

УДК 519.816

Н.А. Яремчук, О.М. Сікоза

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

## ПОБУДОВА ЛІНГВІСТИЧНИХ ШКАЛ ПРИ ЕКСПЕРТНОМУ ОЦІНЮВАННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

В даній статті розглянута проблематика експертного оцінювання властивостей складних об'єктів за лінгвістичною шкалою. Так як результати експертного оцінювання найчастіше отримують за шкалами порядку, то наведено їх класифікацію. Розглянуте питання вибору кількості градацій лінгвістичної шкали. Неузгодженість оцінок експертів запропоновано визначати за відстанню між об'єднанням і перетином нечітких оцінок окремих експертів, що відповідає допустимим перетворенням для даних, поданих за шкалою порядку. Наведено співвідношення для отримання нечіткої оцінки властивості складного об'єкту за думками декількох експертів.

**Ключові слова:** шкала порядку, квазіпорядок, лінгвістична шкала, експертне оцінювання.

### Вступ

Більшість досліджуваних об'єктів, систем, процесів характеризуються як складні, і можуть бути охарактеризовані значеннями багатьох властивостей. Властивості складного об'єкту можуть відображатися за допомогою метричних шкал (відношень, інтервалів) та неметричних шкал (порядкових, найменувань) [1 – 3]. За допомогою відображень за певними шкалами можливо отримати значення або оцінки властивостей складного об'єкту. При оцінюванні властивостей складного об'єкту найчастіше застосовуються такі процедури: вимірювання, експертне оцінювання, спостереження.

В ситуаціях, коли неможливо експериментально визначити властивості складного об'єкту, найбільш застосовуваним є метод експертного оцінювання. Експертні методи є підходящим апаратом для вирішення складноформалізованої задачі оцінювання стану об'єкту [4, 5]. Але експертне оцінювання є досить суб'єктивним [6 – 8], так як залежить від особи, що приймає рішення, а в кінцевому випадку це впливає на якість прийняття рішення при оцінюванні стану складного об'єкту.

Процедура визначення властивостей складних об'єктів за експертним оцінюванням залежить від кількості проявів, за яким подають властивість

$$M_i = \{m_i^1, m_i^2, \dots, m_i^{n_i}\}.$$

Відповідно проявам властивостей визначають градації лінгвістичної шкали. Тоді оцінювання здійснюється за об'єктивним критерієм, бо розглянуті прояви властивості порівнюють з загальноприйнятими еталонами, які відповідають градаціям шкали. Чим точніше охарактеризовані й оцінені можливі відхилення від еталонів, тим менше флуктуацій в оцінках, тим більша довіра до них [9]. Отримані оцінки, що даються різними експертами, можуть відрізнятися, у зв'язку з чим виникає неузгодженість

оцінок експертів, яку можна використати для визначення кількості градацій лінгвістичної шкали [10].

**Метою даної статті** є розробка рекомендацій з побудови лінгвістичних (вербальних) шкал при експертному оцінюванні властивостей складних об'єктів, а саме з визначення кількості градацій лінгвістичної шкали.

### Класифікація шкал порядку

Шкали порядку або ординальні шкали можуть бути розділені за способом відтворення шкали на дві групи [11]:

- шкали з фізичним відтворенням за допомогою пристроїв, наборів мір, стандартних зразків тощо;
- шкали з формальним відтворенням шкали у вигляді сукупності ознак, які спостерігаються чи вимірюються (рис. 1).

За процедурою експериментальної інформатики, що використовується для визначення градацій шкали, шкали розподіляють на шкали, засновані на спостереженні ознак, та шкали, засновані на вимірюванні ознак.

Крім наведених класифікаційних ознак шкали порядку можна класифікувати за ступенем прояву відношення порядку. Відомо, що в межах одного виду шкали можуть мати різні властивості. І серед шкал порядку можна виділити шкали впорядкованих класів, тобто більш слабкі, і порядкові асоціативні шкали, що наближаються до інтервальних, тобто більш сильні. Доцільно ввести ще одну класифікаційну ознаку за ступенем прояву відношень, що покладені в основу шкали. У відповідності з останнім, шкали порядку запропоновано класифікувати на чисто порядкові шкали з відношеннями еквівалентності і порядку; асоціативні шкали порядку, що є впорядкованими системами з частковим відношенням комбінування; і шкали квазіпорядку [12], для

яких справедливе відношення порядку між класами еквівалентності.

Шкали квазіпорядку – це шкали найменувань, в яких класи еквівалентності впорядковані. Назва „шкали квазіпорядку” обрана тому, що *квазіпорядок* – це впорядкування сукупності класів еквівалентності  $\{M_1, M_2, \dots\}$  деякої множини  $M$  за їх представниками  $\alpha_1, \alpha_2, \dots$

Таке впорядкування ототожнює елементи множини  $M$ , що належать до одного й того ж класу еквівалентності, і визначає на цій множині квазіпорядок (передпорядок) [12].

Шкала квазіпорядку може бути числовою або символічною. Для символічної шкали квазіпорядку з системами

$$Q = \langle \tilde{A}, \sim, > \rangle \text{ і } Z = \langle \tilde{Z}, =, > \rangle,$$

де  $\tilde{A}$  – класи еквівалентності, а  $\tilde{Z}$  – їх символічні відображення, процедура відображення

$$M: \tilde{A} \rightarrow \tilde{Z}$$

супроводжується перенесенням відношень

$$F: \langle \sim; > \rangle \rightarrow \langle =; > \rangle.$$

З символічних найбільш поширені вербальні чи лінгвістичні шкали. Прикладами цих шкал є – шкали якості або стану об'єкту [9] – „дуже поганий” (VB), „поганий” (B), „середній” (M), „добрий” (W), „дуже добрий” (VW) з відношеннями порядку між ними:

$$VB < B < M < W < VW, \quad (1)$$

так що (1) можна розглядати як порядок на класах еквівалентності.

Можна використати шкалу з меншою кількістю градацій властивості об'єкта: „задовільно” (З), „добре” (Д), „відмінно” (В), з відношенням порядку  $З < Д < В$ , або „низьке” (Н), „середнє” (С), „високе” (В), де  $Н < С < В$ .

Шкала квазіпорядку може подаватися з застосуванням чіткої і нечіткої лінгвістичної змінної. Класифікація шкал порядку наведена на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація шкал порядку

### Побудова лінгвістичної шкали квазіпорядку при експертному оцінюванні

Існує ряд рекомендацій з вибору кількості градацій лінгвістичної шкали. Найбільш впевненому оцінюванню відповідає так зване тріадне оцінювання [13], тобто коли кількість градацій  $n_i = 3$ . При збільшенні кількості градацій лінгвістичної шкали збільшується точність визначення стану складного об'єкта, але тоді процедура експертного оцінювання стає складно розрізнявальною для самого експерта.

В праці [10] максимальну кількість градацій вважають не більше  $7 \pm 2$ . В ряді праць максимальна кількість градацій становить 5.

В праці [10] проведено визначення оптимальної кількості значень або вербальних градацій порядкової шкали. Під оптимальною множиною значень або градацій вербальної шкали  $N_{\text{опт}}$  мається на увазі така множина значень, яка забезпечує експерту мінімальний ступінь труднощі при використанні цієї множини при оцінюванні з однієї сторони і максимальну узгодженість експертних суджень з іншою.

Рівень трудності експертного оцінювання визначається за середнім рівнем трудності [10], який оцінюють за областями шкали  $x$  (кількістю градацій) кожного експерта, тобто

$$\eta_i^j(n) = \frac{G_i}{2}; \quad G_i = \bigcup_k \{x : 0 < \mu_{ki}^j < 1\},$$

де  $j$  – індекс властивості складного об'єкту;  $i$  – номер експерта  $i = \overline{1, m}$ ;  $m$  – загальна кількість експертів;  $k$  – номер градації шкали,  $k = \overline{1, n}$ ;  $n$  – загальна кількість градацій;  $\mu_{ki}^j$  – ступінь приналежності оцінки  $i$ -го експерта до  $k$ -ї градації.

Середній ступінь трудності для  $m$  експертів, що користуються множиною з  $n$  вербальних градацій при оцінюванні  $j$ -ї властивості, отримують з формули [10]:

$$\eta^j(n) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \eta_i^j(n).$$

Для визначення неузгодженості експертів в праці [10] використано відношення площин перетину до об'єднання функцій належності нечітких множин, які отримують присвоєнням вербальним градаціям кількісних значень з універсальної множини  $[0,1]$ .

Але обчислення площин не відповідає допустимим перетворенням для шкал порядку. Тому при визначенні кількості градацій шкали треба використати формули, що відповідають допустимим перетворенням для цієї шкали.

В [14] наведено приклад індексу схожості двох множин  $A$  і  $B$  як

$$S(A, B) = |A \cap B| / |A \cup B|,$$

що відомий як індекс Жаккарда.

За подальшими перетвореннями отримують

$$|A \cup B| - |A \Delta B| = |A \cap B|,$$

де  $|A \Delta B|$  – скалярна оцінка схожості.

Якщо  $\cap$  відповідає мінімуму,  $\cup$  відповідає максимуму, тоді відповідний ненормований індекс схожості, тобто  $|A \Delta B|$ , дає відстань Хеммінга:

$$\rho(x) = \sum_{x \in X} |\mu_A(x) - \mu_B(x)|.$$

Відповідно до цього неузгодженість експертів запропоновано оцінювати за наступною формулою:

$$H^j(n) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \mu_{\bigcup_{i=1}^m}^j(x_k) - \mu_{\bigcap_{i=1}^m}^j(x_k) \right|, \quad k = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де  $\mu_{\bigcup_{i=1}^m}^j(x_k)$  – об'єднання ступенів приналежності до  $k$ -ї градації шкали оцінок  $m$  експертів;

$\mu_{\bigcap_{i=1}^m}^j(x_k)$  – перетин ступенів приналежності до  $k$ -ї

градації шкали оцінок  $m$  експертів.

При повній узгодженості думок експертів  $H^j(n)$  дорівнює нулю.

Остаточне рішення про вибір множини вербальних градацій приймають за мінімумом неузгодженості і мінімумом середньої трудності, тобто за  $\min(H^j(n))$  і  $\min(\eta^j(n))$ .

Нижче наведено результати експертного оцінювання властивості складного об'єкту десятима експертами за шкалою квазіпорядку з п'ятьма (табл. 1) і трьома (табл. 2) градаціями відповідно.

Таблиця 1

Результати експертного оцінювання за п'ятьма градаціями

Номер експерта	Градації шкали квазіпорядку					$\eta_i^j(n)$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
1	0	0	0	0,7	0,3	1
2	0	0	0,6	0,4	0	1
3	0	0	0,1	0,8	0,1	1,5
4	0	0	0,1	0,9	0	1
5	0	0	0,1	0,8	0,1	1,5
6	0	0	0	0,7	0,3	1
7	0	0	0,1	0,8	0,1	1,5
8	0	0	0,1	0,9	0	1
9	0	0	0,1	0,8	0,1	1,5
10	0	0	0,2	0,8	0	1
$\bigcap_{i=1}^{10}$	0	0	0	0,4	0	-
$\bigcup_{i=1}^{10}$	0	0	0,6	0,9	0,3	-

Нечітку оцінку  $i$ -го експерта для  $j$ -ї властивості за градаціями шкали і ступенями приналежності отримують як

$$A_{\sim}^j = \left\{ \bigcup_{x_k} \left( \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i^j(x_k)}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n \mu_i^j(x_k)} \right) | x_k \right\}, \quad k = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Так для даних табл. 1 отримуємо

$$A_{\sim}^j = \{0 | x_1; 0 | x_2; 0,14 | x_3; 0,76 | x_4; 0,10 | x_5\},$$

Таблиця 2  
Результати експертного оцінювання  
за трьома градаціями

Номер експерта	Градації шкали квазіпорядку			$\eta_i^j(n)$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	
1	0	0,2	0,8	1
2	0	0,8	0,2	1
3	0	0,5	0,5	1
4	0	0,7	0,3	1
5	0	0,6	0,4	1
6	0	0,2	0,8	1
7	0	0,5	0,5	1
8	0	0,6	0,4	1
9	0	0,5	0,5	1
10	0	0,6	0,4	1
$\bigcap_{i=1}^{10}$	0	0,2	0,2	–
$\bigcup_{i=1}^{10}$	0	0,8	0,8	–

а для даних табл. 2 відповідно

$$\tilde{A}^j = \{0|x_1; 0,52|x_2; 0,48|x_3\}.$$

Результати обробки даних табл. 1, 2 для вибору кількості градацій шкали наведено в табл. 3.

Таблиця 3  
Результати обробки даних  
для вибору кількості градацій шкали

	Табл. 1 $n = 5$	Табл. 2 $n = 3$
Середня трудність $\eta^j(n)$	1,2	1,0
Оцінка неузгодженості $H^j(n)$	0,28	0,40

При збільшенні градацій лінгвістичної шкали середня трудність збільшується. Тому вирішальним є неузгодженість експертів, бо вона впливає на невизначеність отриманої експертної оцінки, тобто характеризує розсіювання результатів. Таким чином, за результатами порівняння для експертного оцінювання наведеною групою експертів рекомендується шкала з п'ятьма вербальними градаціями. При цьому  $\cup$  - загальна думка експертів, що характеризує невизначеність оцінювання, тобто розмах за класами еквівалентності;  $\cap$  - спільна думка експертів щодо потрапляння в певний клас еквівалентності.

Таким чином, про нормований результат у вигляді нечіткої оцінки при експертному оцінюванні  $j$ -ї властивості складного об'єкта за думками  $m$  експертів за  $n$  градаціями лінгвістичної шкали отримують за формулою (3). Оптимальну кількість вербальних градацій отримують за мінімальною неузгодженістю думок експертів (див. формулу (2)).

При необхідності прийняття рішення про віднесення оцінки  $j$ -ї властивості до певної вербальної градації шкали використовують моду ступенів приналежності.

## Висновки

В статті наведено класифікацію шкал порядку, де однією з класифікаційних ознак є ступінь прояву відношень, що покладені в основу даної шкали. У відповідності з останнім, шкали порядку запропоновано класифікувати на чисто порядкові шкали з відношеннями еквівалентності і порядку; асоціативні шкали порядку, що є впорядкованими системами з частковим відношенням комбінування; і шкали квазіпорядку, для яких справедливе відношення порядку між класами еквівалентності.

У відповідності до цієї класифікації лінгвістичні шкали віднесено до шкал квазіпорядку.

Наведено співвідношення для отримання нечіткої оцінки властивості складного об'єкта за думками декількох експертів.

Для вирішення питання про оптимальну кількість вербальних градацій шкали порядку використано неузгодженість думок експертів, яку визначають за відстанню Хеммінга між ступенями приналежності об'єднання і перетину ступенів приналежності оцінок окремих експертів.

## Список літератури

1. Дубина И.Н. Математические основы эмпирических социально-экономических исследований: учебное пособие / И.Н. Дубина. – Барнаул: Алт. ун-т, 2006. – 263 с.
2. Пфанцгль И. Теория измерений: пер. с англ. / И. Пфанцгль – М.: Мир, 1976. – 248 с.
3. Стивенс С.С. Математика, измерение и психология / С.С. Стивенс // Экспериментальная психология – М.: Изд-во иностранной лит-ры, 1960. – С. 19-61.
4. Кларк Дж. Системология / Дж. Кларк. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
5. Гнатієнко Г.М. Експертні технології прийняття рішень: монографія / Г.М. Гнатієнко, В.Є. Снитюк. – К.: ТОВ „Маклаут”, 2008. – 444 с.
6. Хамханова Д.Н. Общая теория измерений: учебное пособие / Д.Н. Хамханова. – Улан-Удэ: ВСГТУ, 2006. – 168 с.
7. Тульчин Л.Г. Оценка качества электроизмерительных приборов / Л.Г. Тульчин, А.М. Хаскин, В.Д. Шаповалов. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 216 с.
8. Володарский Е.Т. Планирование и организация измерительного эксперимента / Е.Т. Володарский, Б.Н. Малиновский, Ю.М. Туз. – К.: Вища школа, 1987. – 157 с.
9. Ростовцев А.М. Математически нечеткие подходы к контролю качества / А.М. Ростовцев // Измери-

тельная техника. – 2009. – № 3. – С. 15-19.

10. Домрачев В.Г. Построение лингвистических шкал для оценивания качества электронных учебников [Электронный ресурс] / В.Г. Домрачев, О.М. Полеицук, И.В. Ретинская // ИТ-инновации в образовании. – Петрозаводск, 2005. – С. 76-78. – Режим доступа до статті: [www.ict.edu.ru/vconf/files/7630.doc](http://www.ict.edu.ru/vconf/files/7630.doc).

11. Ціделко В.Д. Процедури експериментальної інформатики і шкали в інтелектуальних засобах вимірювальної техніки / В.Д. Ціделко, Н.А.Яремчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1999. – № 54. – С. 37-41.

12. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / В.П. Сигорский. – 2-е изд., стереотип. – К.: Техніка, 1977. – 768 с.

13. Васильев В.И. Триада сущности шкалы оценивания / В.И. Васильев, Т.Н. Тягунова, В.А. Хлебников // Дистанционное образование. – 2000. – № 6. – С. 19.

14. Дюбуа Д. Обиций подход к определению индексов сравнения в теории нечетких множеств / Д. Дюбуа, А. Прад // Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: пер. с англ.; под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – С. 9-21.

Надійшла до редколегії 5.05.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Д. Ціделко, Національний технічний університет України «КПІ», Київ.

#### ПОСТРОЕНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ШКАЛ ПРИ ЭКСПЕРТНОМ ОЦЕНИВАНИИ СВОЙСТВ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Н.А. Яремчук, Е.Н. Сикоза

В данной статье рассмотрена проблематика экспертного оценивания свойств сложных объектов по лингвистической шкале. Так как результаты экспертного оценивания чаще всего получают по шкалам порядка, то приведена их классификация. Рассмотрен вопрос выбора количества градаций лингвистической шкалы. Несогласованность оценок экспертов предложено определять по расстоянию между объединением и пересечением нечетких оценок отдельных экспертов, что соответствует допустимым преобразованиям для данных, подученных по шкалам порядка. Представлено соотношение для получения нечеткой оценки свойства сложного объекта по мнениям нескольких экспертов.

**Ключевые слова:** шкала порядка, квазипорядок, лингвистическая шкала, экспертное оценивание.

#### CONSTRUCTION OF LINGUISTIC SCALES AT EXPERT EVALUATION OF COMPLEX OBJECTS PROPERTIES

N.A. Yaremchuk, O.M. Sikoza

In this paper the problematic of complex objects properties by expert evaluation on a linguistic scale is considered. As the results of expert evaluation often receive to the order scales, their classification is given. The question of a choice the quantity of a linguistic scale gradation is considered. The inconsistency of ratings of the experts is offered for defining on distance between association and crossing of fuzzy ratings of the separate experts, that corresponds to allowable transformations for the data given on the order scales. The ratio for reception of a fuzzy rating of complex object property is submitted in opinion of the several experts.

**Keywords:** order scale, quasi-orders, linguistic scale, expert evaluation.