

УДК 658.562

## ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ГТС НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗГОРТАННЯ ФУНКЦІЇ ЯКОСТІ

Ю. В. Воліховський<sup>1</sup>, Т. Г. Бойко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Управління магістральних газопроводів «Львівтрансгаз»;  
вул. Рубчака, 3, м. Львів, 79026. E-mail: volihovski@ltg.lviv.ua

<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»;  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013. E-mail: tgbo@ukr.net

*Запропоновано алгоритм поєднання сукупності складових, від яких залежать високоякісні властивості готових виробів. В процесі розбудови алгоритм трансформує вимоги замовника у характеристики властивостей виробів, їх матеріалів, вимоги до виробничих процесів, нормативних документів тощо. Запропонована практична реалізація алгоритму на прикладі напірної поліетиленової труби для підземних газогонів. Сформовано структуру показників, що характеризують перелічені складові і можуть бути використані для діагностування готового виробу*

Ключові слова: якість, діагностування, газопровід

*Предложен алгоритм сочетания совокупности составляющих, от которой зависят высококачественные свойства готовых изделий. В процессе построения алгоритм трансформирует требования заказчика в характеристики свойств изделий, их материалов, требования к производственным процессам, нормативным документам и тому подобное. Предложена практическая реализация алгоритма на примере напорной полиэтиленовой трубы для подземных газопроводов. Сформирована структура показателей, характеризующих перечисленные составляющие, которые могут быть использованы для диагностирования готового изделия*

Ключевые слова: качество, диагностирование, газопровод

*Algorithm of unifying a totality of components influencing the high quality properties of commodity is suggested. In the process of development, the algorithm transforms the requirements of a customer into product property characteristics, material characteristics, the requirements of industrial processes and normative documents. The practical realization of the algorithm as concerning a pressure polythene tube meant for underground areas is proposed. The structure of indices characterizing the enumerated components, and capable of being employed for diagnosing a ready product is developed.*

Keywords: quality, diagnosing, underground areas

### Вступ

Під час формування структури показників для діагностування об'єктів газонафтотранспортної системи (далі – об'єктів) важливим є забезпечення неперервного алгоритму зв'язку між структурою вимог замовника та структурою технічних вимог до об'єкта. Такий алгоритм можна зреалізувати в методі QFD (quality function deployment) [1], що, фактично, є технологією інженерного проектування виробів і процесів їх виготовлення та «перетворює» побажання замовника або ринкові вимоги в технічні вимоги до виробу, а також технологічні параметри процесу його виробництва [2]. Окрім того QFD дає можливість оцінити ступінь важливості (вагомості) показників, пов'язавши їх зі значимістю споживчих вимог. Причому враховується та особливість, що побажання замовника отримуються за результатами опитування і можуть бути виражені побутовою, нетехнічною мовою. Для їх «перетворення» в оцінювані параметри застосовують інструменти кваліметрії [3], наприклад ранжування.

Отже, метою роботи є розробити вказаний алгоритм та подати приклад його застосування до певного конкретного об'єкту газонафтотранспортної системи (ГТС).

**Алгоритм формування структури показників**

Процес формування структури показників для трьох порівнюваних між собою аналогічних об'єктів ілюструє рис. 1.

Після ринкових досліджень, укладання структури вимог до об'єкта та оцінювання їх значимості для замовника формуються матриці даних, елементи яких порівнюють за окремими критеріями [4] з метою визначити – котрий з об'єктів найповніше задовольняє вимоги замовника своїми показниками властивостей, а також – які показники найповніше характеризують вимоги замовника до об'єкта (є в тісному кореляційному зв'язку з вимогами).

Перша матриця (рис. 1,а) в рядках міститиме вимоги до об'єкта, де в першому стовпці вказується ступінь їхньої значимості для замовника. Решта стовпців розділені на три частини: в лівій (1) – показники властивостей об'єкта, в середній (2) – аналогічні конкуруючі об'єкти, в правій (3) – додаткові коефіцієнти, що характеризують виробничу специфіку досліджуваного об'єкта.

	значимість вимоги	1			2			3		коефіцієнт вагомості вимоги
		кореляція з показником об'єкта			задоволення об'єктом			потрібний рівень задоволення вимог	пріоритети щодо вимог	
		П1	П2	П3	А	В	С			
вимоги замовника до об'єкту										
інтегральна значимість показника об'єкту										

↓  
a  
--- --- ---

	Значимість показника	1			2			3		коефіцієнт вагомості показника
		кореляція з матеріалом об'єкта			задоволення об'єктом			оптимальне значення показника	пріоритети щодо показників	
		М1	М2	М1	А	В	С			
показники об'єкта										
інтегральна значимість матеріалу об'єкта										

б

**Рисунк 1 – Реалізація алгоритму формування структури показників для діагностування об'єктів ГТС**

В клітинках для показників записують ступінь взаємозв'язку між ними та вимогами замовника, який визначають експертним шляхом. Якщо кореляція відсутня, клітинку залишають порожньою. Клітинки середньої частини матриці відображають рівень задоволення вимог замовника аналогічними об'єктами конкурентів. Причому порівняння виконують не, як це переважно відбувається, за рівнем технічних параметрів, а за ступенем задоволення вимог кожним з порівнюваних об'єктів. Необхідну інформацію теж отримують шляхом опитування і заносять в матрицю у вигляді бальних оцінок.

Аналіз результатів дає можливість зробити висновок про переваги і недоліки об'єкта. На основі отриманої інформації встановлюють потрібний (в порівнянні з існуючим) рівень задоволення вимог, що повинен забезпечуватися об'єктом, та визначають ступінь поліпшення. Також вибирають ступінь пріоритетності вимог з погляду виробника (на яких вимогах замовника слід акцентувати увагу). Все разом становитиме праву частину стовпців матриці.

Після проведення ряду перетворень в крайньому правому стовпці отримують необхідний коефіцієнт вагомості вимоги, що характеризує ступінь її важливості з врахуванням погляду замовника, конкурентного стану об'єкта, потрібного рівня задоволення вимог та пріоритетів виробника.

Далі, на основі кореляційних зв'язків, зібраних в лівій частині матриці, розраховують інтегральну значимість кожного показника, відносні значення якої характеризуватимуть 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 забезпечуватиме найкращу кореляцію з його показниками (паралельно можна реалізувати взаємозв'язки показників і технологічних процесів та ін.). В клітинках лівої частини матриці записують ступінь взаємозв'язку між показниками та матеріалами, який визначають експертним шляхом. В середній частині виконують порівняння конкуруючих об'єктів за ступенем досягнення ними значень показників, зокрема тих, які є найважливіші з погляду високої кореляції з вимогами споживачів.

В 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. На цьому етапі слід також визначати пріоритетність показників враховуючи вимоги чинних нормативних документів, що регламентують нормовані значення показників [5]. В останньому стовпці матриці записують коефіцієнти вагомості показників об'єкта з врахуванням значимості кожного показника, отриманого з першої матриці.

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

За потреби запропонований алгоритм може бути деталізований, розвинутий і доповнений іншими матрицями [2].

### Приклад практичної реалізації запропонованого алгоритму

Розглянемо приклад побудови системи матриць для напірної поліетиленової труби (далі – виріб), що застосовується для підземних газогонів, які транспортують горючий газ для промислового та комунально-побутового використання [6] (табл. 1).

Таблиця 1 – Матриця №1 для напірної поліетиленової труби

Вимоги замовника	Значимість вимоги для замовника - $W_{BC}$ , %	Кореляція з показниками виробу - $r$					Рівень задоволення вимог конкуруючими виробами			Для базового виробу				
		овал перерізу в результаті екструзії	неоднорідність товщини стінки	відносне видовження при розриві	зміна довжини після нагрівання	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 - $k$ , %
Стійкість до атмосферних впливів	4		3	3	1	3	4	2	2	4	1,00	1,3	5,2	23,5
Механічна міцність	3	1	3	9			3	3	2	3	1,00	1,0	3,0	13,5
Придатність до термічної обробки	5	3			9	9	3	2	5	5	1,67	1,1	9,2	41,4
Однорідність властивостей ділянок труби	3	9	9	1		1	3	4	2	4	1,33	1,2	4,8	21,6
Інтегральна значимість показника виробу - $W_{II}$		3,33	3,06	2,14	3,96	4,64								
Ступінь значимості показника виробу - $w_{II}$ , %		19,4	17,9	12,5	23,1	27,1								

Основна мета побудови матриці №1- встановлення відповідності між вимогами замовника і показниками виробу. В перших двох колонках записують номенклатуру вимог у вигляді парамет-

рів та відповідні оцінки їх значимості для замовника. У наступному ряді клітинок записується ступінь взаємозв'язку між вимогами замовника і показниками виробу у вигляді коефіцієнтів кореляції, що визначаються експертами. Наприклад, за споживчу вимогу, що формулюється як "механічна міцність" в першу чергу відповідає 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» ( $k=1$ ). Відповідно шкала має наступну градацію: 1-слабка, 3-середня, 9-висока. Якщо кореляція відсутня, клітинка залишається порожньою.

Для визначення потрібного (очікуваного) рівня задоволення вимог в середній частині матриці подано рівень задоволення вимог замовника конкуруючими виробами В, С та D у вигляді бальних оцінок, отриманих за даними опитувань замовника і переведених в п'ятибальну шкалу.

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  $B$  вираховується як відношення потрібного рівня –  $P$  задоволення конкуруючим виробом вимог до існуючого –  $S$ .

Нехай базовим приймемо виріб виробника – В; за першою вимогою, якою є стійкість до атмосферних впливів, ступінь покращення знаходиться як

$$B_1 = P_1 / S_B = 4 / 4 = 1,00. \quad (1)$$

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 значимості 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 має значення:

$$K_1 = W_{BC1} \times B_1 \times A_1 = 4,00 \times 1,00 \times 1,30 = 5,20. \quad (2)$$

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

Отримані результати слід подати у вигляді нормалізованих значень. Тому в останній колонці записується 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

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

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

Інтегральна значимість кожного окремого показника шукатиметься як сума добутків кореляційних зв'язків  $r$  та відносних значень коефіцієнтів вагомості кожної з вказаних вимог, а саме

$$W_{П1} = r_{11}k_1 + r_{21}k_2 + r_{31}k_3 + r_{41}k_4 = 0 \times 0,2346 + 1 \times 0,1353 + 3 \times 0,4136 + 9 \times 0,2165 = 3,325. \quad (4)$$

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

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

$$w_{П1} = W_{П1} / (W_{П1} + W_{П2} + W_{П3} + W_{П4} + W_{П5}) \times 100\% = 3,325 / (3,325 + 3,058 + 2,138 + 3,957 + 4,643) \times 100\% = 19,42\%, \quad (5)$$

а також для всіх інших показників -  $w_{П2}=17,86\%$ ;  $w_{П3}=12,49\%$ ;  $w_{П4}=23,11\%$ ;  $w_{П5}=27,12\%$ .

Отриманий в 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 значимість і далі ступінь значимості 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).

Таблиця 2 - Матриця №2 для напірної поліетиленової труби

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

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 легких речовин», «Вміст сажі». У правій частині матриці виконують порівняння конкуруючих виробів за рівнем досягнення значень показників і визначають ступінь покращення, як це було зроблено в першій матриці для вимог споживачів. Як значимість показників виробу  $w_{Д}$  використовують аналогічні характеристики, отримані з першої матриці (див. табл. 1).

Для досліджуваного виробу ступені покращення є  $B_1=1,00$ ,  $B_2=3,00$ ;  $B_3=3,00$ ;  $B_4=1,67$ . 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 є 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 значимість показників матеріалу виробу, які мають такі абсолютні -  $W_{M1}=2,677$ ,  $W_{M2}=5,295$ ,  $W_{M3}=3,917$ ,  $W_{M4}=0,7245$  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 і горючістю.

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

### **Висновки**

Отже, універсальним інструментом пропонованої методології є метод розгортання функції якості, який дає можливість пов'язати результати ринкових досліджень та вимоги замовника з характеристиками властивостей виробів, властивостями їх матеріалу і далі виробничими процесами.

Реалізація алгоритму забезпечує можливість: чітко визначити шлях перенесення вимог замовника в сукупність контрольованих показників властивостей об'єкта, а сукупність показників у вимоги, що ставляться під час розроблення і створення об'єкту; враховувати плановані перспективні значення стосовно потрібного рівня задоволення вимог замовника, поліпшення самого об'єкта та досягнення ним необхідного якісного рівня; визначити оптимальні значення показників через порівняння аналогічних об'єктів стосовно задоволення вимог замовника та за досягненням в об'єктах найвищих значень показників властивостей.

### **Література**

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. Хайзер Д.Р. Дом качества / Д.Р. Хайзер, Д. Клозинг // Курс на качество. - 1992. - № 1. - С. 85-102.
5. Бойко Т.Г. Формування теоретичних та нормативно-технічних засад оцінювання якісного рівня продукції: автореф. дис. док-ра. техн. наук: 05.01.02 / Т.Г.Бойко; [Національний університет "Львівська політехніка"]. – Львів, 2010. – 34 с.
6. 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)

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
10.06.12*

*Рекомендована до друку оргкомітетом  
міжнародної науково-технічної конференції  
“Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу”,  
яка відбулася 15-18 травня 2012*