

РОЗГОРТАННЯ ФУНКЦІЇ ЯКОСТІ ПРИ МОДУЛЬНОМУ
СКЛАДАННІ ВИРОБІВ

Григор'єва Н.С. (Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна);
E-mail vil.shaba@gmail.com

Анотація. Представлена нова методика розгортання функції якості при модульному складанні виробів. Сутністю методики є побудова діаграми розгортання функції якості і на її основі отримання об'ємної матриці та схеми механізму формування окремих показників якості, що дозволяє визначити на окремих етапах модульного складання виробів необхідні витрати по показникам якості виробів, що аналізуються.

Ключові слова: функція, якість, модульність, складання, витрати.

1. Вступ. Відомо, що якість виробів закладається на етапі їх проектування та забезпечується під час виготовлення. При модульному складанні якість закладається також на етапі формування модулів виробу та модулів складального обладнання з оснащенням, що складаються з окремих функціональних модулів, і забезпечуються модульними складальними технологіями та організацією модульного виробництва. При цьому якість не може бути забезпечена одним контролем, хоча яким детальним він би не був, оскільки фіксуються досягнуті показники якості при даному виробництві, а не динаміка їх формування, тобто не відтворюються заходи по покращенню якості. З метою часткового усунення такого недоліку можна використати розгортання (розвиток, розкриття, розвертання) функції якості (РФЯ), котра визначає потреби і вимоги споживачів, які допомагають виробнику інтегрувати їх в конкретні плани підвищення якості виробів, процесів або послуг.

2. Аналіз публікацій. Розробки по РФЯ були здійснені в Японії в кінці 60-х років і вдосконалені в США. Поштовхом для розробки стала концепція загального управління якістю (*Total Quality Control*) [1]. Ідея полягала у розробці методу забезпечення якості продукції ще до її виготовлення. Для цього розроблялися діаграми «риб'ячого скелету», тобто причинно-наслідкові діаграми чи діаграми *Ісікави*. В подальшому була систематизована фактична якість за вимогами споживачів у вигляді функцій якості, а далі виявлена залежність між цими функціями і показниками якості. В кінцевому рахунку все було узагальнено, як РФЯ. Первинне РФЯ було дане *Фейгенбаумом* в 1961 році за всіма видами організаційної діяльності. А взагалі, то творцями РФЯ вважаються *Милзуно* та *Акао* [2]. Відомий і другий шлях зародження РФЯ, зв'язаний з функціонально-вартісним аналізом (*Value Engineering*), який розробив *Icixara* та показав спосіб визначення функції якості виробу.

Відомі функції втрати якості (*Loss Quality Function*) за *Ф.У.Тейлором* і *Г.Тагумі* [3], котрі дозволяють представляти відхилення від номіналу показника якості в грошовому еквіваленті (рис.1). Основою методології *Тейлора* було різке розмежування якості, що досягається при використанні прохідних і непрохідних калібрів, тобто є показник якості, наприклад, заданий розмір, або його немає. Це вже завідомо зауважуючи, не відповідає реальності зміни показників якості, але відповідало розвитку тогочасного виробництва. Більш реальна концепція *Г.Тагумі*, котра передбачає плавну зміну показників якості за параболою. Це квадратична функція, мінімум якої досягається при номінальному значенні показника. Головним положенням цієї методології є перехід від управління чисто допусками до управління по їх відхиленню від номіналу. Це потребує

цифрових показників якості та програмних методів обробки кількісних даних контролю за функцією втрат, що дозволяє відхилення від номіналу представляти в грошових витратах.

Головним в методології *Г. Тагуті* є підвищення якості виробів з одночасним зменшенням витрат, для чого проводиться їх сумісний аналіз. Витрати і якість зв'язані загальною характеристикою, котра називається функцією втрат якості. Функція втрат є параболою $L(x) = c(x - x_0)^2$, де x – вимірюване значення показника якості; $L(x)$ – значення функції втрат *Тагуті* в точці x ; c – коефіцієнт, який підбирається у відповідності з грошовою одиницею, що використовується при вимірюванні втрат, хоча також характер такої кривої залежатиме від природи конкретного показника якості. Припускається, що на вершині параболі втрати рівні нулю в точці найкращого значення номіналу. При віддаленні від номіналу втрати збільшуються і на межі поля допуску досягають свого найбільшого значення, тобто втрат від заміни неякісного виробу на якісний. При такому аналізі розглядаються втрати як виробника, так і споживача, в тому числі і незначні, що викликають розкид значень параметрів, які важко чи дорого змінити. Такі втрати можуть збільшити видатки виробництва на обслуговування, зменшити прибуток. Можна також всі діючі чинники розділити на основні та допоміжні, а в загальному методологію застосувати не тільки для контролю якості виготовленого виробу, а і при його проектуванні, що є особливо цінним.

Аналізуючи представлені РФЯ за *Ф. Тейлором* і *Г. Тагуті*, можна відмітити, що в них мова швидше всього іде не про зміну якості, а саме про фіксацію якості, яка може змінюватись стрибкоподібно чи плавно. В реальності всі показники якості виробів змінюються в часі криволінійно за виключенням систем саморегулювання, де стрибок є основним явищем.

Метою статті є аналіз РФЯ при модульному складанні різновидів виробів.

3. Основний зміст і результати роботи. Діаграма РФЯ, наведена на рис.2, охоплює всі етапи виготовлення виробу з його подальшою експлуатацією, починаючи від маркетингу і до експлуатації виробу, а також супутні витрати при цьому. РФЯ має можливість довільного розгортання як за етапами, так і витратами. В подальшому розгортання іде за окремими показниками якості.

Маркетинг повинен розглядатися як обґрунтована підстава створення конкурентоспроможного виробу, оскільки лише там можна встановити як сам об'єкт подальшої розробки, так і його потрібні якісні та витратні характеристики. Ланцюжок простий: на підставі інформації про подібні вироби після аналізу вимог споживачів проводиться вибір аналогів і прототипу, а також очікувані витрати, які понесе виробник. Очевидно, що якщо цей обсяг робіт буде виконаним неналежно, то організація випуску виробу може привести до поганих наслідків, в тому числі і можливого банкрутства.

При конструюванні виробів закладаються основи якості, а для отримання високої якості з мінімальними витратами необхідне використання сучасної методики моду-

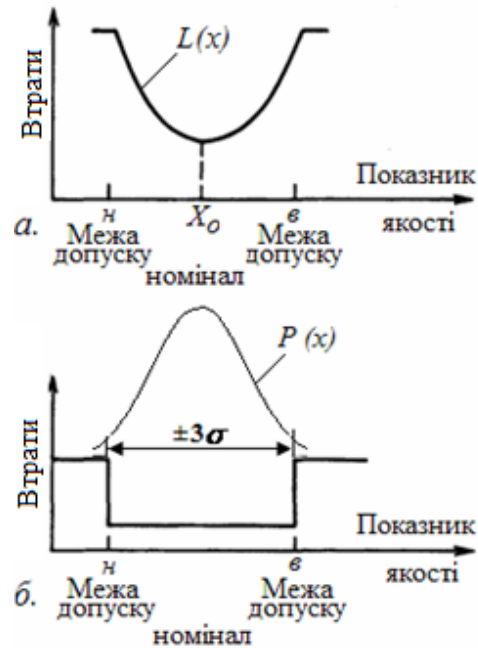


Рис.1. Функції втрати якості за *Г. Тагуті* (а) та *Ф. Тейлором* (б)

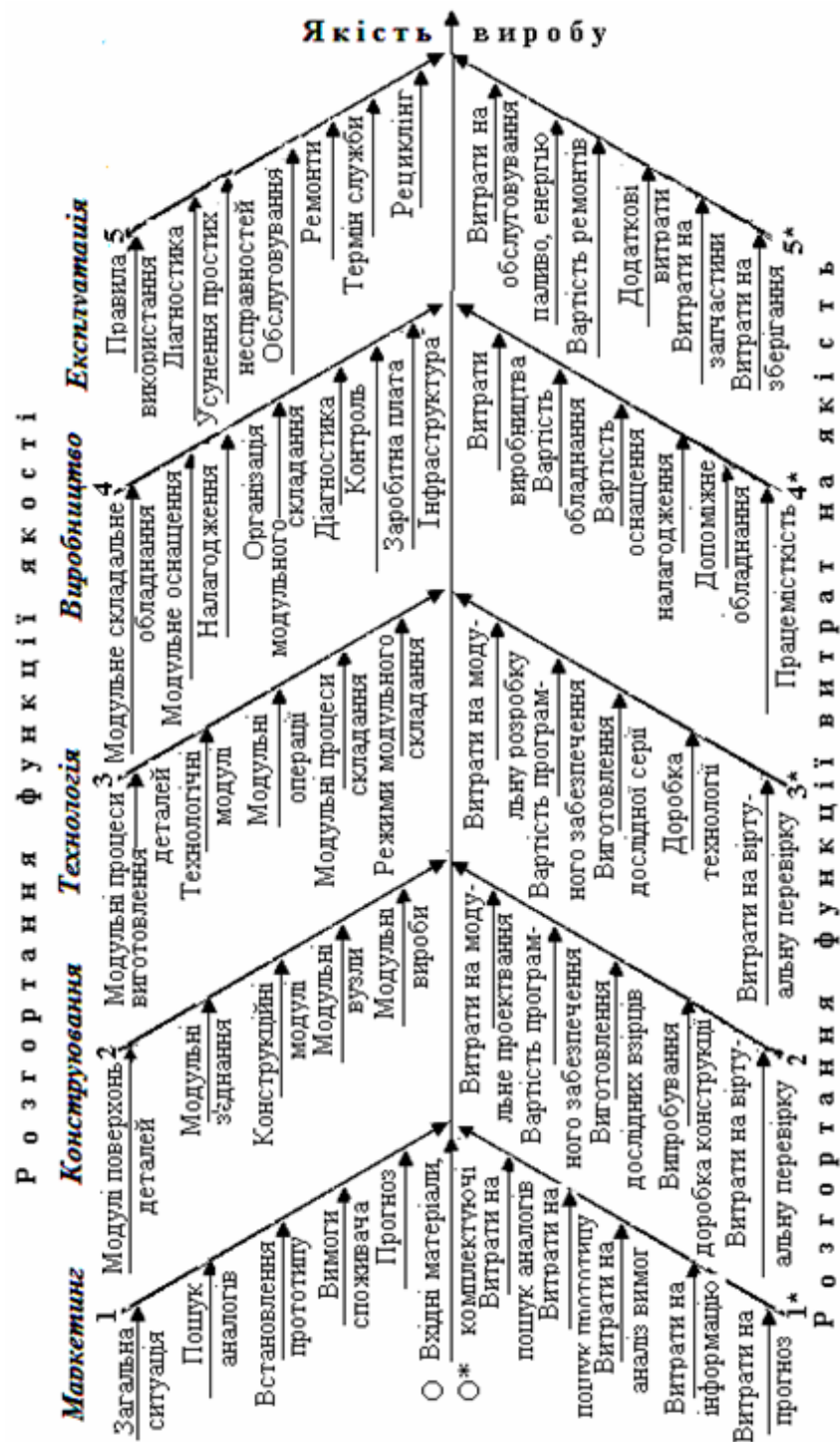


Рис. 2. Діаграма РФЯ при модульному складанні виробів

льного проектування [4], починаючи від встановлення форми і стану робочих поверхонь деталей, формування модульних з'єднань, конструкційних модулів аж до формування модульних виробів, в тому числі модульного обладнання з оснащенням. Цьому етапу відповідатимуть основні витрати на саме проектування, програмне забезпечення, виготовлення дослідних взірців, їх випробування та доробку модульних конструкцій.

Розробка модульної технології вимагає особливої методики [4]. Оскільки якість виробів залежить і від самих деталей, то обов'язковим є також розробка модульних процесів виготовлення деталей чи існуючих виробів, в яких і закладається частина ви-

трат. Якщо модульні процеси складання не використовуються, то формуються технологічні модулі, що формують модульні операції та процеси. Якщо ж технологічні модулі розроблені, то з них формується потрібний модульний процес складання та встановлюються оптимальні режими складання. Виконання зазначеного супроводжують необхідні витрати, які також необхідно конкретизувати. Наступним аналізується виробничий етап, який включає такі основні завдання: модульне складальне обладнання, оснащення, діагностику та контроль складання, організацію модульного складання та потрібну інфраструктуру. Вирішенню цих питань відповідають конкретні витрати.

На етапі експлуатації розробляються технічно та економічно обґрунтовані головні правила користування складеним виробом, проведення діагностики під час роботи, основні види обслуговування, рекомендації щодо виконання біжучих, середніх і капітальних ремонтів, забезпечення гарантованого терміну служби і рециклінгу. При цьому вказуються необхідні витрати на проведення необхідних робіт, потрібне паливо, енергію, вартість ремонтів, зберігання, виконання інших додаткових робіт, пов'язаних з особливостями самого виробу (зброя, ракети, літаки), тощо.

В подальшому *РФЯ* проводиться за окремими показниками. Схема розгортання та одержана

об'ємна матриця наведена на рис.3. Матриці розгортання функції витрат за етапами виготовлення W_{ij} розташовані фронтально об'ємної матриці і розгортаються вглиб її за окремими показниками якості, описуючи їх по кожному показнику, що відповідає її вертикальним фронтальним січенням. Поперечні матриці V_{ij} *РФЯ*, перпендикулярні фронтальним, описують витрати за окремими показниками якості. Горизонтальні матриці P_{ij} *РФЯ* описують показники якості, котрі досягаються на окремих етапах виготовлення. Горизонтальні січення вглиб об'ємної матриці відповідають окремим витратам.

Тоді матриця розгортання функції витрат за етапами виготовлення виробів представляється як

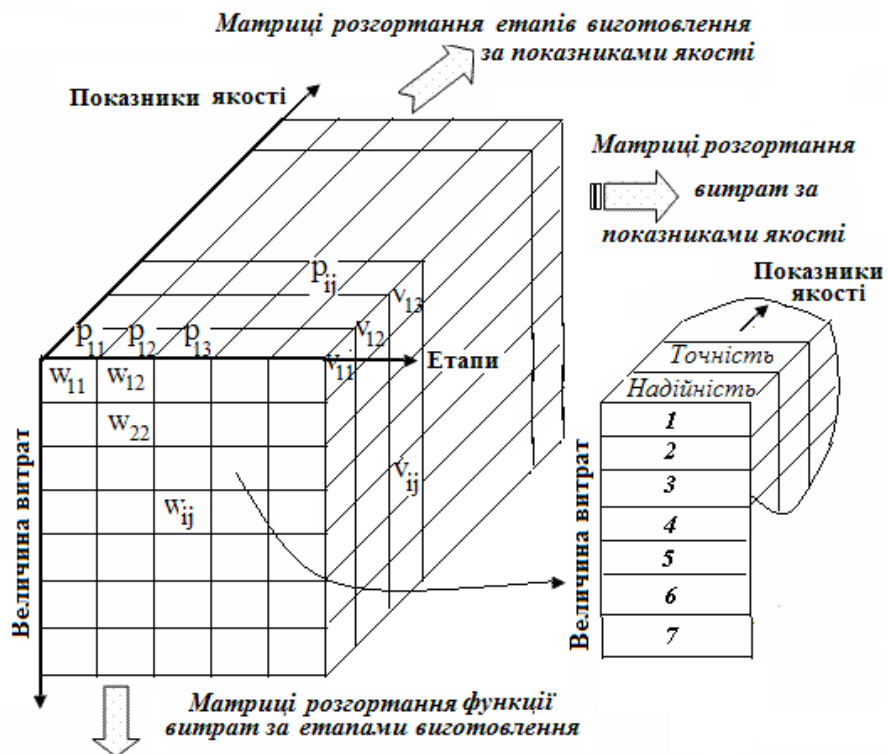


Рис. 3. Об'ємна матриця *РФЯ* при модульному складанні

$$W_{ij} = \begin{vmatrix} w_{11} & w_{21} & \dots & w_{15} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{71} & w_{72} & \dots & w_{75} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

де w_{ij} – витрати забезпечення показників якості по етапах виготовлення виробу.

Матриця розгортання функції витрат за показниками якості має вигляд

$$V_{ij} = \begin{vmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{71} & v_{72} & \dots & v_{7n} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

де v_{ij} – витрати на забезпечення показників якості за окремими показниками якості; n – кількість прийнятих для аналізу показників якості.

Матриця розгортання елементів етапів виготовлення за показниками якості

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{71} & p_{72} & \dots & p_{7n} \end{vmatrix}, \quad (3)$$

де p_{ij} – показники якості за етапами виготовлення.

З практичних міркувань для більш повного *РФЯ* слід встановити вплив і конкретні залежності між витратами на забезпечення окремих показників якості, тобто, які потрібно виконати роботи і які зробити витрати, щоб забезпечити чи підвищити той чи інший показник якості. Головні труднощі при заповненні описаних матриць полягають у визначенні окремих її елементів, а саме, розділення витрат за окремими показниками

якості на різних етапах виготовлення виробів. Тобто, необхідно чітко представляти, за рахунок чого відбувається підвищення вибраного показника якості і які витрати при цьому будуть. Необхідні роботи для підвищення окремого показника якості вимагають як знання функціональних і конструкційних особливостей конкретного виробу, так і володіння інноваційною методикою прийняття рішень. Але це може зробити виключно вузький висококваліфікований спеціаліст, якому відомий механізм фор-

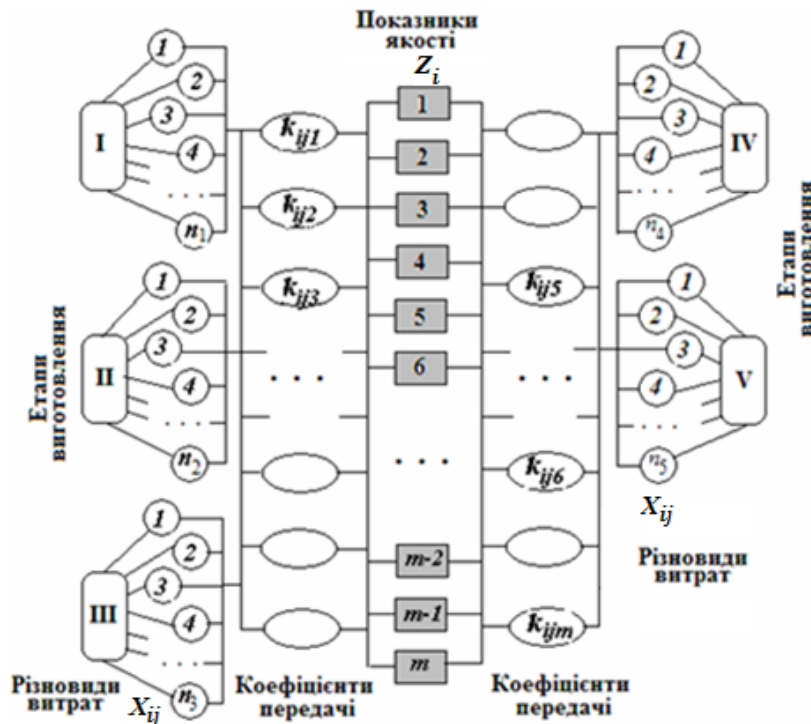


Рис. 4. Структурна схема формування якості виробів

мування та підвищення якості окресленої групи виробів і методикою інноваційних рішень. Наприклад, конструктор по зміні модульної конструкції елементів виробу, технолог по розробці модульної технології як обробки деталей виробу, так і модульного складання вузлів, виробів, виробничник по їх виготовленню, тощо. Інші спеціалісти такого завдання виконати не зможуть.

Структурна схема формування якості виробів розроблена на підставі теоретичних і експериментальних досліджень по проблемам якості (рис.4) враховує вплив п'яти основних груп входних змінних I-V з можливим подальшим розширенням – витрат на вихідні змінні, тобто окремі показники якості. Кожна така входна змінна x_i через коефіцієнти впливу (кореляції) k_{ijm} відображає потрібні витрати на досягнення цих показників якості z_i . При цьому враховується вплив кожної входної змінної x_i на всі показники якості z_i . Зрозуміло, що такий вплив буде різним, в тому числі не виключається нульовий або дуже незначний. Враховується також те, що показники якості виробу в більшості формуються до технологічного втручання, тобто під ставовим є якість основних і допоміжних матеріалів деталей, комплектуючих, тощо. Розроблена схема формування якості виробів повністю адекватна виробничому процесу їх виготовлення та наступній експлуатації. Показники якості також залежать від економіки, політики, можна сказати навіть від права і тому для повноти розгляду можна це враховувати.

На основі принципу суперпозиції кожна з змінних може розглядатися, як лінійна комбінація вказаних чинників і може бути записана матричним рівнянням $Z=K X$, або в розгорнутій формі як [5]

$$\begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{m1} & k_{m2} & \dots & k_{mn} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де n - кількість показників якості, $n = \sum_1^5 n_i$; k_{ij} - передавальні коефіцієнти впливу входних параметрів на вихідні, тобто коефіцієнти кореляції; x, z –вхідні та вихідні змінні параметри, які описують різновид витрат x на забезпечення показника якості z .

При такому підході покладається, що така система взаємозв'язку параметрів є лінійною, при якій описуються сталі статичні властивості. В дійсності така система в більшості випадків є нелінійною і принципу суперпозиції використати не можна. Але в певних межах зміни входних і вихідних змінних застосовується лінеаризація [5], тобто заміна нелінійних рівнянь лінійними

$$z_i = F_i(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_{i4}}) + \sum_1^k \left(\frac{\partial z_i}{\partial x_j} \right) (x_i - m_{x_j}), \quad (5)$$

де F_i - диференційовані функції зв'язку вихідних і входних змінних параметрів; m_{x_j} - математичні очікування похибок входних параметрів і перетворювальної системи; $\left(\frac{\partial z_i}{\partial x_j} \right)$ - значення часткових похідних після підстановки в них замість кожного аргументу його математичного очікування.

Тоді визначення витрат на покращення показника якості представляються як

$$x_k = \Delta^{-1} (\Delta_{1k} z_1 + \Delta_{2k} z_2 + \dots + \Delta_{nk} z_n) = \sum_1^n \Delta_{sk} z_s, \quad (6)$$

де Δ - визначник приведеної системи рівнянь; Δ_{sk} - алгебраїчні доповнення.

На практиці кількість показників якості Z_i є значно меншою, оскільки аналізується декілька показників, які необхідно покращити, що відповідатиме невеликій кількості витрат (рис.5). Це значно спрощує наведені загальні рівняння.

Для зменшення похибки розрахунку з-за впливу неврахованих чинників залежності змінних параметрів можуть бути описані краще рівнянням дисперсій

$$\begin{vmatrix} Dz_1 \\ Dz_2 \\ \vdots \\ Dz_m \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Dx_1 \\ Dx_2 \\ \vdots \\ Dx_n \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} k_{11}^2 & k_{12}^2 & \dots & k_{1n}^2 \\ k_{21}^2 & k_{22}^2 & \dots & k_{2n}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1}^2 & k_{n2}^2 & \dots & k_{nn}^2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} D^*x_1^2 \\ D^*x_2^2 \\ \vdots \\ D^*x_{1n}^2 \end{vmatrix}, \quad (7)$$

де Dx_i , Dz_i – відповідно дисперсії вхідних і вихідних змінних параметрів; D^*x_i – частка дисперсії, обумовлена впливом неврахованих чинників.

У цих рівняннях найбільш складним є матриці кореляційних коефіцієнтів, котрі можна розглядати як оператори лінійних перетворень вхідних змінних у вихідні. Елементами діагоналі є коефіцієнти кореляції основних чинників, а решта - перехресних. При відсутності зв'язку на відповідних місцях матриці проставляються нулі. Оскільки вид матриці визначає співвідношення між кількістю вхідних і вихідних змінних, то вони можуть

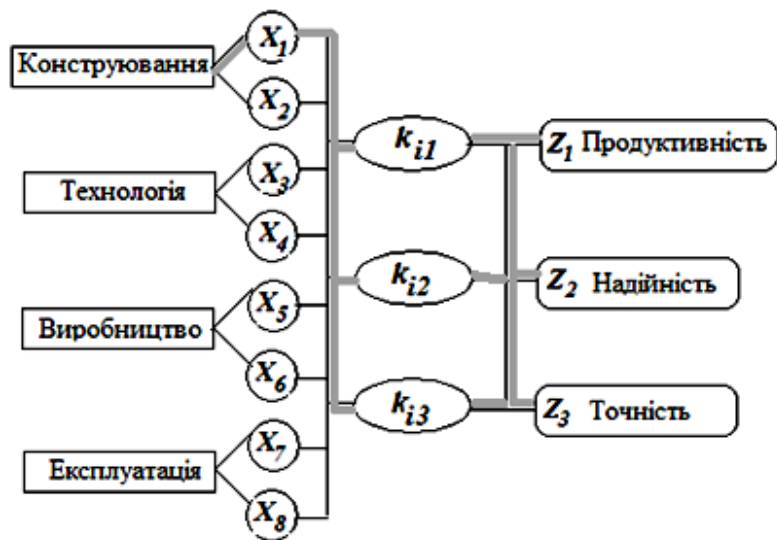


Рис. 5. Спрощена структурна схема формування якості виробу

бути також квадратними, рядковими чи діагональними. Визначення матриці полягає в знаходженні чисельних значень коефіцієнтів кореляції одним з двох способів [6]. Якщо функціональна залежність відома, то коефіцієнти розраховуються як часткові похідні, одержані диференціюванням функції від вхідних змінних. За другим способом визначення проводиться експериментально, з допущенням, що статистичним аналогом функціональних залежностей є рівняння множинної лінійної регресії. Опрацювання результатів виконується способом найменших квадратів чи парних кореляцій. Система рівнянь визначення коефіцієнтів регресії в матричній формі має вигляд $M = W \cdot Q$, де M – блочна матриця з кореляційними моментами $M_{z_j x_i}$, Q – те ж, але з елементами коефіцієнтів кореляції, W – квазидіагональна матриця. Тоді значення коефіцієнта регресії визначається як

$$k_{ij} = \Delta^{-1} \sum_{i,j=1}^n A_{x_j x_i} K_{z_j x_i}, \quad (8)$$

де n - загальна кількість спостережень; A_{xj} - алгебричне доповнення елементів $K_{z_j x_i}$ та визначника матриці Δ .

При умові незалежності між собою вхідних чинників формула спрощується

$$k_{ij}^* = r_{zixj} s_{zj} s_{xi}^{-1}, \quad (9)$$

де r_{zixj} - емпіричні коефіцієнти парної кореляції; s_{zj} , s_{xi} - емпіричні середньоквадратичні відхилення чинників перетворюючої системи.

Таким чином, на формування показників якості виробів впливають чинники, які описують необхідні витрати. Кероване формування цих показників в залежності від витрат може бути описано за допомогою матричних рівнянь, в яких кореляційна матриця описує взаємопов'язання окремих чинників за конкретним показником якості.

4. Висновок. Таким чином, виконані дослідження дозволили врахувати, задовільняти і реалізувати вимоги споживачів щодо якості виробів за рахунок *РФЯ*. При модульному складанні це можна провести за допомогою діаграми, яка розкриває взаємозв'язок між якістю та витратами на неї. На її основі складається об'ємна матриця, котра описує *РФЯ*, та схема формування окремих показників якості на етапах виготовлення виробів за необхідними витратами. Така схема є типовою і може бути використаною в інших галузях для організації випуску високоякісних виробів. При цьому, можна рішати як пряму, так і обернену задачу. Пряма задача полягає у визначенні витрат на забезпечення показників якості виробу, а обернена – встановлення за потрібними показниками якості необхідних витрат.

Список літератури: 1. Адлер Ю.П. Качество и рынок, или как организация настраивается на обеспечение требований потребителей. –Сб.: Поставщик и потребитель. - М.: РИА «Стандарты и качество». – 2000. – 128 с. 2. Всеобщее управление качеством: Учебник для вузов / О.П. Глудкин и др. / Под ред. О.П. Гудкина. - М.: Радио и связь, 1999. -600 с. 3. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. Совет К.В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Стандартизация и сертификация в машиностроении. Т. 1-5 / Г.П. Воронин и др. Под общ. ред. Г.П. Воронина, 2-е изд., доп. 2002. 672 с., ил. ISBN 5-217-03134-4. 4. Григор'єва Н.С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів: Монографія. – Луцьк: Надстир'я. 2008. -520 с. ISBN 978-966-517-618-3. 5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. -М.: Наука, 1986. 6. Математический аппарат инженера. Сигорский В.П. – Киев. «Техніка», 1975, - 768 с.

DEPLOYMENTS FUNCTION OF QUALITY AT MODULAR ASSEMBLAGE OF ARTICLES

Grigorieva N. (Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine).

Abstract: The new method of deployment function of quality is presented at the module assemblage of articles. Entity of method is a construction of diagram of deployment function of quality on its basis of construction by volume matrix and chart of mechanism forming of separate quality coefficient that allows defining on the separate stages making of articles necessary charges on the separate indexes of quality articles.

Keywords: function, quality, moduleness, assemblage, expenses, costs

РАЗВЕРТЫВАНИЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА ПРИ МОДУЛЬНОЙ СБОРКЕ ИЗДЕЛИЙ

Григор'єва Н.С. (Луцкий национальный технический университет, Луцк, Украина).

Аннотация: Представлена новая методика развертывания функции качества при модульной сборке изделий. Сущностью методики является построение диаграммы развертывания функции качества. На этой основе получение объемной матрицы и схемы формирования отдельных показателей качества, что позволяет определить на отдельных этапах модульной сборки изделий необходимые затраты на отдельные анализируемые показатели качества.

Ключевые слова: функция, качество, модульность, сборка, затраты.

Надійшла до редколегії: 24.01.2011.