

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ВИМОГАМИ ЗАМОВНИКА ТА ПОКАЗНИКАМИ ВИРОБУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ QFD ТА FUZZY LOGIC

© Бойко Тарас, Мельник Володимир, 2015

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Запропоновано алгоритм, який використовує розгортання функції якості для перетворення вимоги замовника на характеристики властивостей виробів, їх матеріалів, вимоги виробничих процесів, нормативних документів тощо. Алгоритм використовує також нечітку логіку для підвищення точності оцінювання вимог, оскільки забезпечує математичні операції із лінгвістичними змінними. Запропонована практична реалізація алгоритму на прикладі напірної поліетиленової труби для підземних газогонів. Сформовано структуру показників, що характеризують перелічені складові й можуть бути використані для діагностування готового виробу.

Ключові слова: алгоритм, розгортання функції якості, нечітка логіка, бенчмаркінг, кореляційні зв'язки.

Предложен алгоритм, который использует развертывание функции качества для преобразования требования заказчика в характеристики свойств изделий, их материалов, требования производственных процессов, нормативных документов и тому подобное. Алгоритм использует также нечеткую логику для повышения точности оценки требований, поскольку обеспечивает математические операции с лингвистическими переменными. Предложенная практическая реализация алгоритма на примере напорной полиэтиленовой трубы для подземных газопроводов. Сформирована структура показателей, характеризующих перечисленные составляющие, которые могут быть использованы для диагностики готового изделия.

Ключевые слова: алгоритм, функция развертывания качества, нечеткая логика, бенчмаркинг, корреляционные связи

Now for the developed countries of the world community is inherent to ensure quality by organizational and management measures, namely development, implementation, certification and continuous improvement of quality systems. Proceedings of the outstanding scientists of the twentieth century W. Shewhart, W. E. Deming, Joseph M. Juran (first introduced the concept of “quality control”), F. Crosby, K. Ishikawa, Armand V. Feigenbaum, H. Taguchi, T. Seyfi formed a modern strategy based on the application of quality management systems (QMS). Within an effective QMS in the company created an environment so that products could be of high quality.

In particular, the main criterion for evaluating the QMS is to have a continuous improvement process that should lead to greater customer satisfaction, apparently due to the continuous improvement of products, or, in other words, increase its quality. Therefore, the development of new methods of generating quality factors and their importance for evaluating the quality of products is an urgent task. Mixed-economic approach to forming index of products quality using standard economic “tools” for enhancing the competitiveness of enterprises, such as benchmarking, reverse engineering analysis and quality function deployment is proposed.

Overall benchmarking is the process of finding a standard or reference more cost effective enterprise-rival to compare with their own and adopting best practice. The essence of the present interpretation of benchmarking can be formulated as nonstop systematic search and implementation of best practices that will lead the organization to a more perfect form.

Therefore it is considered that benchmarking is an effective tool for determining the position of your company compared to others of a similar size and / or scope of activities and organizations. To elucidate the causes of advantages competitors perform the so-called reverse engineering analysis, which is also a form of benchmarking. The method is aimed at answering the following question – how to provide with high performance products? The results of

engineering analysis are also presented in the form of matrices that are recommended to be built separately for components, materials, methods of manufacture and assembly, although it complicates their comparison.

The weak point of engineering analysis is the lack of algorithm for continuous communication engineering parameters of the product with manufacturing operations and production requirements. This algorithm can be realized on the base of QFD (quality function deployment), in fact, it is a technology of engineering design products and processes for their manufacture and “converts” the wishes of consumers in the technical specifications of the product as well as process parameters of its production. Besides, QFD allows to assess the importance of consumer product options, linking them to the requirements of customers. Moreover consumers’ wishes are taken into consideration for their “transformation” into the measured parameters by using tools of qualimetry. The basis of the quality function deployment - QFD, or as it is called simultaneous engineering method is the use of a series of two-or even three-dimensional tables, matrices, so-called “houses of quality”. These matrices allow consumers to link requirements to the quality of the performance of the product, product performance link with characteristics of engineering components, component specifications link with manufacturing operations and production operations to the requirements of production. Thus, it is preferable to use four table-matrix. As a result, it can be stated that the method QFD provides:

- the relationship between the demands of consumers, product specifications, options of its functional subsystems and their components at all stages of development;*
- way of shifting consumer demands in a controlled set of features (most of this activity requires benchmarking) and requirements for manufacturing technology products.*

Key words: *algorithm, quality function deployment, fuzzy logic, benchmarking, correlation.*

1. Вступ. Встановлення зв'язку між структурою вимог замовника та структурою технічних вимог до виробу важливе для формування номенклатури показників цього виробу. Такий алгоритм можна зреалізувати методом розгортання функції якості (англ. QFD – quality function deployment) [1]. Метод QFD фактично є технологією інженерного проектування виробів і процесів їх виготовлення та “перетворює” побажання замовника або ринкові вимоги на технічні вимоги до виробу, а також технологічні параметри процесу його виробництва [2]. Окрім того, QFD дає змогу оцінити вагомість кожного показника, пов'язавши їх зі значущістю споживчих вимог. Метод ґрунтується на взаємодії між попитом і пропозицією, дослідженнями і розробками, маркетингом і виробництвом тощо та дає змогу врахувати потреби споживачів у інженерних рішеннях. Реалізація методу зазвичай відбувається в два етапи:

– етап 1 – формування атрибутів виробу чи послуги згідно з бажаннями споживача (англ. *customer attributes* – CA) з акцентом на роз'ясненні вимог споживача, від яких залежатимуть інженерні рішення. На цьому етапі опис бажаних характеристик виробу чи послуги здійснюється мовою споживача (англ. *voice of the customer* – VOC), наприклад, безпечний, надійний, прийнятний на дотик тощо. Необхідно, щоби опис був якомога ширшим і вираженим у позитивних категоріях, без побажань, яким виріб не повинен бути і

без порівняння з аналогом. Потім виконують так зване “звуження” опису, визначаючи, чи певний атрибут є критично необхідним, наприклад, належить до таких, які встановлені юридичними вимогами чи вимогами технічних регламентів; чи є важливою характеристикою, якій надається перевага; чи є додатковою властивістю, яку б варто було б забезпечити. Для “звуження” часто використовують рейтинг рис виробу, а саме визначення споживачем вагомості атрибуту порівняно з іншими атрибутами, вираженої числовою шкалою. Також щодо переліку атрибутів застосовують пошук відмінностей і конкурентних переваг певного виробу з використанням бенчмаркінгу (англ. *benchmarking*). Однак використання цього інструменту не повинно бути вирішальним, скоріше підтверджувальним;

– етап 2 – перетворення атрибутів споживачів на технічні атрибути (англ. *engineering attributes* – EA) так, щоби споживчі вимоги можна було адаптувати до вимог технічних умов, технологічних та виробничих параметрів. На цьому етапі характеристики, яких очікує споживач, виражені у формі якісних категорій, слід перевести в категорії кількісні. Наприклад, атрибут – “приємний на дотик”, можна виразити через шорсткість поверхні або щільність покривної тканини. Також значення певної конкретної властивості можна визначити, обчисливши покращення функціональності або через її вплив на ціну чи ефективність використання

ресурсів, вартість інвестицій тощо. Отже, на сформований споживачем список бажаних характеристик накладається ступінь потенційної прибутковості, економія часу чи ресурсів тощо.

Очевидно, що і на першому, і на другому з названих етапів необхідно залучати технічних експертів, завдання яких полягає, з одного боку, в ідентифікації, аналізі й оцінці нетехнічних атрибутів, а з іншого – у перетворенні нечітко заданих атрибутів на атрибути, придатні для математичного опрацювання. Для оптимізації експертної роботи використовують засоби нечіткої логіки (англ. *fuzzy logic*), так звані fuzzy-системи. Предметом нечіткої логіки є побудова моделей наближених міркувань людини і їх подальше використання у технічних системах. Застосування fuzzy-систем дає змогу:

- оперувати вхідними даними, заданими нечітко, які, наприклад, стало змінюються в часі або які неможливо задати однозначно;

- здійснити нечітку формалізацію критеріїв оцінювання і порівняння; оперувати критеріями “більшість”, “можливе”, “переважно” тощо;

- проводити якісне оцінювання як вхідних даних, так і отриманих результатів, оскільки оперують не власними значеннями даних, а їхнім ступенем вірогідності й розподілом;

- забезпечувати швидке моделювання складних динамічних систем і їхній порівняльний аналіз із заданим ступенем точності, оскільки не потрібно з'ясовувати точні значення змінних і складати рівняння, що їх описують, однак є змога оцінити різні варіанти набору початкових значень.

Найважливішим практичним застосуванням теорії нечітких множин є контролери нечіткої логіки. Їх функціонування дещо відрізняється від роботи звичайних контролерів; для опису системи замість диференціальних рівнянь використовуються знання експертів. Ці знання можуть бути виражені за допомогою лінгвістичних змінних, які описані нечіткими множинами.

Використання нечіткої логіки дасть змогу зробити алгоритм реалізації QFD точнішим, гнучкішим та полегшити його використання для експертів. Отже, мета роботи – розробити алгоритм розгортання функції якості, в якому для перетворення вимог замовника, виражених нетехнічною мовою, та для прогнозування рівня задоволення об'єктом застосовані контролери нечіткої логіки; подати приклад його застосування до певного конкретного виробу.

2. Алгоритм встановлення кореляційних зв'язків між вимогами замовника та характеристиками виробу.

На рис. 1 зображено процес формування структури показників для трьох порівнюваних між собою аналогічних об'єктів. Дослідивши ринок, встановлюють структуру вимог до об'єкта та оцінюють їх значущості для замовника, формують матриці даних, елементи яких порівнюють за окремими критеріями [3], щоб визначити, які об'єкти найповніше задовольняють вимоги замовника своїми показниками властивостей, а також – які показники найповніше характеризують вимоги замовника до об'єкта (тісно кореляційно зв'язані з вимогами). Перша матриця (рис. 1, а) в рядках міститиме вимоги до об'єкта, де в першому стовпці вказується ступінь їхньої значущості для замовника. Решта стовпців розділені на три частини: в лівій (1) – показники властивостей об'єкта, в середній (2) – аналогічні об'єкти, що конкурують, у правій (3) – додаткові коефіцієнти, що характеризують виробничу специфіку досліджуваного об'єкта.

У клітинках для показників записують ступінь взаємозв'язку між ними та вимогами замовника, який визначають експерти. Клітинки середньої частини матриці відображають рівень задоволення вимог замовника аналогічними об'єктами конкурентів. Для визначення рівня задоволення вимог використано нечіткий мікроконтролер, зображений на рис. 2. Його застосування значно полегшить експертну оцінку за рахунок використання лінгвістичних змінних та бази знань, отриманої із попередніх експертних оцінок, дозволить поєднувати різні характеристики в безрозмірних одиницях. Це також частково автоматизує процес оцінки. На рис. 2 видно, що на вхід подають три різнотипові характеристики зі своїми заданими межами значень та множинами, які описуються нетехнічною мовою, на виході ж отримуємо прогнозовану оцінку задоволення вимог замовника (споживача). Для коректної роботи контролера потрібно скласти правила, за якими він працюватиме. Для цього необхідно скласти систему правил, у якій перебиратимуться всі можливі поєднання множин і їхні результати. Всі ці розрахунки в межах нечіткого мікроконтролера можна проводити в програмі Matlab. Такий спосіб оцінки на основі нечіткого мікроконтролера є доволі зручним та гнучким.

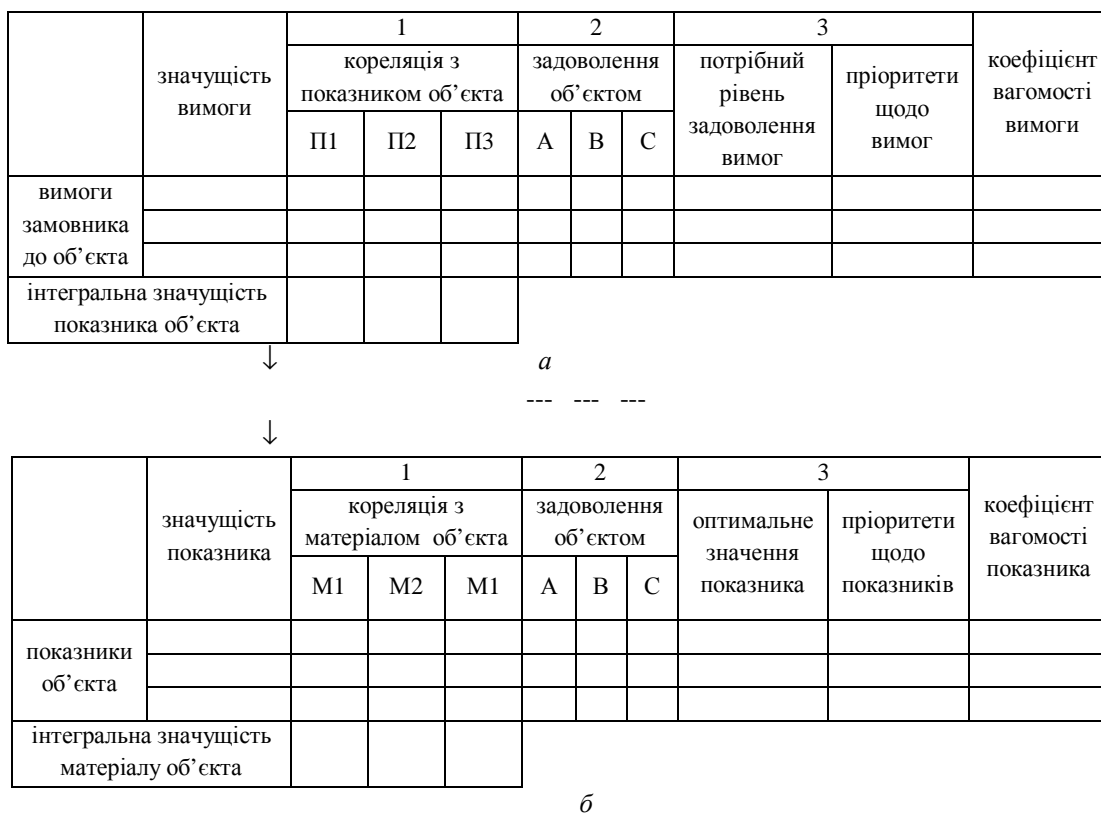


Рис. 1. Реалізація алгоритму формування структури показників для діагностування об'єктів

Fig. 1. Implementation of the algorithm of structuring parameters for diagnosing objects

X	X1	Назва змінної	ПЯ 1
		Терм-множина	
		Межі значень	
	X2	Назва змінної	ПЯ 2
		Терм-множина	
		Межі значень	
	X3	Назва змінної	ПЯ 3
		Терм-множина	
		Межі значень	
Y	Назва змінної	Рівень задоволення	
	Терм-множина		
	Межі значень		

Рис. 2. Загальний вигляд нечіткого мікроконтролера

Fig. 2. General view of the fuzzy microcontroller

Проаналізувавши результати, можна зробити висновок про переваги і недоліки об'єкта. На основі отриманої інформації встановлюють потрібний (порівняно з наявними) рівень задоволення вимог, що повинен забезпечувати об'єкт, та визначають ступінь поліпшення. Також вибирають ступінь пріоритетності вимог з погляду виробника (на яких вимогах замовника треба акцентувати). Все разом становитиме праву частину стовпців матриці.

Виконавши деякі перетворення в крайньому правому стовпці, отримують необхідний коефіцієнт вагомості вимоги, що характеризує ступінь її важливості з урахуванням погляду замовника, конкурентного стану об'єкта, потрібного рівня задоволення вимог та пріоритетів виробника.

На основі кореляційних зв'язків, зібраних у лівій частині матриці, розраховують інтегральну значущість кожного показника, відносні значення якої характе-

ризуватимуть показники, що будуть проаналізовані в наступній матриці. Наступна матриця (рис. 1, б) може бути реалізована як одно-, дво- або багатовимірною і будується, щоби з'ясувати, які, наприклад, матеріали або властивості матеріалів об'єкта забезпечуватимуть найкращу кореляцію з його показниками. В клітинках лівої частини матриці записують ступінь взаємозв'язку між показниками та матеріалами, який визначають експертним методом. В середній частині виконують порівняння об'єктів, що конкурують, за ступенем досягнення ними значень показників, зокрема тих, які найважливіші з погляду високої кореляції з вимогами споживачів.

У правій частині матриці встановлюють оптимальні значення за кожним показником об'єкта і визначають ступінь поліпшення, як це було зроблено в першій матриці для вимог замовників. В останньому

стовпці матриці записують коефіцієнти вагомості показників об'єкта з урахуванням значущості кожного показника, отриманого з першої матриці.

Результатом побудови другої матриці буде інтегральна значущість окремих властивостей матеріалів, з яких виготовляють об'єкт.

За потреби запропонований алгоритм може бути деталізований, розвинутий і доповнений іншими матрицями і застосуванням інших нечітких мікроконтролерів [4].

3. Приклад практичної реалізації запропонованого алгоритму. Розглянемо приклад побудови системи матриць для напірної поліетиленової труби, що застосовується для підземних газогонів, які транспортують горючий газ для промислового та комунально-побутового використання [5] (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця 1 для напірної поліетиленової труби

Table 1

Matrix 1 for pressure polyethylene pipe

Вимоги замовника	Значущість вимоги для замовника - W_{BC} , %	Кореляція з показниками виробу - r					Рівень задоволення вимог конкур. виробами			Для базового виробу				
		1. Овал перерізу в результаті екструзії	2. Неоднорідність товщини стінки	3. Відносне видовження при розриві	4. Зміна довжини після нагрівання	5. Термостабільність	Виробник В - S_B	Виробник С - S_C	Виробник D - S_D	Потрібний рівень задоволення вимог - P	Ступінь покращення - B	Пріоритет виробника щодо вимоги - A	Значення коефіцієнта вагомості	
													абсолютне - K	відносне - k , %
1. Стійкість до атмосферних впливів	4		3	3	1	3	4	2	2	4	1,00	1,3	5,2	23,5
2. Механічна міцність	3	1	3	9			3	3	2	3	1,00	1,0	3,0	13,5
3. Придатність до термічної обробки	5	3			9	9	3	2	5	5	1,67	1,1	9,2	41,4
4. Однорідність властивостей ділянок труби	3	9	9	1		1	3	4	2	4	1,33	1,2	4,8	21,6
Інтегральна значущість показника виробу - W_{IT}		3,33	3,06	2,14	3,96	4,64								
Ступінь значущості показника виробу - w_{IT} , %		19,4	17,9	12,5	23,1	27,1								

У матриці 1 встановлюємо відповідності між вимогами замовника і показниками виробу. В перших двох колонках записують вимоги у вигляді параметрів та відповідні оцінки їхньої вагомості для замовника. У наступному ряду клітинок записується ступінь взаємозв'язку між вимогами замовника і показниками виробу у вигляді коефіцієнтів кореляції, що визначають експерти. За споживчу вимогу, що формулюється як “механічна міцність”, відповідає передусім показник “відносне видовження при розриві” ($k=9$). З показником “неоднорідність товщини стінки” спостерігається середній зв'язок ($k=3$) і є слабка кореляція з показником “овал перерізу в результаті екструзії” ($k=1$).

Для визначення потрібного (очікуваного) рівня задоволення вимог у середній частині матриці подано рівень задоволення вимог замовника виробами-конкурентами В, С та D. Використовують нечіткий мікроконтролер, побудований на основі попередньо отриманої інформації від експертів, які встановлювали кореляційні зв'язки.

Нечіткий мікроконтролер оцінювання рівня задоволення показником “механічна міцність” матиме вигляд, зображений на рис. 3.

Використання такого нечіткого мікроконтролера дає змогу використовувати безрозмірну шкалу оцінювання для поєднання різнотипних технічних характеристик виробу для визначення (прогнозування) рівня задоволення вимог споживача (замовника). Розрахунки проводять у підпрограмі Fuzzy Toolbox математичного програмного пакета Matlab. Маючи таке наочне представлення нечіткого мікроконтролера, за допомогою вищезазначеного інструменту доволі просто оцінити рівень задоволення вимог. Кожен вхід детально характеризується змінними. Те саме стосується виходу контролера. Наступним кроком такого оцінювання є створення системи правил, за якими буде проводитися оцінка. Отримавши експертні оцінки вагомості нетехнічних характеристик для споживачів та кореляційні зв'язки між ними та технічними показниками виробу, складають систему правил із урахуванням всієї інформації. Така система дозволяє автоматизувати роботу експертів. Після складання системи можна починати розрахунок. Вводимо вхідні дані в створений мікроконтролер і на виході отримуємо оцінку рівня задоволення (її модель, прогноз). Отриманий результат записуємо у відповідні колонки матриці. Аналогічно розраховуємо оцінку рівня задоволення для інших показників.

X	X1	Назва змінної	Овал перерізу
		Терм-множина	
		Межі значень	
	X2	Назва змінної	Неоднорідність товщини стінки
		Терм-множина	
		Межі значень	
	X3	Назва змінної	Відносне видовження при розриві
		Терм-множина	
		Межі значень	
Y	Назва змінної	Рівень задоволення	
	Терм-множина		
	Межі значень		

Рис. 3. Нечіткий мікроконтролер “механічна міцність”

Fig. 3. Fuzzy microcontroller “mechanical strength”

Оцінки є початковими даними для побудови правої частини матриці, яка формується на основі розрахунків. Для цього вибирається базовий виріб, потрібний рівень задоволення вимог, який повинен забезпечити виріб, і ступінь покращення. Ступінь покращення B розраховується як відношення потрібного рівня – P задоволення конкуруючим виробом вимог до наявного – S .

Нехай базовим прийнято виріб виробника – B ; за першою вимогою, якою є стійкість до атмосферних впливів, ступінь покращення знаходять як

$$B_1 = P_1 / S_B = 4/4 = 1,00.$$

Аналогічно розраховані ступені покращення за всіма вимогами замовника мають, відповідно, значення – $B_2=1,00$; $B_3=1,67$; $B_4=1,33$.

Абсолютне значення коефіцієнта вагомості K визначається як добуток значущості вимоги для замовника – W_{BC} , ступеня покращення – B , а також “акценту” виробника на певній вимозі замовника – A . За першою споживчою вимогою абсолютне значення коефіцієнта вагомості таке:

$$K_1 = W_{BC1} \cdot B_1 \cdot A_1 = 4,00 \cdot 1,00 \cdot 1,30 = 5,20.$$

Аналогічно розраховані абсолютні значення коефіцієнтів вагомості за рештою вимог замовника – $K_2=3,00$; $K_3=9,17$; $K_4=4,80$.

В останній колонці записують відносні значення коефіцієнтів вагомості – k , як відношення абсолютного значення окремого коефіцієнта до суми абсолютних значень коефіцієнтів за всіма споживчими вимогами.

Отже, відносний коефіцієнт вагомості за першою вимогою замовника досліджуваного виробу отримуємо з виразу

$$k_1 = K_1 / (K_1 + K_2 + K_3 + K_4) \times 100 \% = \\ = 5,20 / (5,20 + 3,00 + 9,17 + 4,80) \times 100 \% = 23,46 \%$$

Для інших вимог споживача маємо такі значення: $k_2 = 13,53 \%$; $k_3 = 41,36 \%$; $k_4 = 21,65 \%$.

Інтегральну значущість кожного окремого показника шукають як суму добутків кореляційних зв'язків r та відносних значень коефіцієнтів вагомості кожної з вказаних вимог, а саме

$$W_{П1} = r_{11}k_1 + r_{21}k_2 + r_{31}k_3 + r_{41}k_4 = 0 \times 0,2346 + 1 \times 0,1353 + 3 \times \\ \times 0,4136 + 9 \times 0,2165 = 3,325$$

Аналогічно – $W_{П2} = 3,058$; $W_{П3} = 2,138$; $W_{П4} = 3,957$; $W_{П5} = 4,643$.

Абсолютні значення значущості кожного окремого показника виробу аналогічно до коефіцієнтів вагомості споживчих вимог нормалізуються і виражаються як ступінь значущості, який для першого показника знаходять як:

$$w_{П1} = W_{П1} / (W_{П1} + W_{П2} + W_{П3} + W_{П4} + W_{П5}) \times 100 \% = \\ = 3,325 / (3,325 + 3,058 + 2,138 + 3,957 + 4,643) \times 100 \% = 19,42 \%, \\ \text{а також для всіх інших показників – } w_{П2} = 17,86 \%; \\ w_{П3} = 12,49 \%; w_{П4} = 23,11 \%; w_{П5} = 27,12 \%$$

Отриманий у крайньому правому стовпці коефіцієнт кількісно характеризує вагомість вимоги споживача, наприклад, “стійкість до атмосферних впливів” – $k = 23,5 \%$, з позицій її важливості для споживача, конкурентного стану виробу, і, відповідно, планованого рівня властивостей та пріоритетів виробника.

Інтегральна значущість, і відтак ступінь значущості для кожного показника діагностування трансформує кількісну інформацію про споживчі вимоги в пріоритети характеристик властивостей виробу, що безпосередньо пов'язані з характеристиками властивостей матеріалу, з якого він виготовлений.

Для того, щоб зрозуміти, які характеристики властивостей матеріалу виробу відповідають за ці показники, будується друга матриця (табл. 2).

В нашому випадку друга матриця повинна описувати взаємозв'язок між показниками “Овал перерізу в результаті екструзії”, “Неоднорідність товщини стінки”, “Відносне видовження при

розриві”, “Зміна довжини після нагрівання” “Термостабільність” та властивостями поліетилену, з якого виготовлений виріб, а саме “Густина”, “Текучість розплаву”, “Масова частка летких речовин”, “Вміст сажі”. У правій частині матриці виконують порівняння конкуруючих виробів за рівнем досягнення значень показників і визначають ступінь покращення, як це зроблено в першій матриці для вимог споживачів. Як значущість показників виробу $w_{П}$ використовують аналогічні характеристики, отримані з першої матриці (див. табл. 1).

Для досліджуваного виробу ступені покращення $B_1 = 1,00$, $B_2 = 3,00$; $B_3 = 3,00$; $B_4 = 1,67$. Коефіцієнти вагомості мають, відповідно, такі значення: абсолютні – $K_1 = 0,1942$, $K_2 = 0,3088$; $K_3 = 0,1499$; $K_4 = 0,1638$; $K_5 = 0,4982$ та відносні – $k_1 = 14,77 \%$, $k_2 = 23,48 \%$; $k_3 = 11,40 \%$; $k_4 = 12,46 \%$, $k_5 = 37,89 \%$.

Фактично на цьому етапі завдання дослідження досягнуті, оскільки для всіх показників визначено коефіцієнти вагомості. Додатково, за умови отримання фактичних значень показників та прийнятої функціональної залежності, що їх пов'язує, можна отримати комплексний показник якості для кожної з досліджуваних систем і виконати порівняння їх якісних рівнів.

Супутнім результатом побудови другої матриці, необхідним для подальшої реалізації алгоритму, є значущість показників матеріалу виробу, які мають такі абсолютні значення – $W_{M1} = 2,677$, $W_{M2} = 5,295$, $W_{M3} = 3,917$, $W_{M4} = 0,7245$ та відносні $w_{M1} = 21,22 \%$, $w_{M2} = 41,98 \%$; $w_{M3} = 31,05 \%$; $w_{M4} = 5,74 \%$ значення. Зокрема, подальша розбудова матриць може стосуватися пошуку взаємозв'язків між названими матеріалами і властивостями їх компонентів, наприклад, модулем пружності та горючістю.

Потім будують матрицю взаємодії параметрів компонентів з виробничими операціями, далі між виробничими операціями і вимогами виробництва. Кінцевим результатом кожної матриці є інтегральні значущості досліджуваних показників властивостей, отже, визначені на першому етапі коефіцієнти вагомості вимог замовника проходять через весь аналіз та забезпечують взаємозв'язок всіх матриць.

Таблиця 2

Матриця 2 для напірної поліетиленової труби

Table 2

Matrix 2 for pressure polyethylene pipe

Показники	Значущість показника – w_{PI} , %	Кореляція з властивостями поліетилену – r				Рівень досягнення показників конкуруючими виробами			Для базового виробу				
		1. Густина	2. Текучість розплаву	3. Масова частка легких речовин	4. Вміст сажі	Виробник В – S_B	Виробник С – S_C	Виробник D – S_D	Оптимальне значення показника – P	Ступінь покращення – B	Пріоритет виробника – B щодо вимоги замовника	Значення коефіцієнта вагомості	
												абсолютне – K	відносне – k , %
1. Овал перерізу в результаті екструзії	19,4	3	9	1	1	4	3	2	4	1,00	1,0	0,19	14,8
2. Неоднорідність товщини стінки	17,9	3	9	1	1	3	2	4	4	1,33	1,3	0,31	23,5
3. Відносне видовження при розриві	12,5	9	3		3	3	3	2	3	1,00	1,2	0,15	11,4
4. Зміна довжини після нагрівання	23,1	1	3	1		3	2	5	5	1,67	1,1	0,16	12,5
5. Термостабільність	27,1	1	3	9		3	2	5	5	1,67	1,1	0,50	37,9
Інтегральна значущість показника матеріалу виробу – W_M	2,68	5,30	3,92	0,72									
Ступінь значущості показника матеріалу виробу – w_M , %	21,2	42,0	31,1	5,7									

Висновки. Отже, у статті розглянуто метод розгортання функції якості та використання нечітких мікроконтролерів, який дає можливість пов'язати результати ринкових досліджень та вимоги замовника з характеристиками властивостей виробів, властивостями їх матеріалу, відтак виробничими процесами.

Реалізація алгоритму забезпечує можливість:

- порівнювати вироби різних виробників, причому в двох або навіть чотирьох площинах – стосовно задоволення вимог споживачів, досягнення їхньою продукцією високих значень показників якості, використання передових матеріалів та компонентів, а також досягнення високих значень характеристик виробничих процесів;

- враховувати плановані перспективні значення, що стосуються рівня задоволення вимог споживачів, поліпшення самого виробу та досягнення ним необхідного якісного рівня;

- поєднувати власні пріоритети виробника з пріоритетами і вимогами системи технічного регулювання;

- чітко визначати шлях перенесення споживчих вимог у сукупність показників якості виробу, ПЯ в сукупність властивостей матеріалів, а сукупність властивостей матеріалів – у вимоги виробництва виробу;

- для оцінювання чи прогнозування вимог споживачів можна використовувати лінгвістичні змінні, що полегшує роботу експертів. Також розрахунок є доволі гнучким за рахунок різноманітності математичного апарату нечіткої логіки;

- використання нечітких мікроконтролерів дає змогу автоматизувати частину процесу прогнозування рівня задоволення об'єктом.

1. Салливан Л. П. Структурирование функции качества / Л. П. Салливан // Курс на качество. – 1992. – № 3, 4. – С. 156–177. 2. Пустов Л. Ю. Обзор современных методик сравнения конкурирующих систем при разработке новых продуктов / Л. Ю. Пустов [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.metodolog.ru/00919/00919.html>.

3. Бойко Т. Г. Алгоритм інтегрованого формування показників властивостей та їх коефіцієнтів вагомості для кваліметричного оцінювання продукції / Т. Г. Бойко // *Якість технологій – якість життя: II Міжнар. наук.-практ. конф. 15–19 вересня 2010 р.: тези доповіді.* – Харків–Судак, 2010. – С. 46–47.
4. Леоненков А. В. *ИИ47 Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.* – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.: ил. ISBN 5-94157-087-2.
5. Хайзер Д. Р. Дом качества / Д. Р. Хайзер, Д. Клозинг // *Курс на качество.* – 1992. – № 1. – С. 85–102.
6. Бойко Т. Г. *Формування теоретичних та нормативно-технічних засад оцінювання якісного рівня продукції: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.01.02 / Т. Г. Бойко; [Національний університет "Львівська політехніка"].* – Львів, 2010. – 34 с.
7. Трубы из полиэтилена для газопроводов. *Технические условия: ГОСТ Р 50838-95.* – [Чинний від 1997-07-01, зі змінами 2008-07-15]. – М.: ФГУП "Стандартинформ", 2006, – 23 с. (Державний стандарт Російської Федерації).