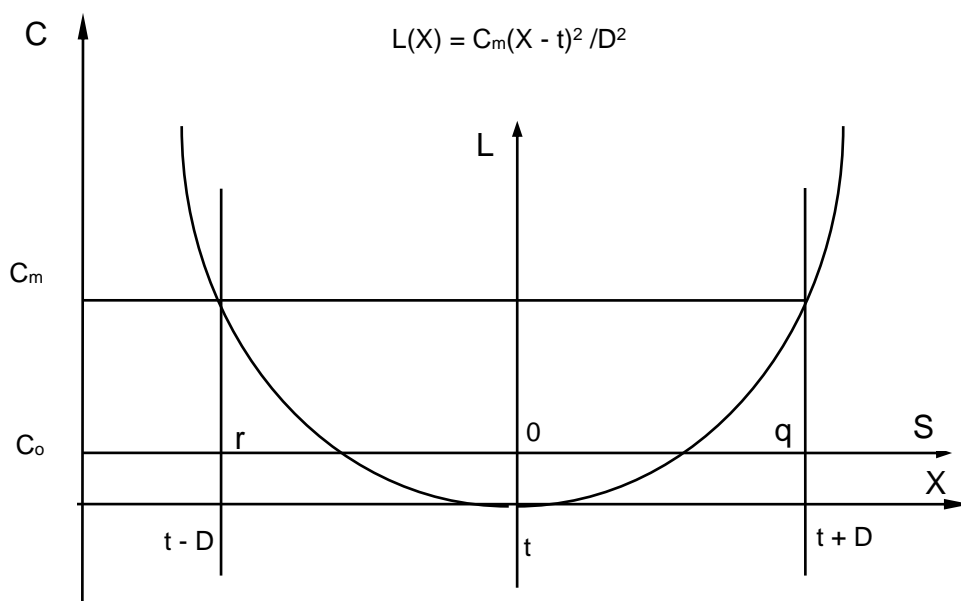
надвишаване на потребителския допуск **D**. Разходите за продукта са минимални (**C₀**) при целевата стойност **t**. В координатната система **SOL**, където **S** е отклонението от целевата стойност, функцията на загубите добива вида

$$L(S) = k \cdot S^2, \quad (2.1)$$

където **k** е коефициент на пропорционалност.

Тази зависимост представлява математическата интерпретация на заключението на Тагучи, че загубите нарастват с квадрата на отклоненията на характеристиките от тяхната целева стойност. Това заключение съществено се различава от класическото схващане за допуските на функционалните параметри на изделията, според което щом параметрите са в допустимите граници, изделието е годно, т.е. качествено, и ако са извън допуските изделието е некачествено.

Според Тагучи, изделията, чиито параметри са в рамките на допуските, не са с еднакво качество. Това се потвърждава и от факта, че по-високо качество на продукцията имат фирмите, които работят с по-голям резерв от технологична точност (разсейване по-малко от допускателния) при еднакви допуски с конкурентите си.



Фиг. 2.17. Функция на загубите на Тагучи

$$L(x) = L(t + (x-t)) = L(t) + (x-t) L'(t) / 1! + (x-t)^2 L''(t) / 2! + \dots$$

$$L(t) = 0$$

При $X=t$ загубите са 0, т.е. $L'(x)=0$

Приложения на функцията на загубите.

Определяне на допуските на функционалните параметри.

В някои случаи определянето на допуските на параметрите на изделията става на основата на добре обосновани методики, като се отчитат условията на експлоатация, предназначението, използваните материали и другите изисквания към изделието. За съжаление преобладава практиката на избирането на допуските главно на основата на практическия опит и "добрия усет" на конструктора, което се дължи на липсата на обективни критерии.

От гледна точка на производството, големината на допуските зависи от възможностите на производственото оборудване. Не са редки случаите на принудително увеличаване на определените от конструктора допуски когато нараснат производствените проблеми. Обратното става, когато се увеличат проблемите при сглобяването или когато зачестят оплакванията на потребителите.

Подходът на Тагучи позволява допуските на функционалните параметри да се определят в зависимост от загубите на клиента и производителя.

Нека да разгледаме приложението на този подход при определянето на интервала между стандартните размери на обувките. Ако предположим, че при максимален дискомфорт граничните отклонения за средностатистическия клиент са $r = -2,5 \text{ mm}$ и $q = +6 \text{ mm}$ (фиг. 1.17) и клиентът е склонен да заплати допълнително 80 парични единици за специална поръчка, от уравнение (2.1) могат да се определят две стойности за коефициента k , които съответстват на долното r и горното q гранично отклонение:

$$k_1 = 80/(2,5)^2 = 12,8$$

$$k_2 = 80/(6)^2 = 2,22$$

Нека също да предположим, че интервалът между стандартните размери е 10 mm, а определен клиент има размер с 3 mm по-голям от даден стандартен размер. Тогава той трябва да избира между стегнати обувки с 3 mm стегнатост и по-свободни - със 7 mm хлабина. Загубите за клиента в двата случая ще бъдат:

$$L_1(-3) = k_1(-3)^2 = 115,2 \text{ ед.}$$

$$L_2(+7) = k_2(7)^2 = 2,22 \cdot 7^2 = 108,78 \text{ ед.}$$

Тъй като тези загуби са по-големи от допълнителните разходи необходими за специална поръчка (80ед.), този клиент ще предпочете очевидно специалната изработка.

Резултатите от този анализ показват, че интервалът T между стандартните размери на обувките не е оптимален и трябва да бъде намален. При това обаче ще се увеличат разходите на производителя, който трябва да произвежда по-голяма номенклатура от обувки. Значително ще нараснат и загубите в дистрибуторската мрежа, защото ще бъдат необходими допълнителни складови площи. Нека да предположим, че загубите на дистрибутора са по-големи от производствените загуби и възлизат на 10 ед. за чифт обувки. Понеже от друга страна тези загуби са по-малки от загубите на клиента (80 ед.), логично е да се използват като критерий за определяне на оптималния интервал между стандартните размери на обувките. Тогава загубите на клиента ще се изравнят със загубите на дистрибутора, т.е. оптималните разходи ще бъдат $L_0 = 10$ ед. Ако предположим, че съществува еднаква вероятност на разпределение на стойностите в рамките на допускателния интервал, средната стойност на загубите може да се определи чрез интегриране на функцията (2.1) в интервала T :

$$L_{cp} = 1/T \left(k_1 \int_{-r}^0 s^2 dx + k_2 \int_0^q s^2 dx \right) \quad (2.2)$$

Полагайки $L_{cp} = L_{opt} = 10$ ед., след заместване със стойностите на k^1 и k^2 се получава

$$10 = 1/T \left(12,8 r^3 / 3 + 2,22 q^3 \right)$$

От друга страна, понеже загубите са еднакви при двете гранични отклонения, от (2.1) следва:

$$k^1 r^2 = k^2 q^2 \quad (2.3)$$

След решаване на системата от уравнения (2.2 и 2.3) като се има предвид, че $T = q - r$, се получават оптималните стойности:

$$q = 3,67 \text{ mm}; r = 1,53 \text{ mm}; T = 5,20 \text{ mm}.$$

Разгледаната методика може да се приложи при определянето на интервалите между типоразмерите на редица други изделия и елементи в машиностроенето (крепителни елементи, изпълнителни и задвижващи механизми, редуктори, двигатели, лагери), електронната промишленост (резистори, диоди и транзистори, интегрални схеми) и др.

Оптималният допуск на даден функционален параметър може да се определи чрез анализ на загубите поради ниско качество във веригата: производител - дистрибутор - потребител. По същия начин може да се процедира и за вътрешен цикъл на производството, когато "клиентът" е изпълнителят на завършваща операция (например сглобяване на компонентите или крайното изделие), "дистрибуторът" е междинно звено (например склад за компонентите), а "производителят" е изпълнител на предшестваща операция (например обработване на детайла).

При това ще приемем за улеснение, че допускът се разполага симетрично спрямо номиналната стойност на параметъра. В случаите, когато се налага несиметрично разположение, например при осъществяване на сглобка, допускът може да се разглежда като симетричен спрямо средната хлабина или средната стегнатост, които по принцип най-точно характеризират сглобката.

Нека да допуснем, че граничните отклонения q_c на даден параметър имат критична стойност, т.е., ако действителните отклонения са малко по-големи от тях, ще бъдат нарушени функционалните характеристики на изделието. Ако не се използва 100% контрол, вследствие на разсейването на стойностите на параметрите е напълно възможно до клиента да достигнат такива изделия. В такъв случай клиентът ще реализира финансови загуби L_k , които съгласно (2.1) ще бъдат:

$$L_k = k q_k^2,$$

откъдето

$$k = L_k / q_k^2. \quad (2.4)$$

Загубите на клиента включват преките и косвените разходи и могат да се определят като се вземат предвид транспортните разходи за връщане на

стоката, изразходваното време, създадените затруднения от производствен характер и др. Точното определяне на тези загуби в повечето случаи е невъзможно, но обикновено дори една груба оценка с грешка в рамките на 20-30% е достатъчна.

Вследствие на невъзможност за използване, клиентът връща закупената продукция на дистрибутора (търговеца), който също ще има загуби за транспорт, запълване на складови помещения, разходи за труд и други разходи, свързани с рекламацията пред производителя. Ако загубите на дистрибутора са L_d , може да се определи стойността на граничното отклонение q_d така, че загубите на потребителя да не са по-големи от L_d . Тъй като

$$L_d = k q_d^2,$$

след заместване на k със (2.4) за q_d се получава:

$$q_d = q_k \sqrt{L_d / L_k} \quad (2.5)$$

Граничните отклонения могат да се заместят със съответните допуски, тъй като $T = 2q$:

Дистрибуторът обаче не може да влияе върху качеството на изделието, в този случай върху допуса. Корекцията може да извърши само производителя.

Ако разходите на производителя за поправянето на дефекта, включително повторния контрол са L_p , те могат да се изразят чрез граничното отклонение на параметъра при производството q_p :

$$L_p = k q_p^2.$$

След заместване на k със (2.4) може да се определи оптималното гранично отклонение q_p , съответно оптималния допуск T_p за производителя:

$$T_p = T_k \sqrt{L_p / L_k} \quad (2.6)$$

От тази зависимост се вижда, че допускът за производителя не зависи от допуса T_d , определен по-горе за дистрибутора. Само производителят се нуждае от информацията от крайния потребител, за да определи какъв допуск трябва да се определи на даден параметър. За да се отчетат, обаче и загубите на дистрибутора те трябва да се сумират със загубите на потребителя.

Връзка на функцията на загубите със стабилността на процесите.

Коефициентът на стабилност на процеса C_p се определя чрез допуса T и средноквадратичното отклонение σ - $C_p = T / 6\sigma$.

В съответствие с (2.1) загубите са пропорционални на квадрата на отклонението от целевата (номинална) стойност на параметъра. Следователно средните загуби за единица изделие, които се дължат на разсейването в рамките на допуса, могат да се изразят чрез квадрата на средноквадратичното отклонение от номиналната стойност, т.е. чрез дисперсията σ^2 : $L_{cp} = k \sigma^2$.

Тъй като $\sigma^2 = T/(6C_p)$, тези загуби могат да се изразят чрез C_p :

$$L_{cp} = kT/(6C_p) \quad (2.7)$$

За илюстрация разглеждаме пример, за който $L_c=16$ ед., $T=0,1$ и $k=400$. При $C_p = 1$ средните загуби за единица изделие ще бъдат

$$L_{cp} = 400(0,1/6)^2 = 0,11 \text{ ед.}$$

Ако поради разсейването на параметрите се получи "брак", загубите за потребителя не се променят, но те ще се реализират само в $(0,11/16)100\% = 0.1\%$ от случаите. При $C_p = 1.33$ средните загуби на единица изделие ще бъдат:

$$L_{cp} = 400 \times (0,1/8)^2 = 0,1 \text{ ед.}$$

Разликата в разходите между двата случая е 0,01 ед., която при производство 100000 бр. на месец ще доведе до икономия от 1000 ед.

Ако се направи сравнение между два технологични процеса с различни стойности на L и C_p , от (2.7) следва, че загубите са обратно пропорционални на квадрата на коефициентите на стабилност:

$$L_1 / L_2 = (C_{p2} / C_{p1})^2 \quad (2.8)$$

Получените зависимости позволяват да се определи необходимостта от усъвършенстване на технологичния процес. Ако разходите за неговото подобряване надхвърлят спестените загуби, определени чрез функцията на загубите, подобренията не трябва да се правят.

Определяне на допуските на влияещите параметри.

Показателите на качеството на крайното изделие зависят от допуските на параметрите на входните материали и компоненти, които могат да бъдат от различно естество, например дебелина на материала, твърдост, дебелина на покритие, електрически параметри и други. Този въпрос има особено голямо значение при определянето на допуските на материалите и елементите, които се закупуват от доставчиците.

Полученото по-горе уравнение (7.9) може да се представи във вида:

$$L_c = L_n (T_c / T_n)^2,$$

където L_n са загубите на производителя за отстраняване на несъответствието в крайното изделие, а T_n - допуска на параметъра на крайното изделие.

Аналогично ако с $T_{нд}$ се означа големината на допуска на параметъра за доставчика, а с $L_{нд}$ - неговите загуби при бракуване, тази зависимост може да се запише във вида:

$$L_{нд} = L_n (T_{нд} / T_n)^2.$$

С това уравнение се определят загубите на доставчика, ако действителните стойности на параметрите са на границата на допусковото поле или са извън допуска. Когато действителните стойности са по-малки от

граничните отклонения, тези загуби се определят от квадрата на отклонението от номиналния размер S^2 , а средните загуби за всички изделия се изразяват чрез дисперсията σ^2 :

$$L_{\text{нд}} = (L_{\text{п}} / T_{\text{п}}^2 / 4) \sigma^2 \quad (2.9)$$

Тъй като параметрите x на съставните компоненти и съответните параметри y на крайното изделие са различни величини, необходимо е да се определи функционалната зависимост между тях. Ако предположим, че тази зависимост е линейна в първо приближение, отклоненията на параметрите на крайното изделие могат да се изразят чрез отклоненията на входните параметри както следва:

$$S_y = p S_x,$$

а зависимостта (2.9) ще получи вида:

$$L_{\text{нд}} = (L_{\text{п}} / T_{\text{п}}^2 / 4) (p\sigma)^2 \quad (2.10)$$

Коефициентът p отчита влиянието на допуската на даден параметър върху характеристиките на крайното изделие и представлява отношението на изменението на изходния параметър към изменението на влияещия параметър:

$$p = S_y / S_x.$$

Както се вижда коефициентът на влияние има дименсия, която се определя от дименсиите на съответните параметри на качеството.

Пример: Ако при дълбокото изтегляне на детайл от листов материал $1 \mu\text{m}$ изменение в размера на материала предизвиква **0,01 mm** изменение в дължината на детайла, коефициентът p ще бъде равен на **0,01 mm/ μm** . Аналогично ако 1 единица твърдост по Роквел предизвика **0,1 mm** изменение в дължината, коефициентът на влияние ще има стойност **0,1 mm/HRC**.

В граничния случай отклоненията от номиналните стойности се заместват с допуската на съответния параметър, а зависимостта (7.10) се записва във вида

$$L_{\text{нд}} = (L_{\text{п}} / T_{\text{п}}^2) (pT_{\text{нд}})^2 \quad (2.10)$$

От (7.10) може да се определи допусъкът $T_{\text{нд}}$ на влияещия параметър, ако е известен допусъкът $T_{\text{п}}$ на зависимия от него параметър на крайното изделие:

$$T_{\text{нд}} = T_{\text{п}} / p \sqrt{L_{\text{п}} / L_{\text{нд}}} \quad (2.11)$$

Ако предписаният допуск на получения при дълбокото изтегляне детайл е $T_{\text{п}} = 0,1 \text{ mm}$, загубите при бракуване на заготовката от листов материал са $T_{\text{п}} = 0,25 \text{ ед.}$, а загубите при бракуване на целия детайл са $L_{\text{п}} = 1 \text{ ед.}$, допусъкът на дебелината $T_{\text{нд}}$ на заготовката при $p = 0,01 \text{ mm}/\mu\text{m}$ ще бъде:

$$T_{\text{нд}} = 0,1/0,01 \sqrt{0,25 / 1} = 5 \mu\text{m}$$

Съответният допуск на твърдостта **T** при **p = 0,1 mm/HRC** ще има стойност 0,5 HRC.

При този пример се вижда, че получените стойности за допуските на дебелината и твърдостта на материала са много малки и трудно могат да бъдат постигнати от доставчика. В подобни случаи, ако няма никакви резерви в стойностите за разходите, трябва да се търсят други решения на проблема, като например сортиране на доставения материал на групи в рамките на допуски и използване на няколко инструмента за изтегляне.

Определяне на допуските на параметри, които се променят във времето.

Редица параметри на изделията се променят във времето или при експлоатацията. Към тях се отнася износването на машинните части, умората и стареенето на материалите, изменението на електрическите параметри на електронните компоненти, яркостта на осветителните тела и т.н. Тези параметри определят срока на служба на изделията и затова правилното определяне на допуските на елементите, от които те зависят има голямо значение.

За определяне на допуски на параметъра, от който зависи съответния показател или характеристика на крайното изделие се използва зависимостта (2.11). Но тъй като стойността на този параметър се променя във времето, необходимо е да се нормира и допускът на неговото изменение във времето в зависимост от зададения допуск на изменение на крайния параметър. Нека с **S_y** да означим изменението на параметъра **y** на крайното изделие за единица време, например **W/h** - за мощност, **Cd/1000h** за яркост на светене, **dB/h** за звук или шум и т.н. Тогава дисперсията на стойностите на параметъра за определен период от време **θ** може да се определи по формулата:

$$\sigma^2 = 1/\theta \int_0^\theta (S_y t)^2 dt \quad (2.12)$$

или

$$\sigma^2 = (S_y)^2 \theta^2 / 3 \quad (2.13)$$

Изменението **S_y** на параметъра във времето може да бъде и нелинейна функция, но това с нищо не променя методиката. Периодът **θ** обикновено представлява срокът на служба на изделието.

Тъй като параметърът **y** зависи от началния параметър **x**, отклонението **S_y** може да се определи чрез коефициента на влияние **p** и отклонението **S_x** на параметъра **x** за единица време и (2.13) получава вида:

$$\sigma^2 = p(S_x)^2 \theta^2 / 3 \quad (2.14)$$

В граничния случай отклонението **S_x** може да се замени с допуски на изменението на влияещия параметър **T_x** във времето. След заместване на този израз в (2.10) и като се замени отклонението с допуски на изменението на влияещия параметър във времето, се получават загубите на поддоставчика

$L_{нд}$, когато доставените от него компоненти са извън този допуск, а от там и допуска

$$T_{нд} = T_n / p\theta \sqrt{3L_{нд} / L_n} \quad (2.15)$$

По този начин могат да се определят допуските на всички влияещи параметри върху характеристиките на крайното изделие. На тази основа следва да се определи функцията на загубите за всеки параметър на изделието. Общите загуби, дължащи се на отклоненията от номиналните стойности се определят от зависимостта

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{L_{ci}}{(T_{ci} / 2)^2} \sigma^2 \quad (2.16)$$

Анализът на тази функция позволява да се направи сравнение между изделия от един и същи вид и да се определи обективно тяхното качество.

Техникоикономическа обосновка и анализ на проекти за технологично, контролно и др. оборудване.

При избора на технологично оборудване, контролноизмервателни средства и др. освен за основните технически характеристики трябва да се прави и икономическа обосновка, която да доказва тяхната рентабилност за проектния срок на използване. Използвайки подхода на Тагучи това означава да се получи качествена продукция при минимални разходи, респ. загуби. Ако приемем като основен критерий за качеството дисперсията на параметрите на готовата продукция и използваме функцията на загубите можем да направим обоснован избор.

В получената по-горе формула (2.9) се дава връзката между загубите L , разсейването на параметрите, изразено чрез σ , и допуска T . В загубите, обаче, не са включени разходите, свързани със закупуването и поддържането на съответното оборудване. Затова тези разходи трябва да бъдат добавени, при което годишните разходи се определят от

$$L = \frac{C}{N} + \frac{L_n}{(T_n / 2)^2} \sigma^2, \quad (2.17)$$

където C са годишните разходи за оборудване, N - брой изделия, произведени за една година.

Тази зависимост позволява да се определят разходите за осигуряване на качеството още преди закупуване на съответното производствено оборудване, в т.ч. и за контрол.

Когато трябва да се направят подобрения в даден процес е необходимо да се направи сравнение със съществуващото състояние по отношение на качеството и разходите. За тази цел може да се използва връзката между дисперсията, допуските и коефициента на стабилност за съществуващия процес. Тогава за изходното състояние се получава

$$L = \frac{C_o}{N} + \frac{L_n}{(3C_p)^2}, \quad (2.18)$$

В горния израз C_o са съществуващите годишни разходи.

Положителната разлика между разходите за ново оборудване (2.17) и разходите за съществуващото (2.18) представлява печалбата от подобрието на качеството, изразено чрез увеличение на C_p . При това трябва да се отчита и срокът за амортизация, който трябва да е по-малък от предвидения експлоатационен период за да се осигури рентабилност на направените разходи.

ПРИМЕР:

В Таблица 1 е разгледан пример за съпоставка на два вида контрол - пасивен с универсални средства и с новозакупена автоматизирана система за активен контрол. Разходите и загубите са дадени в бездименсионни финансови единици. От таблицата се вижда, че системата за активен контрол се рентира само ако експлоатационния срок е пет и повече години. Но качеството, изразено чрез C_p , е подобро съществено и потребителите естествено печелят от това.

Таблица 1

Контрол с универсални средства		Система за активен контрол	
Загуби при брак на детайла	$L_n = 10$	$L_n = 10$	
Допуск на размера	$T_n = 60\mu m$	$T_n = 60\mu m$	
Годишно производство	$N = 2 \cdot 10^5$	$N = 2 \cdot 10^5$	
Годишни разходи	$C_0 = 5 \cdot 10^4$	$C_0 = 1 \cdot 10^4$	Цена - $1 \cdot 10^5$
Коефициент на стабилност	$C_p = 1,1$	$C_p = 5$	Точност $\sigma = 2\mu m$
Функция на загубите $L = \frac{C_o}{N} + \frac{L_n}{(3C_p)^2} =$ $= 0,92 + 0,25 = 1,17 \text{ /дет.}$		Функция на загубите за първата година при $C = 1 \cdot C_0 + 1 \cdot 10^5$ $L = \frac{C}{N} + \frac{L_n}{(T_n/2)^2} \sigma^2 = 0,594 \text{ /дет}$ за втората година - $C = 2 \cdot C_0 + 1 \cdot 10^5$ $L = 1,2 \cdot 10^5 / 2 \cdot 2 \cdot 10^5 + 0,044 = 0,344$ за петата година - $C = 5 \cdot C_0 + 1 \cdot 10^5$ $L = 0,15 + 0,044 = 0,194$	
		Печалба за първата година $1,17 - 0,594 = 0,576$ за производителя $0,25 - 0,55 = -0,3$ за потребителя $0,92 - 0,044 = 0,876$ за петата година $1,17 - 0,194 = 0,976$ за производителя $0,25 - 0,15 = +0,1$ за потребителя $0,92 - 0,044 = 0,876$	