УДК 681.142

Оцінювання комплексного показника якості складного об'єкта з характеристикою невизначеності

Н.А. Яремчук, О.Ю. Года, В.В. Проскін

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", пр. Перемоги, 37, 03056, Київ, Україна
R_Olia@i.ua

Анотація

Розглядаються питання визначення комплексного показника якості складних об'єктів. Модель оцінювання якості складного об'єкта зазвичай є ієрархічною. У сучасних джерелах інформації наведено методи знаходження комплексного показника якості у випадку, коли властивості якості складних об'єктів відображаються за метричними шкалами і підлягають вимірюванню. Один із методів продемонстровано в статті, але є відсутніми способи розрахунку невизначеності при оцінюванні комплексного показника якості за одиничними показниками якості в ієрархічній структурі. У статті запропоновано спосіб розрахунку невизначеності комплексного показника якості, отриманого за об'єднанням одиничних показників якості, що відображаються за метричними шкалами.

Огляд показників якості складних об'єктів свідчить, що значна частина властивостей, які характеризують якість складного об'єкта, відображається за ординальними шкалами. Тому виникає необхідність у розробці підходів до оцінювання якості складних об'єктів за ієрархічною структурою показників якості за умов наявності ординальних властивостей. У статті запропоновано підхід до визначення комплексного показника якості складного об'єкта за умови, що одиничні показники відображаються за ординальними шкалами. Також подано спосіб оцінювання невизначеності комплексного показника якості з використанням оператора агрегування одиничних показників якості — медіани. Оцінка комплексного показника якості супроводжується розрахунком невизначеності отриманого показника якості.

Ключові слова: комплексний показник якості, невизначеність, медіана, одиничний показник якості.

Отримано: 30.03.2018 Відредаговано: 05.05.2018 Схвалено до друку: 25.05.2018

Вступ

Для об'єктів, якість яких визначають за багатьма властивостями, використовують ієрархічну структуру оцінювання якості. На нижньому рівні такої структури розміщуються метрики, що їх безпосередньо вимірюють, спостерігають, реєструють або оцінюють за допомогою експертів. Комплексні показники якості (наприклад, критерій K_j), що розміщуються вище за ієрархією, розраховують за метриками M_{ji} із використанням вагових коефіцієнтів V_{ji}:

$$K_j = \sum_{i=1}^{n} V_{ji} M_{ji}, \qquad (1)$$

де M_{ji} – i-та метрика, що входить до складу j-го комплексного показника K_j із ваговим коефіцієнтом V_{ji},

$$\sum_{i=1}^{n} V_{ji} = 1.$$

Якщо звернутися до подібної ієрархічної структури комплексного показника якості програмного засобу, наведеної в [1], то в цій структурі показники якості об'єднано в систему із чотирьох рівнів. Приклад побудови такої системи наведено на рис. 1.

Кожний вищий рівень містить складові показники якості на нижчих рівнях. Для забезпечення можливості отримання інтегральної оцінки за групами показників якості в [1] використовують фактори якості: надійність, зручність застосування, універсальність, супроводжуваність та ін. Кожному фактору відповідає набір критеріїв. Критерії складаються з метрик, а останні — з одиничних показників якості, що входять до складу метрик.

Метрики в [1] визначають за оціночними елементами z_{jil} як їх середнє арифметичне:

$$M_{ji} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^{L} z_{jil}.$$

Далі визначаються критерії за допомогою об'єднання метрик з урахуванням відповідних їм вагових коефіцієнтів — формула (1).

Фактор Φ визначають за критеріями K_j і їх ваговими коефіцієнтами ρ_j:

$$\Phi = \sum_{j=1}^{q} \rho_j K_j,$$

де K_j – j-й критерій, що входить до складу фактора Φ із ваговим коефіцієнтом ρ_j,

© ННЦ «Інститут метрології», 2018

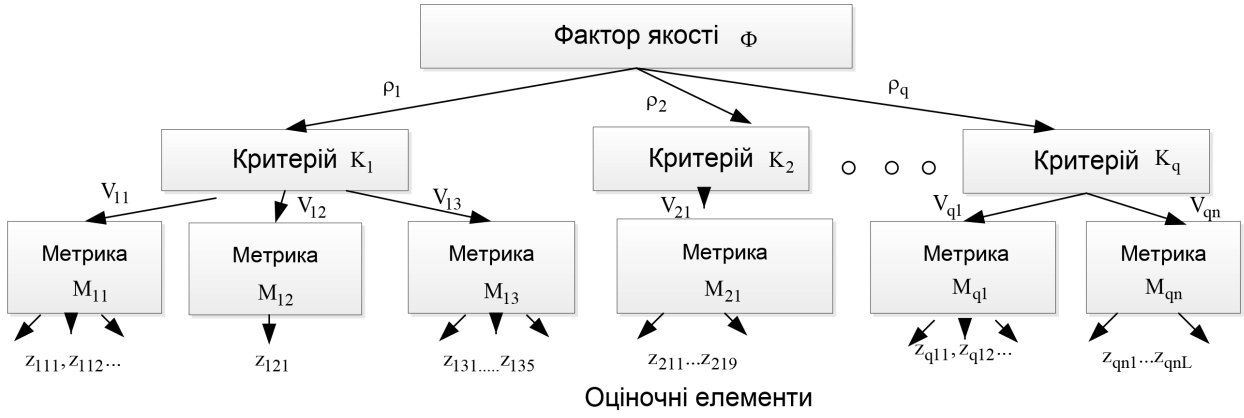

Рис. 1. Ієрархічна структура комплексного показника якості (фактора якості)

$$\sum_{j=1}^{q}\rho_j = 1.$$

У сучасних джерелах інформації відсутні способи розрахунку невизначеності при оцінюванні комплексного показника якості за одиничними показниками якості в ієрархічній структурі показників якості. Такий розрахунок дозволяє визначити границю інтервалу, в якому знаходиться отримане значення показника якості (ПЯ), що важливо при знаходженні найкращого за якістю зразка програмного засобу (ПЗ), при ранжуванні ПЗ за якістю тощо.

Наведений вище спосіб розрахунку комплексного ПЯ може бути застосованим тільки для таких властивостей якості складних об'єктів, які відображаються за метричними шкалами і підлягають вимірюванню. Але огляд ПЯ ПЗ, наведений в [1–6], свідчить, що значна частина властивостей, які характеризують якість ПЗ, відображаються за ординальними шкалами, наприклад, оціночні елементи фактора "Супроводжуваність" — "Правильність взаємозв'язків", "Правильність реалізації інтерфейсу" та ін. Тому виникає необхідність у розробці підходів до оцінювання якості складних об'єктів за ієрархічною структурою ПЯ за умови наявності ординальних властивостей. Необхідним атрибутом цих підходів має бути спосіб оцінювання невизначеності комплексного показника якості.

Постановка завдання

У статті розглянуто спосіб розрахунку невизначеності комплексного показника якості, отриманого за об'єднанням одиничних показників якості, що відображаються за метричними шкалами. Запропоновано підхід до визначення комплексного показника якості складного об'єкта за умови, що одиничні показники відображаються за ординальними шкалами і їх значення отримано, наприклад, за допомогою експертного оцінювання. Оцінка комплексного показника якості супроводжується розрахунком невизначеності отриманого ПЯ.

1. Оцінювання невизначеності при розрахунку комплексного показника якості за ієрархічною структурою

Загальна невизначеність метрики складається з невизначеності агрегування і невизначеності окремих оціночних елементів, що були використані при обчисленні метрики. Комбінована (сумарна) стандартна невизначеність вимірювання метрики становить

$$u_c(M_{ji}) = \sqrt{\sigma_a^2(M_{ji}) + \sigma_c{}^2(M_{ji})},$$

де σ_a — середнє квадратичне відхилення (СКВ) агрегування; $\sigma_c^2(M_{ji})$ — сумарна дисперсія вимірювання окремих оціночних елементів.

СКВ агрегування оціночних елементів за середнім арифметичним розраховується за формулою

$$\sigma_a(M_{ji}) = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{L}(z_{jil} - M_{ji})^2}{L(L-1)}}.$$

Сумарна дисперсія вимірювання окремих оціночних елементів дорівнює

$$\sigma_c^2(M_{ji}) = \frac{1}{L^2}\sum_{l=1}^{L} u^2(z_{jil}).$$

Якщо кількість оціночних елементів дорівнює одиниці, то за однією оцінкою визначається метрика, тобто метрика сама підлягає вимірюванню. Тоді стандартну невизначеність метрики отримують за невизначеністю вимірювання оціночного елемента.

Сумарну стандартну невизначеність об'єднання метрик у критерій можна оцінити таким чином:

$$u_c(K_j) = \sqrt{\sigma_a^2(K_j) + \sigma_c{}^2(K_j)},$$

де $\sigma_a^2(K_j)$ — дисперсія агрегування метрик у критерій — формула 2; $\sigma_c^2(K_j)$ — сумарна дисперсія об'єднання невизначеності метрик — формула 3.

Дисперсія агрегування метрик у критерій знаходиться із таких міркувань. Якщо критерій визначається за формулою (1), то

$$K_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} nV_{ji}M_{ji},$$

де права частина є середнім арифметичним зважених метрик. Тоді дисперсія

$$D\left[K_j\right] = \frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(nV_{ji}M_{ji} - K_j)^2,$$

а СКВ агрегування метрик у критерій дорівнює

$$\sigma_a\left[K_j\right] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(nV_{ji}M_{ji} - K_j)^2}{n(n-1)}}. \qquad (2)$$

Сумарна дисперсія об'єднання невизначеності метрик знаходиться як

$$\sigma_c{}^2(K_j) = \sum_{i=1}^{n} V_{ji}^2 u_c^2(M_{ji}). \qquad (3)$$

Аналогічним чином розраховується невизначеність фактора. Сумарна стандартна невизначеність об'єднання критеріїв у фактор дорівнює

$$u_c(\Phi) = \sqrt{\sigma_a^2(\Phi) + \sigma_c{}^2(\Phi)},$$

де $\sigma_a^2(\Phi)$ — дисперсія агрегування критеріїв у фактор:

$$\sigma_a^2\left[\Phi\right] = \frac{\sum_{i=1}^{q}(q\rho_j K_j - \Phi)^2}{q(q-1)};$$

$\sigma_c^2(\Phi)$ — сумарна дисперсія об'єднання невизначеності критеріїв:

$$\sigma_c^2(\Phi) = \sum_{i=1}^{q}\rho_j^2 u_c^2(K_j).$$

Результати розрахунку комплексного показника якості (ієрархічна структура — рис. 1) із характеристикою невизначеності наведено в табл. 1, де для спрощення розрахунків прийнято стандартну невизначеність вимірювання окремих оціночних елементів $u(z_{jil}) = 0{,}06$.

Результат визначення комплексного ПЯ фактора: Φ = 0,69; $u_c(\Phi)$ = 0,06. У загальну невизначеність фактора входять невизначеності вихідних даних — одиничних показників якості, а також складові невизначеності агрегування, що залежить від нерівності внеску окремих складових комплексного показника якості.

2. Оцінювання комплексного показника якості за допомогою медіани

Розглянутий підхід до оцінювання комплексного показника якості можна використовувати, коли всі одиничні показники якості визначаються за метричними шкалами. Але при оцінюванні якості складних об'єктів зазвичай враховують велику кількість різних властивостей, у тому числі й ординальних, наприклад, якість програмних засобів оцінюють за зручністю їх використання, що, у свою чергу, включає до себе легкість засвоєння, доступність експлуатаційних програмних документів, зручність експлуатації та обслуговування, рівень автоматизації та ін. [1–6]. Багато ординальних показників також використовується при оцінюванні якості інших складних об'єктів. У таких випадках, коли велика кількість

Таблиця 1

Бюджет невизначеності отриманого комплексного показника якості

Фактор	Стандартна невизначеність фактора	Ваговий коефіцієнт критерія	Критерій	Стандартна невизначеність критеріїв	Ваговий коефіцієнт метрики	Метрика	Сумарна стандартна невизначеність метрики	Значення одиничних ПЯ (оціночних елементів)
Φ	$u_c(\Phi)$	ρ_i	K_i	$u_c(K_j)$	V_{ji}	M_{ji}	$u_c(M_{ji})$	z_{jil}
0,6905	0,0560	0,3	0,81	0,063	0,4	0,75	0,066	0,8; 0,7
					0,3	0,90	0,060	0,9
					0,3	0,80	0,052	0,7; 0,9; 0,8; 0,9; 0,7
		0,4	0,50	0,056	1,0	0,50	0,056	0,3; 0,3; 0,4; 0,4; 0,5; 0,6; 0,6; 0,7; 0,7
		0,3	0,825	0,049	0,5	0,85	0,066	0,9; 0,8
					0,5	0,80	0,052	0,9; 0,9; 0,7; 0,8; 0,7

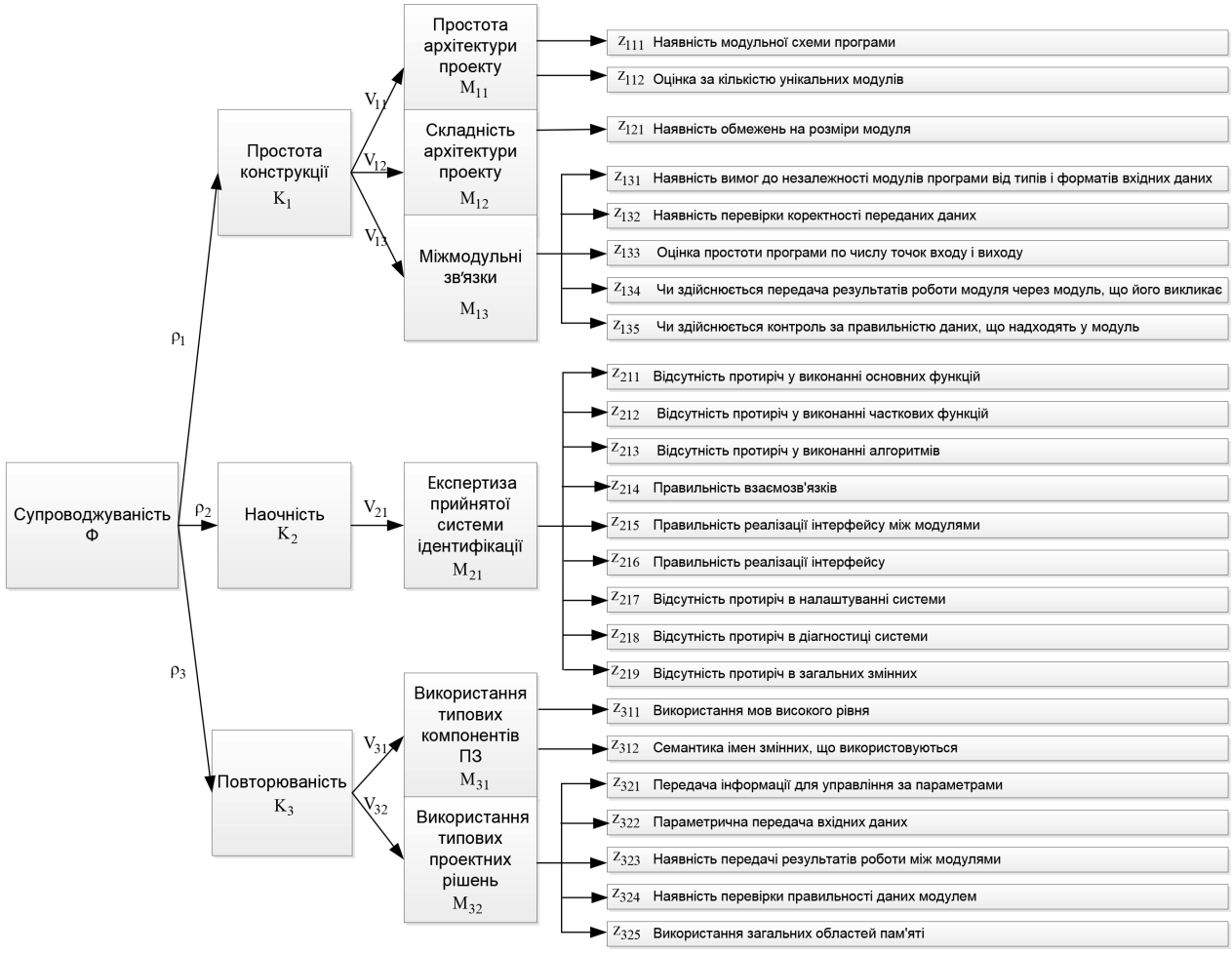

Рис. 2. Ієрархічна структура комплексного показника якості — фактора "Супроводжуваність"

показників якості є ординальними величинами, обмежується можливість використання алгебраїчних операцій з отриманими даними [7], що обумовлює підбір оператора агрегування іншого, ніж середнє арифметичне або зважене середнє арифметичне.

Адекватною статистикою для об'єднання ординальних одиничних показників у метрику є медіана. Точність медіани значно менша за точність середнього арифметичного [8], але медіана є адекватним оператором для агрегування значень ординальних величин.

Оцінювання розпочинається зі встановлення ієрархічної структури комплексного показника якості (наприклад, рис. 2), визначення кількості оціночних елементів, метрик, критеріїв та факторів і відповідних до них вагових коефіцієнтів.

Процедура оцінювання починається з нижчих рівнів — метрик і оціночних елементів, тобто із застосування агрегування оціночних елементів у медіану:

$$M_{\mathrm{ji}} = \mathrm{Med}(z_{\mathrm{jiL}}), \tag{4}$$

де M_{ji} — i-та метрика j-го критерію, визначена за L одиничними показниками (оціночними елементами) якості z_{jiL}.

Перехід від метрик до критеріїв K_{j} знаходиться як медіана зважених метрик M_{ji} з урахуванням їх кількості:

$$K_{\mathrm{j}} = \mathrm{med}\left\{ n V_{\mathrm{ji}} M_{\mathrm{ji}} \right\}, \tag{5}$$

де n – кількість метрик M_{ji} (i=1..n), що входять до складу j-го комплексного показника K_{j} з ваговим коефіцієнтом V_{ji}, $\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} V_{\mathrm{ji}} = 1$.

Аналогічно проводиться агрегування критеріїв при оцінюванні фактора Φ:

$$\Phi = \mathrm{med}\left\{ q \rho_{\mathrm{j}} K_{\mathrm{j}} \right\}, \tag{6}$$

де q – кількість критеріїв K_{j} (j=1..q), що входять до складу комплексного показника Φ з ваговим коефіцієнтом ρ_{j}, $\sum_{\mathrm{j=1}}^{\mathrm{q}} \rho_{\mathrm{j}} = 1$.

3. Оцінювання невизначеності комплексного показника якості, визначеного за допомогою медіани

Загальна невизначеність метрики складається з невизначеності агрегування і невизначеності окремих оціночних елементів, що були використані при обчисленні медіани. Комбінована (сумарна) невизначеність оцінювання медіани становить

$$u_c(M_{ji}) = \sqrt{\sigma_a^2(M_{ji}) + \sigma_c{}^2(z_{jil})}, \qquad (7)$$

де $\sigma_a(M_{ji})$ — СКВ агрегування оціночних елементів за медіаною; $\sigma_c^2(z_{jil})$ — сумарна дисперсія оціночних елементів, що враховувалися при визначенні медіани. Якщо:

L — парне, то

$$\sigma_c^2(z_{jil}) = (u_{L/2}^2(z_{jil}) + u^2{}_{L/2+1}(z_{jil})) / 4;$$

L — непарне, то

$$\sigma_c^2(z_{jil}) = u^2{}_{(L+1)/2}(z_{jil}). \qquad (8)$$

СКВ агрегування $\sigma_a(M_{ji})$ обчислюється за довірчим інтервалом медіани. Через те що медіана є непараметричною оцінкою, характеристикою її точності є границі довірчого інтервалу за номерами порядкових статистик, у яких знаходиться медіана за певної ймовірності.

При кількості одиничних показників L<10 доцільно використовувати таблицю для обчислення ймовірності знаходження медіани в інтервалі двох порядкових статистик табл. 2, що отримана в роботі [9].

При кількості одиничних показників L≥10 застосовуються порядкові статистики $z_в$ та $z_н$, що знаходяться з ранжованого ряду одиничних показників за номерами *B* та *H*:

для нижньої границі

$$B = E[(L + 1 - z_p \cdot \sqrt{L}) / 2];$$

для верхньої границі

$$H = E[(L + 2 + z_p \cdot \sqrt{L}) / 2], \qquad (9)$$

де *E*[.] — ціла частина чисел у дужках.

Границі довірчого інтервалу медіани Δ_P (що відповідає ймовірності *P*) знаходять за порядковими статистиками ранжованої вибірки оцінок експертів:

нижня границя $\Delta_в = \text{med} - z_L$;

верхня границя $\Delta_н = z_н - \text{med}$.

Якщо розглядати довірчий інтервал медіани як вкладений інтервал [10], що відповідає ймовірності *P*, то СКВ розраховується за формулою

$$\sigma_a(M_{ji}) = \frac{\Delta_P}{\sqrt{-2\ln(1-P)}}, \qquad (10)$$

де $\Delta_P = \max\{\Delta_в, \Delta_н\}$ – максимальна границя, що відповідає ймовірності знаходження медіани *P* у межах $\{\Delta_в, \Delta_н\}$.

Невизначеність отримання критерію визначається за формулою

$$u_c(K_j) = \sqrt{\sigma_a^2(K_j) + \sigma_c{}^2(K_j)}, \qquad (11)$$

де $\sigma_a(K_j)$ — СКВ агрегування метрик у критерій за медіаною (5); $\sigma_c^2(K_j)$ — сумарна дисперсія метрик, що враховувалися при визначенні медіани для парного і непарного *n*.

Аналогічним чином розраховується сумарна стандартна невизначеність фактора:

$$u_c(\Phi) = \sqrt{\sigma_a^2(\Phi) + \sigma_c{}^2(\Phi)},$$

де $\sigma_a(\Phi)$ — СКВ агрегування критеріїв у фактор за медіаною (6), $\sigma_c^2(\Phi)$ — сумарна дисперсія критеріїв, що враховувалися при визначенні медіани для парного і непарного *q*.

4. Приклад визначення комплексного показника якості за медіаною з характеристикою невизначеності

Для демонстрації запропонованого способу використано ієрархічну структуру комплексного показника якості “Супроводжуваність”, наведену в [1] і на рис. 2.

Значення оціночних елементів у цій структурі отримано за допомогою експертного оцінювання. Якщо одиничний ПЯ визначають за експертним оцінюванням, то стандартна невизначеність складається із невизначеності від обмеженої роздільної здатності шкали експертного оцінювання і невизначеності від розбіжності оцінок експертів, якщо їх декілька. Згідно з [11], від експертних оцінок у багатьох випадках слід чекати похибку від роздільної здатності до 5–10 %. Тому роздільну здатність (або похибку від обмеженості можливостей

Таблиця 2

Значення ймовірностей знаходження медіани в довірчому інтервалі: В — нижня границя, Н — верхня границя

Медіана	Кількість порядкових статистик *N* / Границі за номерами поряд. статистик	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
	B = 1 та *H* = *N*	0,5	0,75	0,88	0,94	0,97	0,98	0,99	0,996	0,998
	B = 2, *H* = *N* – 1	–	–	0,25	0,56	0,75	0,86	0,92	0,96	0,98
	B = 3, *H* = *N* – 2	–	–	–	–	0,09	0,42	0,64	0,78	0,87

експертів) для нормалізованої шкали експертного оцінювання від 0 до 1 можна прийняти приблизно $\pm\Delta x_1 = \pm 0{,}1$. Результати отримано від одного експерта. Тоді при оцінюванні типу В для рівномірного розподілу стандартна невизначеність становить

$$u(z_{jil}) = \frac{0{,}1}{\sqrt{3}} = 0{,}06. \qquad (12)$$

Дані для розрахунку комплексного показника якості фактора отримано за експертним оцінюванням і наведено в табл. 2.

Для порівняння результатів оцінювання за середнім арифметичним та медіаною вихідні дані значень оціночних елементів і вагових коефіцієнтів прийнято однаковими з табл. 1.

Для отримання першої метрики M_{11} необхідно об'єднати 2 оціночних елементи з експертними оцінками $(z_{111}, z_{112}) = (0{,}7;\ 0{,}8)$. Значення метрики становить: $M_{11} = \text{med}(0{,}8; 0{,}7) = 0{,}75$.

Сумарну (комбіновану) стандартну невизначеність метрики M_{11} знаходимо за формулою (7): $u_c(M_{11}) = 0{,}06$. Тут СКВ агрегування обчислюють за формулою (10):

$$\sigma_a(M_{11}) = 0{,}05 / \sqrt{-2\ln(1-0{,}5)} = 0{,}042,$$

де $z_{112} - \text{med} = \text{med} - z_{111} = \Delta p = 0{,}05$,
$P(z_{111} \le \text{med} \le z_{112}) = 0{,}5$ (за табл. 1), а сумарна дисперсія метрики за формулою (8) для L=2 парного $\sigma_c^2(z_{jil}) = 0{,}0018$.

Метрика M_{12} складається з одного оціночного елемента, тому $M_{12} = 0{,}9$, а стандартна невизначеність метрики за формулою (12) дорівнює $u_c(M_{12}) = 0{,}06$.

Третю метрику M_{13} визначають за формулою (4): $M_{13} = 0{,}8$. Сумарна (комбінована) невизначеність метрики M_{13} становить $u_c(M_{13}) = 0{,}073$, де СКВ агрегування $\sigma_a(M_{13}) = 0{,}042$, $P(z_L \le \text{med} \le z_H) = 0{,}94$ (границі довірчого інтервалу медіани між $B = 1$ та $H = 5$ (формула 9), а сумарна дисперсія оціночних елементів за формулою (8) для непарного $L = 5$ $\sigma_c^2(z_{13}) = 0{,}0036$.

Перехід від метрик до критеріїв виконується як об'єднання метрик із відповідними ваговими коефіцієнтами (5):

$$K_1 = \text{med}(3 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}75;\ 3 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}9;\ 3 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}8) = 0{,}81.$$

Стандартна невизначеність критерію за формулою (11) $u_c(K_1) = 0{,}0808$, де середнє квадратичне відхилення агрегування метрики в критерій (10), $\sigma_a[K_1] = 0{,}0541$, а сумарна дисперсія об'єднання невизначеності метрик за медіаною для непарного $n = 3$ за формулою (8) $\sigma_c^2(K_1) = 0{,}0036$.

Аналогічним чином розраховуються інші метрики, критерії та фактор, що дорівнює $\Phi = 0{,}739$, з характеристикою невизначеності $\sigma_\Phi = 0{,}12$ (табл. 3).

За порівнянням результатів табл. 1 і табл. 3 можна вважати, що результати оцінювання комплексного ПЯ збігаються з оглядом на отриману невизначеність.

Порівняння бюджетів невизначеності (з однаковими вихідними даними) за табл. 1 (оператор агрегування — середнє арифметичне і зважене середнє арифметичне) і за табл. 3 (оператор агрегування — медіана) демонструє значне збільшення невизначеності при застосуванні медіани.

Тому для властивостей якості складних об'єктів, що відображаються за метричними шкалами, при їх агрегуванні доцільно використовувати середнє арифметичне, а для ординальних властивостей — адекватний їх агрегуванню оператор — медіану.

Таблиця 3

Бюджет невизначеності при оцінюванні комплексного показника якості за медіаною

Фактор	Стандартна невизначеність оцінювання фактора	Ваговий коефіцієнт критерію	Критерій	Стандартна невизначеність критерію	Ваговий коефіцієнт метрики	Метрика	Стандартна невизначеність метрики	Одиничні ПЯ (оціночні елементи)
Φ	$u_c(\Phi)$	ρ_i	K_i	$u_c(K_j)$	V_{ji}	M_{ji}	$u_c(M_{ji})$	z_{jil}
0,73	0,12	0,3	0,81	0,081	0,4	0,75	0,06	0,8; 0,7
					0,3	0,90	0,06	0,9
					0,3	0,80	0,073	0,7; 0,9; 0,8; 0,9; 0,7
		0,4	0,5	0,099	1	0,50	0,099	0,3; 0,3; 0,4; 0,4; 0,5; 0,6; 0,6; 0,7; 0,7
		0,3	0,83	0,021	0,5	0,85	0,06	0,9; 0,8
					0,5	0,80	0,073	0,9; 0,9; 0,7; 0,8; 0,7

Слід зазначити, що неодноразово проведені процедури оцінювання комплексного показника якості показали, що комплексний показник якості може супроводжуватися значною невизначеністю при розбіжності внеску окремих одиничних ПЯ. Причиною може бути значна розбіжність або значень одиничних ПЯ, або їх вагових коефіцієнтів. Тому визначення комплексного показника якості у структурах якості складних об'єктів з ординальними властивостями відносять до "м'яких" вимірювань. Доцільною є розробка способів зменшення невизначеності при застосуванні оператора агрегування медіани [9].

Висновки

У роботі подано спосіб оцінювання невизначеності комплексного ПЯ за ієрархічною структурою ПЯ складного об'єкта при використанні операторів агрегування ПЯ: середнього арифметичного і зваженого середнього арифметичного.

Запропоновано і розглянуто спосіб оцінювання комплексного ПЯ за одиничними ПЯ, що характеризують ординальні властивості складного об'єкта, з використанням оператора агрегування одиничних ПЯ — медіани.

Подано спосіб оцінювання невизначеності комплексного ПЯ з використанням оператора агрегування одиничних ПЯ — медіани.

Зазначено, що при плануванні процедури оцінювання якості складного об'єкта треба враховувати можливу розбіжність внесків одиничних ПЯ, що може бути причиною значного збільшення невизначеності.

Запропоновані способи оцінювання супроводжено прикладами складання бюджетів невизначеності отриманого комплексного ПЯ за різними способами агрегування одиничних ПЯ.

Оценка комплексного показателя качества сложного объекта с характеристикой неопределенности

Н.А. Яремчук, О.Ю Года, В.В. Проскин

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", пр. Победы, 37, 03056, Киев, Украина
R_Olia@i.ua

Аннотация

Рассматриваются вопросы определения комплексного показателя качества сложных объектов. Модель оценки качества сложного объекта обычно является иерархической. В современных источниках информации приведены методы нахождения комплексного показателя качества в случае, когда свойства качества сложных объектов отражаются по метрическим шкалам и подлежат измерению. Один из методов продемонстрирован в статье, но при этом отсутствуют способы расчета неопределенности при оценке комплексного показателя качества с помощью единичных показателей качества в иерархической структуре. В статье предложен способ расчета неопределенности комплексного показателя качества, полученного с помощью объединения единичных показателей качества, которые отражаются метрическими шкалами.

Обзор показателей качества сложных объектов свидетельствует, что значительная часть свойств, характеризующих качество сложного объекта, отражается ординальными шкалами. Поэтому возникает необходимость в разработке подходов к оценке качества сложных объектов по иерархической структуре показателей качества при наличии ординальных свойств. В статье предложен подход к определению комплексного показателя качества сложного объекта при условии, что единичные показатели отражаются ординальными шкалами. Также представлен способ оценивания неопределенности комплексного показателя качества с использованием оператора агрегирования единичных показателей качества — медианы. Оценка комплексного показателя качества сопровождается расчетом неопределенности полученного показателя качества.

Ключевые слова: комплексный показатель качества, неопределенность, медиана, единичный показатель качества.

Evaluation of a complex quality index of a complex object with uncertainty characteristic

N. Yaremchuk, O. Goda, V. Proskin

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremohy Ave, 37, 03056, Kyiv, Ukraine
R_Olia@i.ua

Abstract

The question of defining a complex quality index of complex objects is considered in the article. The model for evaluation of the quality of a complex object is usually hierarchical. In modern information sources, methods of finding a complex quality index are presented in the case when the properties of the quality of complex objects are displayed on metric scales and subject to measurement. One of the methods is shown in the article, but there are no ways to calculate the uncertainty when evaluating the complex quality index by the single quality indicators in the hierarchical structure. A method for calculating the uncertainty of the complex quality index obtained by aggregating the single quality indicators, which are displayed by metric scales, is proposed in the article.

An overview of the quality indicators of complex objects suggests that a significant part of the properties that characterize the quality of a complex object is displayed by ordinal scales. Therefore, there is a need to develop approaches for evaluating the quality of complex objects by a hierarchical structure of quality indicators with the availability of ordinal properties. The article proposes an approach to the determination of a complex quality index of a complex object, provided that the single quality indicators are displayed by the ordinal scales. A method for estimating the uncertainty of the complex quality index using the aggregate operator of the single quality indexes, the median, is also presented in the article. The evaluation of the complex quality index is accompanied by the calculation of uncertainty of the obtained quality index.

Keywords: complex quality index, uncertainty, median, single quality index.

Список літератури

1. ГОСТ 28195–89. Оценка качества программных средств. Общие положения. Москва, 1990. 30 с.
2. ДСТУ ISO/ IEC 14598–1:2004. Інформаційні технології. Оцінювання програмного продукту. Частина 1. Загальний огляд (ISO/IEC 14598–1:1999, IDT). Київ, 2006. 17 с.
3. ДСТУ ISO/IEC 9126–1:2013. Програмна інженерія. Якість продукту. Частина 1. Модель якості (ISO/IEC 9126–1:2001, IDT). Київ, 2014. 20 с.
4. ДСТУ ISO/IEC TR 9126–2:2008. Програмна інженерія. Якість продукту. Частина 2. Зовнішні метрики (ISO/IEC TR 9126–2:2003, IDT). Київ, 2011. 85 с.
5. ДСТУ ISO/IEC TR 9126–3:2012. Програмна інженерія. Якість продукту. Частина 3. Внутрішні метрики (ISO/IEC TR 9126–3:2003, IDT). Київ, 2013. 46 с.
6. ДСТУ ISO/IEC TR 9126–4:2012. Програмна інженерія. Якість продукту. Частина 4. Метрики якості під час використання (ISO/IEC TR 9126–4:2004, IDT). Київ, 2013. 49 с.
7. International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM). ICGM, 2012. 88 p.
8. Лагутин М.Б. Наглядная математичная статистика. Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 472 с.
9. Сікоза О.М., Яремчук Н.А. Обчислення невизначеності при експериментальному оцінюванні вагових коефіцієнтів. *Системи обробки інформації.* 2011. № 1(91). С. 48–51.
10. Солопченко Г.Н. Представление измеряемых величин и погрешностей измерений как нечетких переменных. *Измерительная техника.* 2007. № 2. С. 3–7.
11. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.С. Експертні технології прийняття рішень: монографія. Київ: ТОВ "Маклаут", 2008. 444 с.

References

1. GOST 28195–89. Otsenka kachestva programmnykh sredstv. Obshchiye polozheniya [Vved. 01.07.90] [Evaluation of the quality of software. General provisions]. Moscow, 1990. 30 p. (in Russian).
2. DSTU ISO/ IEC 14598–1:2004. Informatsiyni tekhnolohiyi. Otsinyuvannya prohramnoho produktu. Chastyna 1. Zahal'nyy ohlyad [Information technology. Evaluation of the software product. Part 1. Overview] (ISO/IEC 14598–1:1999, IDT). Kyiv, 2006. 17 p. (in Ukranian).
3. DSTU ISO/IEC 9126–1:2013. Prohramna inzheneriya. Yakist' produktu. Chastyna 1. Model' yakosti (ISO/IEC 9126–1:2001, IDT). [ISO/ IEC 9126–1:2001. Software engineering. Product quality. Part 1: Quality model]. Kyiv, 2014. 20 p. (in Ukranian).
4. DSTU ISO/IEC TR 9126–2:2008. Prohramna inzheneriya. Yakist' produktu. Chastyna 2. Zovnishni

metryky (ISO/IEC TR 9126–2:2003, IDT) [ISO/IEC TR 9126–2:2003. Software engineering. Product quality. Part 2: External metrics]. Kyiv, 2011. 85 p. (in Ukranian).
5. DSTU ISO/IEC TR 9126–3:2012. Prohramna inzheneriya. Yakist′ produktu. Chastyna 3. Vnutrishni metryky (ISO/IEC TR 9126–3:2003, IDT) [ISO/IEC TR 9126. Software engineering. Product quality. Part 3: Internal metrics]. Kyiv, 2013. 46 p. (in Ukranian).
6. DSTU ISO/IEC TR 9126–4:2012. Prohramna inzheneriya. Yakist′ produktu. Chastyna 4. Metryky yakosti pid chas vykorystannya (ISO/IEC TR 9126–4:2004, IDT) [ISO/IEC TR 9126–4:2004. Software engineering. Product quality. Part 4: Quality in use metrics]. Kyiv, 2013. 49 p. (in Ukranian).
7. International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM). ICGM, 2012. 88 p.
8. Lagutin M. B. *Naglyadnaya matematicheskaya statistika* [Transparent mathematical statistics]. Moscow, BINOM, Laboratoriya znaniy, 2007. 472 p.
9. Sikoza O. M., Yaremchuk N. A. Obchyslennya nevyznachenosti pry eksperymental′nomu otsinyuvanni vahovykh koefitsiyentiv [Calculation of uncertainty in the experimental estimation of weight coefficients]. *Systemy obrobky informatsiyi*, 2011, no. 1(91), pp. 48–51.
10. Solopchenko G. N. Predstavleniye izmeryayemykh velichin i pogreshnostey izmereniy kak nechetkikh peremennykh [Representation of measured values and measurement errors as fuzzy variables]. *Izmeritel'naya tekhnika,* 2007, no. 2, pp. 3–7.
11. Hnatiyenko H. M., Snytyuk V. S. Ekspertni tekhnolohiyi pryynyattya rishen′: Monohrafiya [Expert Decision Technology: Monograph]. Kyiv, TOV "Maklaut", 2008. 444 p.

UDC 519.25

The method of identifying the distribution laws in estimating the results of multiple measurements

D. Losikhin, O. Oliynyk, Yu. Taranenko, O. Chorna

Ukrainian State University of Chemical Technology, Department of Computer-Integrated Technologies and Metrology, Gagarina Ave., 8, 49005, Dnipro, Ukraine
oleinik_o@ukr.net

Abstract

The article is devoted to the development of a new method for identifying the distribution laws in the evaluation of the results of multiple measurements. Identification of the distribution laws is today an actual metrological task, because the adopted limitations on the number of measurements and assumptions about the law of distribution of a random error can introduce additional uncertainty into the evaluation of the result of measurements.

The use of well-known classical approaches to the identification of distribution laws involves a number of difficulties that are related to the need to use the completeness of the considered set of models and the correctness of the application of the corresponding statistical methods.

The information approach used in the evaluation of measurement uncertainty allows to express the relationship between the error information characteristic — the entropy value of the error and the probabilistic error characteristic — the root-mean-square deviation. Since the form of the distribution law is characterized by antikurtosis, the classification of distribution laws was considered in the two-dimensional space of the entropy coefficient of the distribution law and its antikurtosis. This approach formed the basis for the developed method of identifying distribution laws.

A model of the method for identifying distribution laws using the entropy coefficient of the distribution and antikurtosis law is obtained. A comparative analysis of the laws of distribution of measurement errors using software is made, which allows simulating the noise effect that adheres to the distributions in question.

Keywords: entropy, error, uncertainty, distribution law, histogram.

Received: 04.06.2018 Edited: 18.06.2018 Approved for publication: 25.06.2018

© ННЦ «Інститут метрології», 2018