

с. 38 – 43. 3. Кершиене Р. Природоохранительная политика в системе охраны края/ Экологические аспекты военной деятельности. – Сборник учебных материалов. – Вильнюс. – 2005. – С. 20-28. 4. Шляхтич Е. Организация мониторинга состояния окружающей среды в военном

секторе/Экологические аспекты военной деятельности. – Сборник учебных материалов. – Вильнюс. – 2005. – С. 121-122.

Надійшла до редколегії 29.07.09

УДК 658.562

Б.П. Шохін, д-р техн. наук, проф.,
Т.Б. Твердушка, здобувач

КОНТРОЛЬ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОЦЕСІВ НА СТАДІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ

У статті розглядається методологія управління якістю процесів. На основі елементів прикладної статистики пояснюються основні інструменти контролю та управління якістю на стадії виробництва продукції.

Ключові слова: *якість, прикладна статистика,*

In the article the methodology of quality management of processes is considered. On the basis of elements of applied statistics the basic tools of the control and quality management a production stage is considered.

Keywords: *quality, the applied statistics.*

Вступ. В сучасних умовах найбільш ефективною моделлю управління якістю є модель Загального управління якістю (Total Quality Management – TQM), яка впроваджена та успішно реалізується в багатьох розвинутих країнах світу [1, 2, 3, 4, 7]. Оперативність процесу реагування на змінення ринку та створення продукції, яка задовольняє усі вимоги споживачів, можливе тільки в тому випадку, коли в процесі створення продукції активно та усвідомлено приймають участь усі зацікавлені сторони, як з боку замовника (споживача), так і з боку виробника (проектувальника).

Ідею перетворення післявоєнної японської економіки американський вчений Е.Демінг виклав в 14 постулатах [2]. Основна заслуга в розробці TQM належить Японії. Але цій теорії передували численні праці вчених, спеціалістів в галузі прикладної статистики, соціологів, психологів, такі як: Демінг, Кросбі, Джуран, Исикава та ін. Завдяки Джурану [4] контроль якості став інструментом управління.

Метою статті є аналіз досвіду розвинутих країн світу та елементів прикладної статистики, які є основою для формулювання основних інструментів контролю якості процесів та управління цими інструментами на стадії виробництва продукції.

1. Елементи прикладної статистики у процесі виробництва

В управлінні якістю статистичний контроль повинен доповнюватись застосуванням знань природних законів не тільки для розуміння об'єктів дослідження, але й для планування та реалізації заходів щодо покращення якості. Таким чином, статистичні методи контролю мають широке коло застосування. Використання статистичних методів являє собою достатньо дієвий шлях розробки нових технологій та контролю якості процесів.

Збір та обробка статистичних даних базується на застосуванні так званого вибіркового методу. *Вибіркою* є частина даних, які отримані із загальної сукупності даних, що мають назву – *генеральна сукупність*. Вибірка ретельно аналізується та на основі цих даних мають бути зроблені відповідні висновки стосовно генеральної сукупності.

Змінення зафіксованих значень випадкової величини може бути дискретним або безперервним. Так, дискретний розподіл описується звичайно або гіпергеометричним, або біноміальними, або пуассоновськими законами [5] в той же час, як для опису безперервної величини можуть бути застосовані, наприклад, закони Гауса та Вейбулла [6].

За величину інтервалу (його також можна називати *класом*), як правило, приймають його середину, тобто центральне значення. Кількість класів, на які слід групувати матеріал, не повинно бути занадто великим (10-20 класів, як показує практика) [7,8]. Ширина класу розраховується за формулою:

$$|x_i; x_{i+1}| = (x_{max} - x_{min}) / k, \quad (1)$$

де x_i, x_{i+1} – межі i -го класу; x_{max}, x_{min} – максимальне та мінімальне значення випадкової величини у ранжованому рядку; k – кількість класів.

У випадку неоднакової ширини класів краще використовувати не абсолютну величину m_i , а відносну, яка приходить на i -й клас, до загальної кількості спостережень n :

$$w_i = m_i / n, \quad (2)$$

Цю величину називають *відносною частотою*. Сума показників відносної частоти всіх інтервалів дорівнює одиниці або 100%.

Важливою характеристикою випадкової величини є середня арифметична величина, яка позначається через \bar{X} . Якщо в результаті n замірювань отримані значення x_1, x_2, \dots, x_n , то

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3)$$

У випадку статистичного рядку (коли значення параметру відповідає будь-яка частота) середня арифметична дорівнює:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i m_i, \quad (4)$$

де $n = \sum_{i=1}^k m_i$. В цьому випадку \bar{x} називають *середньою зваженою*.

При аналізі та контролі використовується також інші характеристики положення *медіана* та *мода*. Значення медіани (Me) розраховується за формулою:

$$Me = x_{i+1}, \quad (5)$$

при непарній кількості вимірювань $n=2i+1$;

$$Me = (x_i + x_{i+1}) / 2, \quad (6)$$

при парній кількості вимірювань $n = 2i$.

Різниця між найбільшими та найменшими значеннями випадкової величини є розмах R :

$$R = x_{max} - x_{min}, \quad (7)$$

Вибіркова дисперсія позначається через S^2 :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (8)$$

При наявності частот m_i :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 \cdot m_i}{n-1}. \quad (9)$$

Вибіркове стандартне відхилення розраховується:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (10)$$

Вибіркове стандартне відхилення при наявності частот:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot m_i}{n-1}}, \quad (11)$$

Відношення стандартного відхилення до середній арифметичній представлене в процентах називають коефіцієнтом варіації V :

$$V = (S / \bar{x}) \cdot 100, \quad (12)$$

Коефіцієнт варіації є безрозмірним та зручним для порівняння розсіяння випадкової величини з її середнім значенням.

Генеральне середнє арифметичне значення випадкової величини x , яке ми позначимо як $M(x)$, повинно бути враховане з "вагою", яка пропорційна ймовірності цього значення:

$$M(x) = \frac{X_1 p_1 + X_2 p_2 + \dots + X_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}, \quad (13)$$

або враховуючи, що $\sum_{i=1}^n p_i = 1$

$$M(x) = \sum_{i=1}^n x_i p_i.$$

При великій кількості значень при проведенні спостережень вибіркова середня, яка розраховується за формулами (3) та (4), наближується до математичного очікування.

Дисперсію випадкової величини x в генеральній сукупності, яку позначають через σ^2 та розраховують за формулами:

1) якщо значенні x_i в генеральній сукупності не повторюються,

$$\sigma^2(x) = \frac{\sum_{i=1}^n [M(x) - x_i]^2}{n}, \quad (14)$$

2) якщо значення x_i повторюється,

$$\sigma^2(x) = \frac{\sum_{i=1}^n [M(x) - x_i]^2 \cdot m_i}{n}, \quad (15)$$

де $n = \sum_{i=1}^k m_i$.

Важливим етапом, який передуює прийняттю рішення при управлінні процесом, є визначення закону розподілу величини, яка досліджується за вибірковими даними.

Гаусовський закон розподілу характеризується щільністю ймовірності

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \cdot e^{-[x - M(x)]^2 / (2\sigma^2)}, \quad (16)$$

Якщо поблизу a взяти малий інтервал Δx , то ймовірність того, що випадкова величина x потрапляє в цей інтервал:

$$p [a \leq x \leq a + \Delta x] = f(a) \Delta x, \quad (17)$$

При малих Δx права частина рівняння (17) представляє площину прямокутника зі сторонами $f(x)$ та Δx . Якщо обидві частини рівняння (17) розділити на Δx , то отримаємо ймовірність, яка припадає на одиницю довжини:

$$f(a) = \frac{p [a \leq x \leq a + \Delta x]}{\Delta x}, \quad (18)$$

Розглянемо закон розподілу, що дуже часто зустрічається на практиці, – це гаусовський закон нормально розподілу (рис. 1).

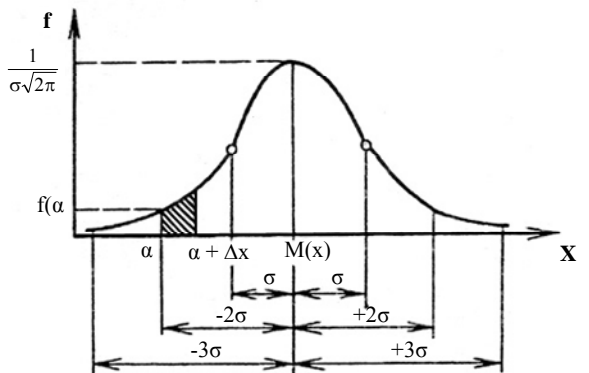


Рис. 1. Крива розподілу випадкової величини, підпорядкованої гаусівському закону

Максимальна ордината кривої (рис. 1) розподілу обернено пропорційна σ . Площина під кривою Гауса дорівнює 1 або 100% усіх значень випадкової величини в генеральній сукупності.

Якщо розглянути окремий випадок $M(x)=0$, а $\sigma=1$, то позначивши щільністю ймовірності через $f_0(x)$, то рівняння (16) можна записати:

$$f_0(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-x^2/2}, \quad (19)$$

Функція (19) легко табулюється [8,9].

Враховуючи, що вся площа під кривою гаусовського розподілу дорівнює 1, то значення щільності ймовірності буде відповідати одно-, двух- та трьохсигмовим границям (табл. 1).

Таблиця 1

Величина площини під кривою Гауса при різних границях змінення випадкової величини

Границі змінення випадкової величини x	Площина під кривою Гауса
Односигмові $[M(x) - \sigma; M(x) + \sigma]$	0,6827
Двосигмові $[M(x) - 2\sigma; M(x) + 2\sigma]$	0,9545
Трьохсигмові $[M(x) - 3\sigma; M(x) + 3\sigma]$	0,9973

На практиці ділянка, яка знаходиться всередині трьохсигмових границь, має назву зона статистичного допуску параметру якості відповідного виробу або процесу його виготовлення.

2. Сім основних інструментів якості процесів

Жодне керування якістю як продукту, так і процесу неможливе без використання вже існуючих статистичних методів.

Трудові процеси поділяються на прості та складні. *Простий трудовий процес* характеризується сукупністю трудових прийомів або функцій, які виконуються окремим працівником на робочому місці. *Складний трудовий процес* являє собою взаємодію всіх працівників підприємства, зайнятих виконанням своїх виробничих функцій.

Вдосконалення трудових процесів тісно пов'язане із впровадженням прогресивної технології та відповідної організації виробництва, а також повинно базуватися на використанні наукового аналізу та економічної оцінки варіантів, що розробляються. Для цього необхідно володіти науковими основами поділу та взаємодії технологічних та трудових процесів на єдиних методологічних принципах та використовувати для рішення проблем, що стосуються якості процесу, 7 традиційних методів, а саме:



Рис. 2. Сім інструментів контролю якості

Саме ці методи стандартизовані і рекомендуються для використання в роботі щодо підвищення якості (міжнародний стандарт ISO 9004 – 4: 1993). Суть зазначених методів полягає в наступному.

Контрольний листок – це інструмент для збору даних та автоматичного їх упорядкування з метою полегшення та подальшого використання зібраної інформації.

Він дозволяє відповісти на запитання: "Як часто трапляється визначена подія?". Саме контрольний листок дозволяє перейти від припущень до фактів. Для фіксації інформації необхідно зробити такі кроки:

- 1). Встановити якомога точніше ту подію, за якою вестиметься спостереження;
- 2). Визначити період, протягом якого буде вестися спостереження і збір даних про подію (тривалість періоду спостереження може коливатися від декількох годин до декількох тижнів);
- 3). Побудувати форму (таблицю), що має бути простою при заповненні і зрозумілою при її вивченні. У цій формі повинні бути чітко виділені графи і стовпчики, і має бути досить місця для внесення даних;
- 4). Провести спостереження за подією та фіксувати дані необхідно постійно і бажано через однакові проміжки часу.

Зібрані дані повинні бути однорідними, інформація фіксується за допомогою простих символів, потім складається таблиця сумарних відмовлень (табл. 2).

Таблиця 2

Загальна кількість відмовлень радіоелектронних засобів

По всіх моделях	Кількість відмовлень	Процентна частка
Інтегральні схеми	8	6,8
Конденсатори	77	65,2
Опірник	4	3,4
Трансформатори	8	6,8
Перемикачі	19	15,3
Засоби візуалізації	3	2,5
Всього:	119	100

Гістограма – це інструмент контролю якості, який застосовується в тих випадках, коли необхідно дослідити та представити розподіл значень вимірюваної величини за допомогою стовпчикового графіка.

Діаграма Парето представляє у вигляді стовпчикового графіка частоту прояву кожної з подій. Тому діаграма Парето має справу тільки з характеристиками продукції чи послуги: типами дефектів, проблемами, загрозою безпеці тощо. Гістограма, навпаки, має справу з вимірюваними даними (температура, вага, геометричні розміри тощо) та їх розподілом. При побудові діаграми зовсім не важливо, у якому порядку було проведено виміри, хоча багато повторюваних подій дають результати, що змінюються в часі. Приклади гістограм наводяться на рис. 3.

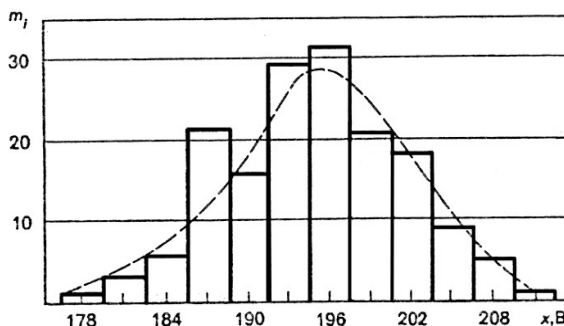


Рис. 3. Гістограма частот інтервального ряду розподілу

Гістограми можуть мати одну вершину. Однак не всі вони симетричні, тобто форма такого розподілу не завжди нагадує дзвін. Кількість стовпчиків на графіку гістограми в першу чергу визначається числом зроблених спостережень.

Якщо при дуже великій кількості спостережень на гістограмі з'являється не одна вершина, а дві, то це означає, що дані зібрано з двох чи навіть більше джерел.

Діаграма розсіювання (розкиду) – інструмент, який застосовується, коли потрібно з'ясувати наявність лінійного зв'язку між двома контрольованими параметрами. Тобто з'ясувати, як буде змінюватися одна змінна величина при зміні значень іншої.

Діаграма розсіювання в той же час не показує, яка перемінна є причиною, а яка наслідком. Тобто діаграма розсіювання відображає не тільки наявність лінійного зв'язку, але й тісноту цього зв'язку.

Діаграма розсіювання будується у такому порядку: по горизонтальній осі відкладаються виміри величин одної перемінної, а по вертикальній осі – іншої перемінної. На самому полі діаграми відзначається то-

чка, координати якої відповідають значенням першої і другої перемінної. Діаграми розсіювання являють собою деяку сукупність точок на графіку, яка дозволяє наочно показати характер змінення параметру якості в часі (рис. 4).

Проводиться бісектриса з початку координат. Якщо всі точки ляжуть на бісектрису, то це означає, що всі значення даного параметру не змінилися в процесі експерименту. Тому, фактор (або фактори), які розглядаються не впливають на параметр якості.

Якщо основна маса точок лежить під бісектрисою, то це означає, що значення параметру якості за минулий час зменшилося. Якщо точки знаходяться вище бісектриси (як на рис. 4), то значення параметру за минулий час збільшилося.

Можливі також численні варіанти скупчення точок, де чітко простежується пряма кореляція між x та y , зворотна (заперечна) кореляція між x та y , пряма або зворотна та відсутність кореляції.

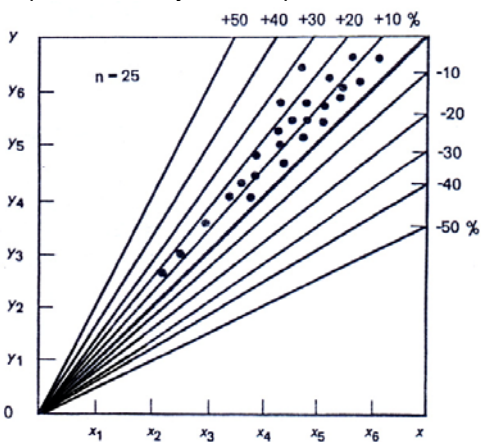


Рис. 4. Діаграма розкиду

Метод стратифікації (розширення даних) – інструмент, який дозволяє провести селекцію даних, яка відображає необхідну інформацію про процес.

У виробничих процесах часто використовується метод 5 М, який враховує фактори, що залежать від людини (man), машини (machine), матеріали (material), метод (method), вимірювання (measurement). Розширення здійснюється таким чином:

- розширення за виконавцями – кваліфікація, стать, стаж праці та ін.;
- розширення за машинами та обладнанням – нове обладнання, старе обладнання, марка, конструкції, виробник та ін.;
- розширення за методом виробництва – температура, технологічний прийом, місце виробництва та ін.;
- розширення за вимірюванням – метод вимірювання, тип та точність вимірювальних приладів та ін.

На практиці метод стратифікації використовується багаторазово. Так, наприклад, дані розширюються за різними ознаками та проводиться аналіз цих даних за допомогою діаграми Парето.

Діаграма Парето – інструмент, який застосовується, коли потрібно представити відносну важливість усіх проблем або умов з метою вибору відправної точки для вирішення проблем, простежити за їх результатом і визначити основну причину проблеми.

Діаграма Парето являє собою особливу форму вертикального стовпчикового графіка, що допомагає визначити наявність проблем, а також ступінь важливості кожної з них. Приклад діаграми Парето наводиться на рис. 5.

Це вже дозволяє визначитися з порядком їхнього рішення. Діаграми Парето, побудовані на основі даних, що містяться в контрольних листках або на інших формах обліку спостережень, допомагають привернути увагу і зусилля до дійсно важливих проблем. Що важливіша проблема, то більший

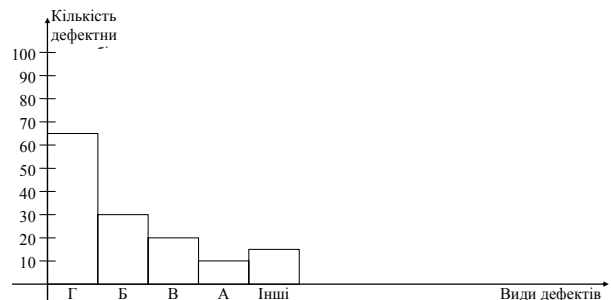


Рис 5. Зв'язок між видами дефектів та кількістю дефектних виробів

стовпчик, який зображує цю проблему. Можна досягти більшого ефекту, займаючись проблемою, зображеною найвищим стовпчиком, і не приділяючи увагу меншим стовпчикам. Далі наведено порядок побудови діаграми Парето.

- 1) Вибираються проблеми, які необхідно порівняти, і розташовуються в порядку їхньої важливості. Ступінь важливості тієї чи іншої проблеми визначається звітними документами (даними спостережень).
- 2) Визначається критерій для порівняння одиниць виміру (у натуральних чи вартісних характеристиках).
- 3) Визначається період часу для вивчення.
- 4) Групується дані по категоріях і порівнюються критерії кожної групи.
- 5) Категорії перелічуються зліва направо у порядку зменшення значимості критерію (причини). До останнього стовпчика внесіть категорії, що мають найменше значення.

Причинно-наслідкова діаграма (діаграма Ісікава або "риб'ячий кістяк") – інструмент, який дозволяє виявити найбільш суттєві фактори (причини), які впливають на кінцевий результат.

Застосовується тоді, коли потрібно дослідити і зобразити всі можливі причини визначених проблем та умов. Ця діаграма добре показує співвідношення між наслідком, результатом і всілякими причинами, що впливають на них. Наслідок, результат чи проблема позначаються на правій стороні діаграми, а головні дії або "причини" перелічуються на лівій стороні. Приклад причинно-наслідкової діаграми наводиться на рис. 6.

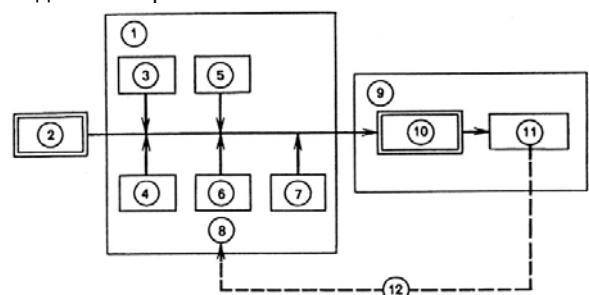


Рис. 6. Причино-наслідкова діаграма: 1 – система причинних факторів; 2 – основні фактори виробництва; 3 – матеріали; 4 – оператори; 5 – обладнання; 6 – методи операцій; 7 – виміри; 8 – процес; 9 – наслідок; 10 – параметри якості продукту; 11 – показники якості; 12 – контроль процесу за фактором якості

Порядок побудови причинно-наслідкової діаграми.

- 1). Процес побудови починається з опису обраної проблеми, а саме: у чому її особливості, де вона виникає, коли виявляється і як далеко поширюється.
- 2) Перелічуються причини, необхідні для побудови причинно-наслідкової. Для цього проводиться мозкова атака, на якій обговорюються всі можливі причини. Вона робиться без будь-якої попередньої підготовки;
- 3). Будується дійсна причинно-наслідкова діаграма.
- 4). Дається тлумачення всіх взаємозв'язків, що зображені прямими лініями. Для того, аби відшукати основні причини проблеми, виявляються причини, які часто повторюються.

Контрольна карта – це інструмент, який дозволяє відстежувати хід процесу та впливати на нього (за допомогою відповідного зворотного зв'язку), що допомагає попереджувати відхилення від поданих до процесу вимог.

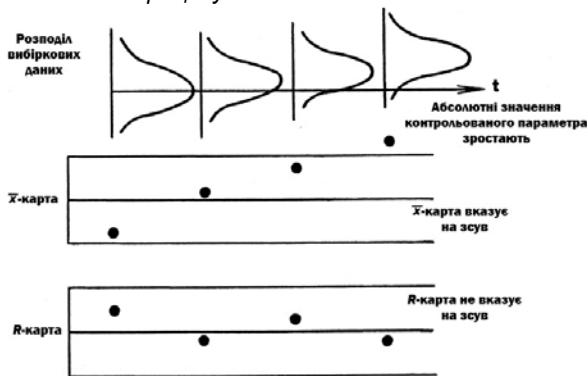


Рис. 7. Приклад контрольної карти (\bar{x} – R-карта)

Застосовується в тих випадках, коли необхідно встановити, скільки коливань у процесі викликається випадковими змінами і скільки через надзвичайні обставини або окремі дії, щоб визначити, чи піддається процес статистичному регулюванню.

Контрольна карта являє собою зображення тимчасового ряду зі статистично визначеними верхньою і нижньою межами. Ці межі наносяться по обидві сторони від середньої лінії процесу. Вони називаються "верхня контрольна межа" і "нижня контрольна межа". Приклад контрольної карти дається на рис. 7.

В певні періоди часу обирають (все підряд; вибірково; періодично з безперервного потоку і т.д.) n виготовлених виробів та вимірюють параметр, який контролюється.

Результати вимірювань наносять на контрольну карту, та в залежності від цього значення приймають рішення про корегування процесу або про продовження процесу без корегувань.

Оскільки відразу робиться припущення, що дана вибірка значень (використовуються дані часового ряду) добре апроксимується нормальним розподілом, то досить просто визначаються чисельні значення

цих контрольних меж. Для цього по дуже простих формулах визначаються параметри цього розподілу – математичне очікування і середньоквадратичне відхилення.

Цілями застосування контрольних карт можуть бути: виявлення некерованого процесу; контроль за керованим процесом; оцінювання можливостей процесу.

3. Управління якістю продукції

1. Факти на завжди є кількісними та якісними за своєю природою. Для прийняття управлінських рішень в цьому випадку необхідне знання операційного аналізу, теорії оптимізації та статистики. Союз японських вчених та інженерів (Union of Japanese Scientists and Engineers -JUSE) на основі перелічених наук розробив потужний та корисний набір інструментів, який дозволяє забезпечити ефективне управління якістю при аналізі різного роду фактів. Ці інструменти отримали назву сім інструментів управління якістю.

Використання закордонними підприємствами інструментів контролю та управління якістю продукції свідчить про те, що їх різноманіття є, з однієї сторони, показником виключної складності проблем якості, а, з іншої сторони, результатом безперервного пошуку найкращих рішень. Що ж робити українським виробникам сьогодні в умовах перехідної економіки для забезпечення конкурентоспроможності своєї продукції?

Для вітчизняних підприємств важливим аспектом є надання гарантії якості споживачам за допомогою стандартів ISO 9000, QS 9000, що зменшує ізолюваність організацій у спробах знайти власні оптимальні рішення. В майбутньому якість все більшою мірою буде визначати стратегію організації в умовах ринкової економіки. Різноманіття ефективних, добре відпрацьованих інструментів є благом для виробників продукції, оскільки надає їм можливість широкого вибору, виходячи з певних умов виробництва і поставлених перед організацією завдань.

Висновки:

1. Прикладна статистика є основою для формування інструментів королю якості процесів.

2. Інструменти управління якістю на стадії виробництва знаходяться в залежності від управління матеріальними та людськими ресурсами.

3. Сертифікація підприємств на основі стандартів систем якості ISO 9000 буде безперервно розвиватися як під впливом зовнішніх, так і внутрішніх факторів.

1. Версан В.Г. Интеграция управления качеством продукции: Новые возможности.-М.: Изд-во стандартов, 1994.
2. Современный эксперимент: подготовка, проведение и анализ результатов/ В.Г. Блохин, О.П. Глудкин, А.И. Гупов, М.А. Ханнин. Под ред. О.П. Глудкина –М.: Радио и связь, 1996.
3. Глудкин О.П., Гуров А.И., Зорин Ю.В. и др. Всеобщее управление качеством: Учеб. для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2001.
4. Деминг Э. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами/ пер. с англ. — М.: Издательство "Альпина Бизнес Бук", 2007.
5. Juran J.M. Managerial Break Through. — New York: Irvin McGraw-Hill, 1964.
6. Исикава К. Японские методы управления качеством. — М.: Экономика, 1988.
7. Rinne H., Mittag H.-J. Statistische Methoden der Qualitaetsicherung. — Muenchen: Hanser Verlag, 1989.
8. Siegel A. Practical Business Statistics. — New York: Irvin McGraw-Hill, 2002.
9. Шубенкова Е.В. Тотальное управление качеством: Учебное пособие. — М.: Издательство "Экзамен", 2005.

Надійшла до редколегії 23.06.09р