Науковий вісник НЛТУ України
Scientific Bulletin of UNFU
http://nv.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/40271025
Article received 27.11.2017 p.
Article accepted 28.12.2017 p.
УДК 004.891

ISSN 1994-7836 (print)
ISSN 2519-2477 (online)

@ Correspondence author
Yu. I. Hrytsiuk
yurii.i.hrytsiuk@lpnu.ua

Ю. І. Грицюк, А. Ю. Бучковська
Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛЯРНИХ ДІАГРАМ

Розроблено методику візуалізації інформації, яку можна отримати внаслідок оброблення експертних оцінок якості програмного забезпечення (ПЗ) за різними критеріями його оцінювання з використанням полярних діаграм. Встановлено, що під візуалізацією результатів експертного оцінювання якості ПЗ розуміють подання інформації у графічному вигляді для максимальної зручності її розуміння та швидкого сприйняття, а також надання осяжної та зрозумілої форми будь-якому об'єкту, суб'єкту, процесу тощо. Запропоновано критерії оцінювання якості ПЗ та їхні вагові коефіцієнти для кожного з експертів, які забезпечують достовірне подання наявного стану процесу розроблення ПЗ, правильне розуміння суті проблем, що можуть виникнути на будь-якому етапі реалізації програмного проекту, і точні характеристики їх складових. Розроблено алгоритм розрахунку площ секторних багатокутників у полярній системі координат, за допомогою якого можна обчислити і оцінити відносну якість ПЗ за відповідними критеріями. Визначено комплексні підсумкові показники якості ПЗ для кожного з експертів і комплексний узагальнений показник його якості для усіх експертів. Розроблено алгоритм розрахунку площі неправильного багатокутника у полярній системі координат, який дає змогу визначити ту частину якості ПЗ за всіма критеріями, яку маємо на даний момент за оцінками одного з експертів, а також ту частку якості ПЗ, яку ще потрібно досягти для 100 % її повноти. Зроблено відповідні висновки та надано рекомендації щодо використання розробленої методики візуалізації інформації.

Ключові слова: інформаційні технології; програмний проект; візуалізація інформації; експертні оцінки; якість програмного забезпечення; критерії оцінювання якості; показники якості програмного забезпечення; полярна система координат; полярні діаграми.

Вступ. Якість програмного забезпечення (ПЗ) є основною характеристикою в різних сферах використання інформаційних технологій (Pleskach, Zatonatska, 2011), яка вказує на ступінь його відповідності встановленим вимогам (ISO 9001, 2008; Pomorova, & Hovorushchenko, 2013). Зазвичай, такі вимоги трактують по-різному, що породжує декілька незалежних визначень цього терміна. Здебільшого, під якістю ПЗ розуміють набір властивостей програмного продукту, що характеризують його здатність задовольнити встановлені або передбачувані потреби замовника, які він висловив у вигляді користувацьких вимог до ПЗ на початкових етапах його розроблення (Pomorova, & Hovorushchenko, 2013a, 2013b).

Стандарт ISO/IEC 9126 регламентує зовнішні й внутрішні характеристики якості ПЗ. Якщо зовнішні характеристики відображають вимоги до функціонування ПЗ, то внутрішні характеристики використовують для складання плану досягнення необхідних зовнішніх характеристик його якості (ISO/IEC TR 9126-2, 9126-3, 2003). Як зовнішні, так і внутрішні характеристики якості відображають властивості самого ПЗ, а також погляди замовника і розробника на нього. Однак, безпосереднього користувача ПЗ в основному цікавить експлуатаційна його якість (ISO/IEC 9126, 1991), тобто сукупний ефект від досягнення характеристик програми, що вимірюється швидкістю та достовірністю отриманого результату, а не її властивістю. Це поняття значно ширше, ніж будь-яка окрема характеристика ПЗ, наприклад, зручність його використання чи надійність роботи (ISO/IEC TR 9126-4, 2004).

Зазвичай, під оцінюванням якості ПЗ розуміють дії, що визначають, як саме ПЗ відповідає своєму призначенню (Kuliamin, Petrenko, 2008). Якість ПЗ оцінюють з використанням моделі якості (ISO/IEC 9126-1, 2001). Таке оцінювання набуває особливого значення із розвитком і вдосконаленням технологій оброблення експертних даних (Morhun, 2011). Усе це призвело до потреби розроблення методів і засобів комплексного оцінювання різноманітних характеристик якості ПЗ, які б враховують деякі невизначеності вхідної інформації, так і суб'єктивність оцінок експертів (Botsula & Morhun, 2008; Voronin, Ziatdinov & Kulinskii, 2011).

Загалом, експертні технології – невід'ємна складова процесу прийняття управлінських рішень (DeMarco Tom, 2002) як при розробленні ПЗ, при управлінні змінами вимог до нього та ризиками його реалізації, так і

Інформація про авторів:

Грицюк Юрій Іванович, д-р техн. наук, професор кафедри програмного забезпечення. **Email:** yurii.i.hrytsiuk@lpnu.ua; ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8183-3466, ResearcherID: V-3995-2017

Бучковська Анастасія Юріївна, студент кафедри програмного забезпечення. **Email:** anastasiia.buchkovska@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Грицюк Ю. І., Бучковська А. Ю. Візуалізація результатів експертного оцінювання якості програмного забезпечення з використанням полярних діаграм. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(10). С. 137–145.

Citation APA: Hrytsiuk, Yu. I., & Buchkovska, A. Yu. (2017). Visualization of the Results of Expert Evaluation of Software Quality Using Polar Diagrams. *Scientific Bulletin of UNFU, 27*(10), 137–145. https://doi.org/10.15421/40271025

під час управління його якістю (Botsula & Morhun, 2014; Paulk & Curtis, 2001). Прийняття рішень професійними експертами ґрунтується на достовірному поданні наявної ситуації, правильному розумінні суті проблеми і точності характеристик її складових. Кожний експерт, який бере участь в процесі оцінювання якості ПЗ і від думки якого залежить остаточне рішення керівника проекта, повинен володіти необхідними знаннями в своїй предметній області, має мати певний досвід і навики роботи. За їх відсутності надані експертами оцінки можуть призвести до невиправних помилок і значних втрат – матеріальних і часових.

Зниження ризику прийняття помилкових рішень керівником проекта можна досягнути за умови використання інформаційних технологій оброблення даних, візуалізації отриманих результатів у вигляді, зручному для швидкого сприйняття та ефективного аналізу, а також прогнозування подальших подій, в т.ч. й негативних наслідків від них. Наявні на сьогодні можливості автоматизації оброблення даних дають змогу бізнес-аналітикам формалізувати якісні та кількісні оцінки від експертів і комплексно оцінити різноманітні характеристики якості ПЗ.

Відомо (Bederson & Shneiderman, 2003; Card, Mackinlay & Shneiderman, 1999; Spence, 2007), що термін "візуалізація" походить від латинського visualis – сприйняття візуально, унаочнення, створення умов для візуального спостереження. Трапляються різні тлумачення цього терміну. Наприклад, візуалізація – це детальне відтворення вашого бажання в уяві. Загалом, *візуалізація* – це процес побудови графічного образу даних, що допомагає під час загального аналізу даних вбачати їхні аномалії, структури, зв'язки тощо (Kerren et al., 2008). У комп'ютерній графіці візуалізацією (рендерінгом) називають процес отримання зображення за його комп'ютерною моделлю (Mazza, 2009).

Під візуалізацією *результатів експертного оцінювання якості ПЗ* розумітимемо подання інформації у графічному вигляді для максимальної зручності її розуміння та швидкого сприйняття, а також надання осяжної та зрозумілої форми будь-якому об'єкту, суб'єкту, процесу тощо. Проте, серед значної кількості теоретиків і практиків у галузі інформаційних технологій побутує думка, що таке розуміння візуалізації інформації сприяє мінімальній розумовій і пізнавальній активності бізнес-аналітика, а візуальні інструментальні засоби виконують для нього тільки ілюстративну функцію (Spence, 2007; Ware, 2000). Спробуємо дещо спростувати такі, як на наш погляд, хибні думки і довести неабияку користь візуалізації інформації в галузі розроблення ПЗ та оцінювання його якості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Експертні методи оцінювання якості продукції добре себе показали в різних виробничих сферах (Botsula & Morhun, 2008; Pleskach, Zatonatska, 2011), а тому багато теоретиків і практиків у галузі інформаційних технологій спробували перенести цей досвід на процес розроблення ПЗ та управління його якістю (Botsula & Morhun, 2014; Pomorova & Hovorushchenko, 2013a). Загалом, застосування експертних технологій дає змогу бізнес-аналітикам визначити як якість майбутнього та вже розробленого ПЗ, так і складність реалізації програмного проекту (DeMarco Tom, 2002). Також такі технології забезпечують достовірне оцінювання обсягу, тривалості та вартості виконуваних робіт, обґрунтування особливостей виконання завдань проекту й зусилля, витрачені керівником проекта для підготовки, прийняття та реалізації того чи іншого рішення. Однак, експертні оцінки на різних етапах реалізації програмного проекта можуть слугувати тільки основою для визначення попередніми показників якості ПЗ чи складності реалізації проекта, а тому мають рекомендаційний характер. Тільки оцінювання експертами готового програмного продукту в реальних умовах його безпосередньої експлуатації може дати достовірну та остаточну оцінку якості ПЗ.

Особливості застосування моделей оцінювання якості ПЗ за визначеними методиками розглянуто в роботах (Botsula & Morhun, 2008; ISO/IEC 9126-1, 2001; Nazemi, 2014). Щодо застосування методів і засобів експертного оцінювання якості ПЗ, то ця проблема широко висвітлена в дослідженні (Pleskach, Zatonatska, 2011). У різних наукових працях процес експертного оцінювання якості ПЗ описано з урахуванням сфери компетентності експертів і за умови фіксації вагомостей кожного з них за встановленими критеріями (Morhun, 2011). Водночас, у роботі (Botsula & Morhun, 2011) запропоновано метод оцінювання якості веб-матеріалів на базі оцінок двох груп респондентів – "користувачі" та "експерти". Автори цієї роботи вважають, що цей метод надає можливість якісного та кількісного комплексного подання множини значень за допомогою діаграми-багатокутника, побудованого у полярній системі координат. Також ними розроблено відповідний програмний засіб для аналізу отриманих оцінок і розрахунку комплексного показника якості веб-матеріалів.

Проте, процедура оцінювання якості ПЗ та наявні методи і засоби забезпечення цієї якості, як власне і процес розроблення самого ПЗ залишаються незабезпеченими фундаментальною теорією та ефективною методологією. Усі дослідження у галузі оцінювання якості ПЗ, особливо на ранніх етапах його життєвого циклу, мають хаотичний, несистематизований характер. Водночас, як доведено у роботах (Pomorova & Hovorushchenko, 2013a, 2013b), саме в кінці етапу проектування архітектури ПЗ можна й варто виявляти та усувати до 55 % всіх недоліків майбутнього програмного продукту. Безумовно, є багато фундаментальних досліджень з інженерії ПЗ (роботи Боема, Дейкстри, Мейєра), але відсутня завершена, протестована та апробована теорія та методологія розроблення складного і, водночас, якісного ПЗ, а також методи і засоби оцінювання та прогнозування його якості на ранніх етапах життєвого циклу. Тому галузь оцінювання якості програмних продуктів потребує нагальних змін для запобігання непередбачених втрат і неприємних інцидентів, викликаних помилками роботи ПЗ.

Не претендуючи на кардинальні зрушення в експертних технологіях, спробуємо внести і свою лепту в експертні методи оцінювання якості ПЗ, особливо у галузь візуалізації експертної інформації. Тому, як на сьогодні, видається нам актуальним дослідження, яке стосується розроблення адекватної методики візуального подання оцінок експертів у вигляді полярних діаграм, обґрунтування критеріїв оцінювання якості ПЗ та їхньої важливості для кожного з експертів, а також унаочнення комплексних показників якості ПЗ для кожного з експертів зокрема і для усіх експертів загалом.

Об'єкт дослідження – експертне оцінювання якості ПЗ.

Предмет дослідження – методи та засоби візуалізації інформації, отриманої внаслідок оброблення експертних оцінок якості ПЗ за різними критеріями, у вигляді, зручному для швидкого сприйняття та ефективного аналізу.

Мета дослідження полягає в розробленні методики візуалізації інформації, отриманої внаслідок оброблення експертних оцінок якості ПЗ за різними критеріями з використанням полярних діаграм.

Для реалізації зазначеної мети потрібно виконати такі основні завдання:

1) обґрунтувати подання оцінок експертів у вигляді полярних діаграм, які дадуть змогу лаконічно навести в зображенні те, що в текстовому еквіваленті займе декілька абзаців;
2) запропонувати критерії оцінювання якості ПЗ та їхні вагові коефіцієнти для кожного з експертів, які забезпечать достовірне подання наявної ситуації, правильне розуміння суті проблеми і точні характеристики її складових;
3) визначення комплексних підсумкових показників якості ПЗ для кожного з експертів зокрема і для узагальненого експерта загалом, які дадуть змогу бізнес-аналітикам обчислити і оцінити відносну якість розроблюваного ПЗ;
4) зробити відповідні висновки та надати рекомендації щодо використання розробленої методики візуалізації інформації.

Подання оцінок експертів у вигляді полярної діаграми. Результати багатьох досліджень (Bederson, & Shneiderman, 2003; Card, Mackinlay, & Shneiderman, 1999; Heer, Card, & Landay, 2005) показують, що продуктивність праці бізнес-аналітика, який використовує візуальну інформацію, на 17% вища. Багато науковців (Spence, 2007; Ware, 2000) вважають, що завдяки унаочненню інформації людина може запам'ятати такі її деталі, які в тексті не привернули б увагу навіть уважного читача, який вдумується в прочитане та аналізує його. Якщо ж інформація (наприклад, бізнес-вимоги до ПЗ) надходить від замовника ПЗ до аналітика не просто у вигляді набору тексту, а з відповідними рисунками, схемами та іншими візуальними ефектами, то таку інформацію, безсумнівно, аналітик сприймає набагато швидше та значно легше і, як наслідок, дещо більше.

За останні роки у області подання візуальної інформації відбулися колосальні зміни – зріс її обсяг, кількість і якість як позитивної, так і не зовсім. З'явилися також нові види візуальної інформації та форми її подання. З огляду на цю ситуацію, під *візуалізацією інформації* (англ. Information Visualisation) розуміють інтерактивне вивчення візуального подання абстрактних даних для посилення людського пізнання (Mazza, 2009). Абстрактні дані можуть містити як числову, текстову, так і графічну інформацію. Водночас, *візуалізація даних* (англ. Data Visualisation) – це графічна презентація інформації, завдяки якій можна лаконічно подати в зображенні те, що в текстовому еквіваленті займе декілька абзаців. У цьому дослідженні спробуємо розробити методику візуалізації результатів експертного оцінювання якості ПЗ за різними критеріями, де врахуємо не тільки різну важливість кожного з критеріїв, але й вагомість самих експертів, що дасть змогу комплексно оцінити якість ПЗ.

Для реалізації можливості візуалізації результатів опитувань експертів за деякими критеріями оцінювання якості ПЗ (Botsula & Morhun, 2011) та отримання його комплексного показника спробуємо використати *полярні діаграми*. Зазвичай, під *полярною діаграмою* розуміють графічний спосіб відображення абстрактних даних у вигляді двовимірної діаграми з трьома або більшою кількістю змінних (векторів). Ці змінні відображають на осях, що мають спільний початок. Відносне положення та кут нахилу осей, зазвичай, у полярній діаграмі не вказують, що, як на наш погляд, є хибною практикою. У різній науковій літературі (Kerren et al., 2008; Mazza, 2009; Spence, 2007) можна натрапити на такі назви полярної діаграми: *веб-діаграма*, *діаграма павука*, *карта зоряного неба*, *зоряна діаграма*, *графік-павутина*, *неправильний багатокутник* і *пелюсткова діаграма*.

Критерії оцінювання якості ПЗ подамо у вигляді векторів (змінних) полярної системи координат, які загалом утворюють полярну діаграму (рис. 1,*а*). Кожний такий вектор має такі показники як довжину і кут нахилу до попереднього вектора. Вважатимемо, що довжина вектора відповідає кількісному показнику якості ПЗ за відповідним критерієм. Як виняток, максимальна довжина будь-якого з векторів має відповідати 100 % якості ПЗ за відповідним критерієм. Зазвичай, реальна довжина кожного з векторів становить тільки певну частину від його максимальної довжини, що відповідає реальній якості ПЗ за відповідним критерієм.

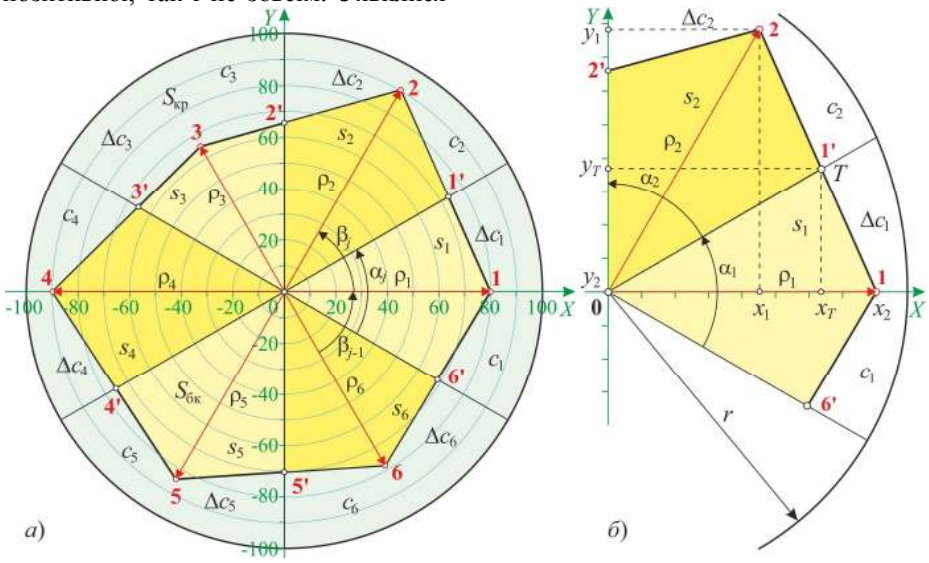

Рис. 1. Подання критеріїв оцінювання якості ПЗ у полярній системі координат

Автори у роботі (Botsula & Morhun, 2011) стверджують, що кут β між векторами характеризує величину впливу відповідного критерію на результат оцінювання якості ПЗ. Якщо всі критерії мають однаковий вплив на якість ПЗ, то вектори відповідних критеріїв будуть рівномірно розподілені у секторах полярної системи координат. Наприклад, для шести критеріїв цей кут між усіма векторами становитиме $\beta = 2\pi/6$. У випадку неоднакового впливу критеріїв на якість ПЗ, то кути між відповідними векторами можна визначити за формулою

$$\tilde{\mathrm{B}} = \left\{ \beta_j = 2\pi \cdot w_j \Big/ \sum_{i=1}^{N} w_i , j = \overline{1,N} \right\}, \qquad (1)$$

де: $\tilde{W} = \{w_j, j = \overline{1,N}\}$ – ваговий коефіцієнт j-го критерію оцінювання якості ПЗ, який відповідає певному експерту; N – кількість критеріїв оцінювання якості ПЗ.

Якщо відкласти вектори-критерії (ρ_1, ..., ρ_6) у полярній системі координат і з'єднати отримані точки їхніх вершин, то матимемо неправильний багатокутник **1,2,...,6** (рис. 1,*а*), площа якого ($S_{\text{бк}}$) кількісно характеризуватиме якість ПЗ за всіма критеріями одночасно. Площі окремих багатокутників (s_1, ..., s_6 – які назвемо секторними багатокутниками), обмежені полярними секторами (c_1, ..., c_6) з кутом $\alpha_j = (\beta_j + \beta_{j-1})/2$ між векторами, будуть кількісно характеризувати якість ПЗ за відповідними критеріями його оцінювання.

Форма неправильного багатокутника дає якісну характеристику ПЗ за усіма критеріями одночасно, а форма секторного багатокутника (наприклад, **0,6',1,1'**, **0,1',2,2'** і т.д.) – за відповідним критерієм. Якщо поділити площу неправильного багатокутника ($S_{\text{бк}}$) на площу круга ($S_{\text{кр}}$), в якому звін находиться, то отримаємо частку якості ПЗ, яку маємо на даний момент за оцінками певного експерта. Незаповнена площа круга ($\Delta S_{\text{кр}} = S_{\text{кр}} - S_{\text{бк}}$) – та частина якості ПЗ, яку ще потрібно досягти для 100 % її повноти. Якщо поділити площу секторного багатокутника (s_j) на площу сектора (c_j), в якому він знаходиться, то отримаємо частину якості ПЗ за j-им критерієм, яку маємо на даний момент за оцінками певного експерта. Незаповнена площа сектора круга ($\Delta c_j = s_j - c_j$) – та частка якості ПЗ, яку ще потрібно досягти за відповідним критерієм. Звернемо увагу, що радіус круга (r) має відповідати 100 % якості ПЗ за усіма критеріями його оцінювання.

Наведений вище підхід до визначення комплексного показника якості ПЗ та її (якості) подальшого аналізу є правомірним за певних умов: 1) критеріїв-векторів потрібно не менше трьох; 2) область полярного сектора з бічними його променями, які знаходяться під кутом α, потрібно поділити навпіл вектором-критерієм; 3) початковий вектор-критерій має знаходитися на додатній осі ординат декартової системи координат.

Алгоритм розрахунку площ секторних багатокутників. Для знаходження площ (s_1, ..., s_6) секторних багатокутників (див. рис. 1,*а*) використаємо такий алгоритм розрахунку. Насамперед наведемо відповідну розрахункову схему (рис. 1,*б*), на якій невідомими є координати точки **1'** (позначимо її через T) і точки **6'**. Точка T утворюється внаслідок перетину відрізка **[2, 1]** з бічним променем **[0, 1')** полярного сектора (див. рис. 1,*а*). Тут відрізок **[2, 1]** є стороною неправильного багатокутника **1,2,...,6**, побудованого у декартовій системі координат, а промінь **[0, 1')** знаходиться під кутом $\alpha_1/2$ до променя **[0, 6')** у полярній системі координат. Водночас, точка **6'** утворюється внаслідок перетину відрізка **[1, 6]** з бічним променем **[0, 6')** полярного сектора. Нижче розглянемо алгоритм розрахунку координат точки T, позаяк координати точки **6'** потрібно розрахувати аналогічно.

Отже, з рис. 1,*б* видно, що відрізок **[2, 1]** можна задати координатами двох точок – вершинами векторів ρ_2 і ρ_1, а саме – **2**(x_1,y_1) і **1**(x_2,y_2). Для знаходження аналітичного виразу цього відрізка використаємо лінійну інтерполяцію. Її аналітичний вираз опишемо алгебраїчним двочленом $f(x) = ax + b$, який задамо двома кінцями відрізка **[2, 1]**. Геометрично це означає заміну графіка функції $f(x)$ прямою, що проходить через точки **2**(x_1,y_1) і **1**(x_2,y_2). Рівняння цієї прямої має такий вигляд:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, \qquad (2)$$

звідки для $x \in [x_2, x_1]$ отримаємо *формулу лінійної інтерполяції*

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1), \qquad (3)$$

за допомогою якої зможемо знайти значення абсциси точки T.

Для знаходження значення абсциси точки T, яка знаходиться на промені **[0, 1')** у полярній системі координат для $x \in [0, r]$, використаємо таку формулу:

$$y = y_0 + (x - x_0) \cdot \sin \alpha_1 / 2, \qquad (4)$$

де x_0 і y_0 – розрахункові координати центра полярної системи координат; r – радіус круга, у який вписано неправильний багатокутник **1,2,...,6** (рис. 1,*а*).

Прирівнявши вирази (3) і (4) між собою, матимемо:

$$y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) = y_0 + (x - x_0) \cdot \sin \alpha_1 / 2. \qquad (5)$$

Шляхом нескладних математичних перетворень отримаємо формулу

$$x = \frac{y_0 - y_1 + Ax_1 - x_0 \sin \alpha_1 / 2}{A - \sin \alpha_1 / 2}, \text{ де } A = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \qquad (6)$$

за допомогою якої зможемо обчислити значення ординати точки T у декартовій системі координат для $y \in [-r, r]$. Тепер значення абсциси точки T можна обчислити за однією з формул (3) чи (4).

Використовуючи аналогічні міркування, можна знайти значення координати точки **6'**, яка є другою невідомою вершиною секторного багатокутника **0,1',1,6'**.

Для знаходження площі (s_1) секторного багатокутника **0,1',1,6'** (див. рис. 1,*б*) за координатами його вершин можна використати таку формулу

$$s_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{4} \left| y_i \cdot x_{i+1} - x_i \cdot y_{i+1} \right|, \qquad (7)$$

де x_i та y_i – координати вершин секторного багатокутника.

Відповідно площу сектора круга (c_1), у який входить секторний багатокутник **0,1',1,6'**, через кут (α_1) між його радіусами (r) можна визначити за формулою

$$c_1 = \pi r^2 \alpha_1 / 2. \qquad (8)$$

Узагальнимо наведені вище вирази (3), (4) і (6) для знаходження координат усіх точок (**1'**, **2'**, ..., **6'**) неправильного багатокутника **1,2,...,6** (див. рис. 1,*а*). Оскільки у полярній системі координат відлік точок ведуть проти руху годинникової стрілки, то матимемо таку систему математичних виразів:

$$\begin{cases} A_j = \dfrac{y_j - y_{j+1}}{x_j - x_{j+1}}, j = \overline{1,N}; \\ x_j^{\mathrm{T}} = \dfrac{y_0 - y_{j+1} + A_j x_{j+1} - x_0 \sin\alpha_j / 2}{A_j - \sin\alpha_j / 2}, \; j = \overline{1,N}; \\ y_j^{\mathrm{T}} = \begin{cases} y_{j+1} + A_j \cdot (x_j^{\mathrm{T}} - x_{j+1}), \\ y_0 + (x_j^{\mathrm{T}} - x_0) \cdot \sin\alpha_j / 2, \end{cases} \; j = \overline{1,N}. \end{cases} \quad (9)$$

Отже, розроблено алгоритм розрахунку площ секторних багатокутників, за допомогою яких можна обчислити і оцінити якість ПЗ за відповідними критеріями. Також ці площі дають змогу визначити ту частину якості ПЗ за певним критерієм, яку маємо на даний момент за оцінками одного з експертів, а також ту частку якості ПЗ, яку ще потрібно досягти для 100 % її повноти.

Критерії оцінювання якості ПЗ та їхні вагові коефіцієнти, які надаються кожному з експертів. Як було зазначено вище, довжини векторів у полярній системі координат мають відповідати пропорційно значенням відповідних критеріїв оцінювання якості ПЗ, які можна визначити через оцінки *респондентів* і ролі кожного з них (Botsula & Morhun, 2008; Mazza, 2009). Зазвичай, респонденти ПЗ є учасниками процесу оцінювання його якості, які можуть виступати в двох ролях – як відповідного *експерта*, так і безпосереднього *користувача*. Відмінність ролей у тому, що оцінка якості ПЗ, яку надає певний *експерт*, повинна мати більшу важливість в зазначеному процесі, ніж оцінка, яку надає *користувач*, позаяк їхня кваліфікація є різною. Для уникнення подальшої плутанини усіх респондентів будемо називати *експертами*. Кожному експерту надамо певні вагові коефіцієнти для кожного з критеріїв оцінювання якості ПЗ, значення яких вказуватимуть на їхню обізнаність у певній предметній області (Yakovyna et al., 2010).

Зазвичай, зібрані в інтерактивному режимі оцінки якості ПЗ від кожного з експертів зберігають у базі даних, доступ до якої здійснюють через відповідний програмний засіб. Отримання оцінок від експертів має проходити у вигляді їхнього опитування з використанням ранжованої шкали за кожним з критеріїв (Voronin, Ziatdinov & Kulinskii, 2011). Кожен з експертів має виставити відповідні оцінки, кожну з яких потім маємо врахувати через відповідні вагові коефіцієнти (табл. 1). Зрозуміло, кожен з критеріїв буде по різному впливати на комплексний показник якості ПЗ, який згодом маємо визначити для кожного з експертів. Окрім цього, залежно від кваліфікації експерта кожний з них також матиме різні значення коефіцієнтів вагомості.

Введемо множину вагових коефіцієнтів для критеріїв оцінювання якості ПЗ, які надаються кожному з експертів, а саме:

$$\tilde{\tilde{W}} = \left\{ \tilde{W}_i = \{ w_{i,k} = [0(1)10], k = \overline{1,K} \}, i = \overline{1,M} \right\}, \quad (10)$$

де: $w_{i,k}$ – ваговий коефіцієнт i-го критерію оцінювання якості ПЗ, який надається k-му експерту; 0(1)10 – діапазон значень оцінок експертів від 0 до 10 з кроком 1; K – кількість експертів; M – кількість критеріїв оцінювання якості ПЗ.

Табл. 1. Критерії оцінювання якості ПЗ, їхні вагові коефіцієнти та оцінки експертів

№ з/п	Критерії оцінювання якості ПЗ	Експерти:				Середнє значення вагових коефіц.
		галузі застосування	зручності використання	з програмування	узагальнені користувачі	
		Вагові коефіцієнти / оцінки експертів, бали				
1	Точність управління та обчислень	8 / 10	5 / 9	9 / 10	7 / 8,05	7,25
2	Ступінь стандартності інтерфейсів	5 / 9	9 / 8	6 / 8	5 / 7,50	6,25
3	Функціональна повнота можливостей ПЗ	10 / 9	6 / 7	9 / 9	6 / 6,10	7,75
4	Стійкість до помилок користувача	6 / 6	5 / 5	10 / 8	7 / 7,70	7,00
5	Можливість розширення функцій	5 / 7	5 / 5	10 / 8	4 / 6,05	6,00
6	Зручність виконання завдань	9 / 9	9 / 7	7 / 8	10 / 7,85	8,75
7	Простота в обслуговуванні ПЗ	9 / 10	7 / 9	6 / 10	10 / 7,35	8,00
8	Відповідність чинним стандартам	6 / 6	5 / 8	10 / 7	5 / 5,55	6,50
9	Переносність між програмно-апаратного забезпеченням	8 / 9	6 / 7	9 / 6	6 / 7,85	7,25
10	Зручність навчання користувачів	7 / 6	8 / 5	6 / 9	10 / 4,30	7,75
	Загальна/середня кількість балів	73 / 8,10	65 / 7,00	82 / 8,30	70 / 6,83	7,25

У табл. 1 середнє значення вагових коефіцієнтів для i-го критерію оцінювання якості ПЗ можна визначити за такою формулою

$$\tilde{W}^{\mathrm{c}} = \left\{ w_i^{\mathrm{c}} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} w_{i,k}, i = \overline{1,M} \right\}. \quad (11)$$

Для кожного окремого експерта, що бере участь в процедурі оцінюванні якості ПЗ, в базі даних має зберігатися сукупність виставлених ним оцінок (див. табл. 1). Також у цій базі даних мають зберігатися ознаки ролей експертів (Botsula & Morhun, 2008; Paulk & Curtis, 2001) і коефіцієнти їхньої вагомості (табл. 2). Значення коефіцієнтів вагомості можуть бути виражені як у абсолютних одиницях, так і у відносних. Ці значення потрібно використати для врегулювання узагальнених показників якості ПЗ, які стосуватимуться окремо статичних (професійних) і динамічних (потенційних користувачів) експертів. Початкові значення коефіцієнтів вагомості експертів, зазвичай, беруть емпірично, виходячи із їхньої важливості на початковому етапі розроблення ПЗ. Насправді ж ці значення потрібно визначати через відповідні тести за 100-бальною шкалою, результати яких і визначають реальні значення коефіцієнтів вагомості експертів.

Табл. 2. Ролі експертів і коефіцієнти їхньої вагомості

Ролі експертів	Коефіцієнти вагомості:	
	абсолютні	відносні
Експерт галузі застосування	7	0,70
Експерт зручності використання	8	0,80
Експерт з програмування	9	0,90
Експерт – усереднені користувачі	5	0,50
Загальна кількість балів	29	2,90

Введемо множину коефіцієнтів вагомості, які присвоюються кожному з експертів під час оцінювання якості ПЗ, а саме:

$$\tilde{Q} = \left\{ q_k = [0(0,10)1], k = \overline{1,K} \right\}, \quad (12)$$

де q_k – коефіцієнт вагомості k-го експерта під час оцінювання якості ПЗ.

Отже, запропоновано критерії оцінювання якості ПЗ та їхні вагові коефіцієнти для кожного з експертів, які забезпечать достовірне подання наявного стану процесу розроблення ПЗ, правильне розуміння суті проблем, що можуть виникнути на будь-якому етапі реалізації програмного проекту, і точні характеристики їх складових.

Визначення комплексних показників якості ПЗ. Для визначення комплексних показників якості ПЗ використаємо сукупність оцінок, які нададуть відповідні *експерти* – учасники процесу оцінювання його якості (табл. 1). Постає завдання визначення комплексних підсумкових показників якості ПЗ для кожного з експертів зокрема і комплексного узагальненого показника якості ПЗ для усіх експертів загалом (Botsula, & Morhun, 2014; Morhun, 2011).

Введемо множину оцінок якості ПЗ, які може виставляти будь-який експерт за певним критерієм його оцінювання, а саме

$$\tilde{U} = \{u_i = [1(1)10], i = \overline{1,M}\}, \quad (13)$$

де u_i – оцінка якості ПЗ, яку надає експерт за i-им критерієм його оцінювання.

Кожна окрема оцінка якості ПЗ за відповідним критерієм, яку надає будь-який експерт, належить цій множині:

$$\tilde{\tilde{X}} = \left\{\tilde{X}_i = \{x_{i,k} \in u_i, k = \overline{1,K}\}, i = \overline{1,M}\right\}, \quad (14)$$

де $x_{i,k}$ – оцінка якості ПЗ за i-им критерієм його оцінювання, яку надає k-ий експерт у будь-який момент життєвого циклу ПЗ.

Для кожного експерта введемо таке поняття як *комплексний експертний показник* якості ПЗ за відповідним критерієм його оцінювання, який можна обчислити за такою формулою:

$$\tilde{\tilde{G}} = \left\{\tilde{G}_i = \{g_{i,k} = x_{i,k} \cdot w_{i,k} \cdot q_k, k = \overline{1,K}\}, i = \overline{1,M}\right\}, \quad (15)$$

де $g_{i,k}$ – комплексний експертний показник якості ПЗ за i-им критерієм його оцінювання, який стосується k-го експерта. Для узагальненого експерта так званий *комплексний експертний показник* якості ПЗ за відповідним критерієм його оцінювання обчислимо за такою формулою

$$\tilde{\tilde{G}} = \left\{\tilde{G}_i = \{g_{i,K+1} = \sum_{j=1}^{K} x_{i,j} \cdot w_{i,j} \cdot q_j \Big/ \sum_{j=1}^{K} q_j, i = \overline{1,M}\right\}, \quad (16)$$

де $g_{i,K+1}$ – комплексний експертний показник якості ПЗ за i-им критерієм його оцінювання, який стосується узагальненого (K+1)-го експерта.

Якщо врахувати, що оцінку якості ПЗ ($x_{i,k}$) експерти під час опитування виставляють за 10-бальною шкалою, ваговий коефіцієнт критерію оцінювання $w_{i,k}$ визначають також за 10-бальною шкалою, а коефіцієнт вагомості експерта q_k – безрозмірна величина від 0 до 1, то комплексний експертний показник якості ПЗ ($g_{i,k}$) матиме значення від 0 до 100.

Для обчислення *комплексного підсумкового показника* якості ПЗ для кожного з експертів використаємо таку формулу

$$\tilde{D} = \left\{d_k = q_k \cdot \sum_{i=1}^{M} x_{i,k} \cdot w_{i,k} \Big/ \sum_{i=1}^{M} w_{i,k}, k = \overline{1,K}\right\}, \quad (17)$$

а *комплексний узагальнений показник* якості ПЗ для усіх експертів загалом обчислимо за такою формулою

$$d^y = \sum_{k=1}^{K} d_k \Big/ \sum_{k=1}^{K} q_k . \quad (18)$$

В табл. 3 наведено результати розрахунку комплексних показників якості ПЗ та їхні усереднені значення з врахуванням вагових коефіцієнтів критеріїв його оцінювання, а також вагомості кожного з експертів зокрема і усіх експертів загалом.

Табл. 3. Результати розрахунку комплексних показників якості ПЗ та їхні усереднені значення

№ з/п	Критерії оцінювання якості ПЗ	Показники експертів:				Усереднені значення:	
		галузі	юзабіліті	програмування	користувачі	показника	оцінок
1	Точність управління та обчислень	80	45	90	56,35	69,37	9,57
2	Ступінь стандартності інтерфейсів	45	72	48	37,50	52,09	8,33
3	Функціональна повнота можливостей ПЗ	90	42	81	36,60	64,76	8,36
4	Стійкість до помилок користувача	36	25	80	53,90	49,71	7,10
5	Можливість розширення функцій	35	25	80	24,20	44,34	7,39
6	Зручність виконання завдань	81	63	56	78,50	67,84	7,75
7	Простота в обслуговуванні ПЗ	90	63	60	73,50	70,40	8,80
8	Відповідність чинним стандартам	36	40	70	27,75	46,23	7,11
9	Переносність між програмно-апаратного забезпеченням	72	42	54	47,10	53,84	7,43
10	Зручність навчання користувачів	42	40	54	43,00	45,34	5,85
	Усереднені оцінки експертів	8,32	7,03	8,21	6,83	7,78	**7,77**
	Оцінки експертів з врахуванням їхньої вагомості	5,82	5,62	7,39	3,42	7,60	**7,67**

Алгоритм розрахунку площі неправильного багатокутника. Комплексні експертні показники якості ПЗ подамо у вигляді векторів полярної системи координат, які мають утворити полярні діаграми для кожного експерта зокрема і узагальненого експерта загалом. Кожний такий вектор характеризується відповідно довжиною і кутом до попереднього вектора. Як було зазначено вище, довжина вектора у будь-якому випадку має відповідати кількісному значенню комплексного показника якості ПЗ за відповідним критерієм.

Звернемо увагу на те, що площа неправильного багатокутника кількісно характеризує якість ПЗ за всіма критеріями одночасно, а його форма дає якісну характеристику ПЗ. Для знаходження координат вершин неправильного багатокутника **1,2,...,6** (див. рис. 1,*а*) використаємо такий алгоритм розрахунку.

У випадку неоднакового впливу критеріїв на якість ПЗ (див. формулу (1)) кути між відповідними векторами з врахуванням (10) можна визначити за такою формулою

$$\tilde{\mathrm{B}}_k = \left\{\beta_{i,k} = 2\pi \cdot w_{i,k} \Big/ \sum_{j=1}^{M} w_{j,k}, i = \overline{1,M}\right\}, k = \overline{1,K}, \quad (19)$$

а для середнього значення оцінок якості ПЗ (тобто, k = K+1) з врахуванням (11) ця формула матиме вигляд

$$\tilde{\mathrm{B}}_k = \left\{\beta_{i,k} = 2\pi \cdot w_i^e \Big/ \sum_{j=1}^{M} w_j^e, i = \overline{1,M}\right\}, k = K+1. \quad (20)$$

Оскільки область полярного сектора з кутом β_j має бути поділена навпіл векторами-критеріями (див. формулу (1)), то перший вектор-критерій має знаходитися на осі ординат у декартовій системі координат. Тому початок відліку кута $\beta_{1,k}$ ($\forall k \in K+1$), який відповідає 1-му полярному сектору, почнемо зі значення кута $\alpha_{1,k} = -\beta_{1,k}/2$ ($\forall k \in K+1$), а всі інші кути обчислимо за такою формулою

$$\tilde{A}_k = \left\{ \alpha_{1,k} = -\beta_{1,k}/2; \alpha_{i,k} = \alpha_{i-1,k} + \beta_{i,k}, i = \overline{2,M} \right\}, k \in K+1 . \quad (21)$$

З врахуванням (15), значення абсциси вершини вектора-критерію у декартовій системі координат кожного вектора-критерію можна визначити за такою формулою

$$\tilde{A}_k = \left\{ a_{i,k} = g_{i,k} \cdot \sin(\alpha_{i,k}), i = \overline{1,M} \right\}, k \in K+1 , \quad (22)$$

а значення його ординати – за формулою

$$\tilde{B}_k = \left\{ b_{i,k} = g_{i,k} \cdot \cos(\alpha_{i,k}), i = \overline{1,M} \right\}, k \in K+1 , \quad (23)$$

де: $a_{i,k}$, $b_{i,k}$ – відповідно значення абсциси і ординати вершини i-го вектора-критерію у декартовій системі координат, який стосується k-го експерта. Для того, щоб переконатися у правильності виконання розрахунків, потрібно виконати таку перевірку

$$\tilde{C}_k = \left\{ c_{i,k} = \sqrt{a_{i,k}^2 + b_{i,k}^2}, i = \overline{1,M} \right\}, k \in K+1 . \quad (24)$$

Якщо $g_{i,k} = c_{i,k}$ ($\forall i,k$), то розрахунки виконано правильно. В іншому випадку потрібно перевірити правильність виконання попередніх розрахунків.

Маючи довжини значень векторів-критеріїв, отримані за формулою (15) чи (16), а також координати їхніх вершин, отримані за формулами (22) і (23), можна побудувати полярні діаграми для будь-якого з експертів зокрема, в т.ч. і для узагальненого (K+1)-го експерта загалом (рис. 2). Як було зазначено вище, форма неправильного багатокутника, побудованого за вершинами векторів-критеріїв, для будь-якого експерта дає якісну характеристику ПЗ за вибраними критеріями його оцінювання. Водночас, отримана площа багатокутника буде кількісно характеризувати якість ПЗ одночасно за всіма критеріями.

Для знаходження площі неправильного багатокутника за координатами його вершин можна використати таку формулу

$$S_k^{\text{бк}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{M} \left| a_{i,k} \cdot b_{i+1,k} - b_{i,k} \cdot a_{i+1,k} \right|, k \in K+1 . \quad (25)$$

Для встановлення частки наявної якості ПЗ, яку маємо на даний момент за оцінками певного експерта, потрібно поділити площу неправильного багатокутника на площу круга, в якому знаходиться цей багатокутник, а саме

$$z_k = \frac{S_k^{\text{бк}}}{\pi r^2}, k \in K+1 , \quad (26)$$

де: z_k – частка наявної якості ПЗ, яку встановлено за даними k-го експерта; r – радіус круга. Як було зазначено вище, комплексний показник якості ПЗ ($g_{i,k}$) матиме максимальне значення 100, тобто радіус круга становитиме 100 од. Незаповнена ж площа круга – та частка якості ПЗ, яку ще потрібно досягнути для 100 % її повноти.

З наведеного вище матеріалу видно, що у цьому дослідженні розроблено методику візуалізації результатів експертного оцінювання якості ПЗ, яка полягає у тому, що результатом оцінювання є множина неправильних багатокутників, побудованих у полярній системі координат за оцінками окремих експертів з врахуванням важливості кожного з критеріїв оцінювання і вагомостей самих експертів. Такий механізм візуалізації інформації надає можливість бізнес-аналітикам якісно та кількісно подати множини значень комплексних показників якості ПЗ, які можна отримати за результатами будь-яких опитувань різних експертів на певному етапі життєвого циклу ПЗ. Запропонована методика є придатною для подання множини результатів опитувань експертів з поділом на необмежену кількість ролей учасників оцінювання якості ПЗ з врахуванням вагомості кожного з них.

Отже, розроблено методику розрахунку комплексних підсумкових показників якості ПЗ для кожного з експертів зокрема і комплексний узагальнений показник його якості для усіх експертів загалом, які дадуть змогу бізнес-аналітикам обчислити і оцінити якість розроблюваного ПЗ на будь-якому етапі його життєвого циклу як статично, так і в динаміці.

Також розроблено алгоритм розрахунку площі неправильного багатокутника, побудованого у полярній системі координат за результатами експертного оцінювання якості ПЗ. Знання площі багатокутника дає можливість аналітикам кількісно оцінити якість ПЗ за всіма критеріями, а форма багатокутника дає якісну характеристику ПЗ. Ця площа дає змогу визначити ту частину якості ПЗ за всіма критеріями одночасно, яку маємо на даний момент за оцінками одного з експертів, а також ту частку якості ПЗ, яку ще потрібно досягти для 100 % її повноти.

Висновки. Розроблено методику візуалізації інформації, яку отримують внаслідок оброблення експертних оцінок якості ПЗ за різними критеріями його оцінювання з використанням полярних діаграм. За результатами дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Обгрунтовано подання оцінок експертів у вигляді полярних діаграм, які дають змогу лаконічно навести в зображенні те, що в текстовому еквіваленті займе декілька абзаців. Розроблено алгоритм розрахунку площ секторних багатокутників у полярній системі координат, за допомогою яких можна обчислити і оцінити відносну якість ПЗ за відповідними критеріями його оцінювання.

2. Запропоновано критерії оцінювання якості ПЗ та їхні вагові коефіцієнти для кожного з експертів, які забезпечують достовірне подання наявного стану процесу розроблення ПЗ, правильне розуміння суті проблем, що можуть виникнути на будь-якому етапі реалізації програмного проекту, і точні характеристики їх складових.

3. Визначено комплексні підсумкові показники якості ПЗ для кожного з експертів зокрема і комплексний узагальнений показник його якості для усіх експертів загалом. Розроблено алгоритм розрахунку площі неправильного багатокутника у полярній системі координат, яка дає змогу визначити ту частину якості ПЗ за всіма критеріями, що маємо на даний момент за оцінками одного з експертів, а також ту частку якості ПЗ, яку ще потрібно досягти для 100 % її повноти.

4. Зроблено відповідні висновки та надано рекомендації щодо використання розробленої методики візуалізації інформації.

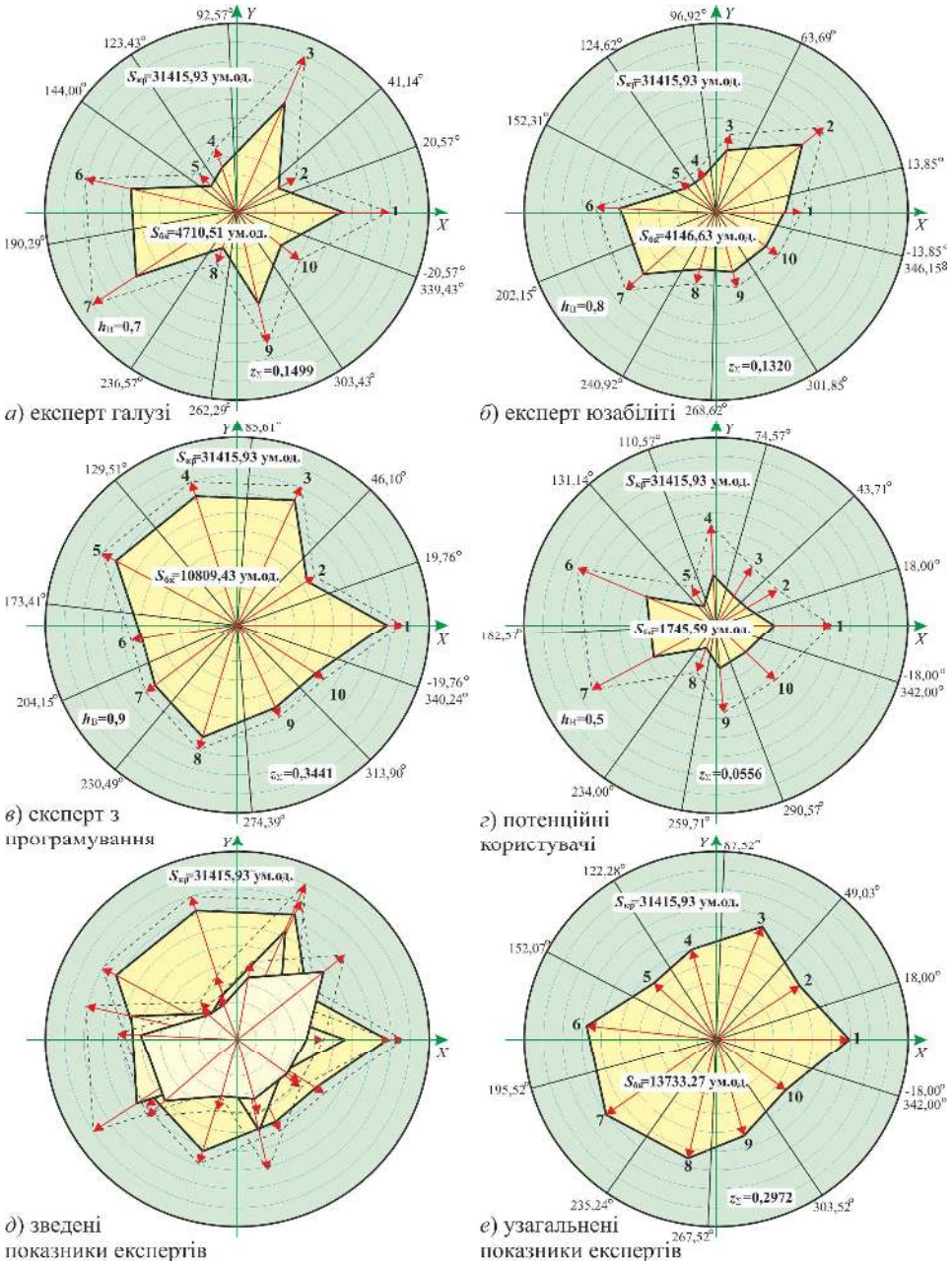

Рис. 2. Подання критеріїв оцінювання якості ПЗ у вигляді полярних діаграм для відповідних експертів

Перелік використаних джерел

Bederson, B., & Shneiderman, B. (2003). *The Craft of Information Visualization: Readings and Reflections*. Morgan Kaufmann. 410 p.

Botsula, M. P., & Morhun, I. A. (2008). Pro problemu ekspertyzy yakosti materialiv dystantsiinykh kursiv. *Naukovi pratsi VNTU, 4*, 1–7. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/e-iournals/vntu/2008-4/2008-4.files/uk/08mpbcme uk.pdf. [in Ukrainian].

Botsula, M. P., & Morhun, I. A. (2011). Metod otrymannia kompleksnoi otsinky yakosti veb-materialiv z vykorystanniam poliarnoi systemy koordynat. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu, 1*, 84–88. Retrieved from: https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/. visnyk/article/view/1367/ conferences.vntu.edu.ua.. [in Ukrainian].

Botsula, M. P., & Morhun, I. A. (2014). Novyi metod ta informatsiina tekhnolohiia obroblennia danykh dlia upravlinnia yakistiu elektronnykh navchalnykh kursiv. *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia: mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal, 3*, 25–33. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Itki_2014_3_6. [in Ukrainian].

Card, S. K., Mackinlay, J. D., & Shneiderman, B. (1999). *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. Morgan Kaufmann Publishers. 686 p.

DeMarco Tom. (2002). *Controlling Software Projects: Management, Measurement and Estimation*. 279 p.

Heer, J., Card, S. K., & Landay, J. (2005). Prefuse: a toolkit for interactive information visualization, (10 p.). In: *ACM Human Factors in Computing Systems CHI 2005*. 280 p.

ISO 9001:2008. *Quality Management System – requirements*. Retrieved from: https://www.iso.org/standard/46486.html

ISO/IEC 9126. (1991). *Information technology – Software product evaluation – Quality characteristics and guidelines for their use*. Geneva: International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission, 136 p. (International Standard)

ISO/IEC 9126-1:2001. *Software Engineering – Product Quality. Part 1: Quality model*. Retrieved from: https://www.iso.org/standard/22749.html

ISO/IEC TR 9126-2:2003. *Software Engineering – Product Quality – Part 2: External metrics*. Retrieved from: https://www.iso.org/standard/22750.html

ISO/IEC TR 9126-3:2003. *Software Engineering – Product Quality – Part 3: Internal metrics*. Retrieved from: https://www.iso.org/standard/22891.html

ISO/IEC TR 9126-4:2004. *Software Engineering – Product Quality – Part 4: Quality in use metric*. Retrieved from: https://www.iso.org/standard/39752.html

Kerren, A., Stasko, J. T., Fekete, J.-D., & North, C. (Eds.) (2008). Information Visualization, (pp. 1–18). In: *Human-Centered Issues*

and Perspectives. Vol. 4950 of LNCS State-of-the-Art Survey. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008.
Kuliamin, V. V., Petrenko, O. L. (2008). *Mesto testirovaniia sredi metodov otcenki kachestva PO*. Moscow: ISP RAN. Retrieved from: http://software-testing.ru/library/5-testing/117-2008-10-13-19-25-13. [in Russian].
Paulk, M. C., & Curtis, B. (2001). *The Capability Maturity Model: Guideline for Improving the Software Process*. Carnegie Mellon University. 434 p.
Mazza, R. (2009). *Introduction to Information Visualization, University of Lugano Switzerland*. Springer-Verlag London Limited 2009. 139 p. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-219-7
Morhun, I. A. (2011). Metod ekspertnoi otsinky yakosti prohramnoho zabezpechennia. *Inzheneriia prohramnoho zabezpechennia: mater. Mizhnar. nauk.-prakt. konf. aspirantiv i studentiv, 2*(6), 33–37. Vinnytsia. Retrieved from: http://jrnl.nau.edu.ua/index.php/IPZ/article/view/3086. [in Ukrainian].
Nazemi, K. (2014). Adaptive Semantics Visualization. *Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs*. Eurographics Association for Computer Graphics. 360 p. Retrieved from: http://diglib.eg.org/handle/10.2312/12076
Pleskach, V. L., Zatonatska, T. H. (2011). *Informatsiini systemy y tekhnolohii na pidpryiemstvakh: pidruchnyk*. Kyiv: Znannia. 718 p.
Retrieved from: http://pidruchniki.com/1194121347734/informatika/analiz_yakosti_programnogo_zabezpechennya#42. [in Ukrainian].
Pomorova, O. V., & Hovorushchenko, T. O. (2013a). Suchasni problemy otsiniuvannia yakosti prohramnoho zabezpechennia. *Radioelektronni i kompiuterni systemy, 5*, 319–327. Kharkiv: NAU "KhAI". [in Ukrainian].
Pomorova, O., & Hovorushchenko, T. (2013b). Intelligent Assessment and Prediction of Software Characteristics at the Design Stage. *American Journal of Software Engineering and Applications (AJSEA), 2*(2), 25–31. Retrieved from: http://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648.j.ajsea.20130202.11.pdf.
Spence, R. (2007). *Information Visualization: Design for Interaction* (2nd Ed.). Prentice Hall. 304 p.
Voronin, A. N., Ziatdinov, Yu. K., & Kulinskii, M. V. (2011). *Mnogokriterialnye zadachi: modeli i metody: monografiia*. Kiev: NAU. 348 p. [in Russian].
Ware, C. (2000). *Information Visualization: Perception for design (2nd Ed.)*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers. 34 p.
Yakovyna, V., Seniv, M., Chabaniuk, Ya., Fedasiuk, D., & Khimka, U. (2010). Kryterii dostatnosti protsesu testuvannia prohramnoho zabezpechennia. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Seriia: Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii, 672*, 346–358. [in Ukrainian].

Ю. И. Грыцюк, А. Ю. Бучковская

Национальный университет "Львовская политехника", г. Львов, Украина

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛЯРНЫХ ДИАГРАММ

Разработана методология визуализации информации, которую можно получить в результате обработки экспертных оценок качества программного обеспечения (ПО) по различным критериям с использованием полярных диаграмм. Установлено, что под визуализацией результатов экспертного оценивания качества ПО понимают представление информации в графическом виде для максимального удобства ее понимания и быстрого восприятия, а также предоставление обозримой и понятной формы любому объекту, субъекту, процесса. Предложены критерии оценки качества ПО и их весовые коэффициенты для каждого из экспертов, обеспечивающие достоверное представление существующего положения процесса разработки ПО, правильное понимание сути проблем, возникающих на любом этапе реализации программного проекта, и точные характеристики их составляющих. Разработан алгоритм расчета площадей секторных многоугольников в полярной системе координат, с помощью которого можно вычислить и оценить относительное качество ПО с применением соответствующих критериев. Определены комплексные итоговые показатели качества ПО для каждого из экспертов и комплексный обобщенный показатель его качества для всех экспертов. Разработан алгоритм расчета площади неправильного многоугольника в полярной системе координат, позволяющий определить ту часть качества программного продукта по всем критериям, имеющуюся на данный момент по оценкам одного из экспертов, а также ту часть качества ПО, которое еще нужно достичь для 100% его полноты. Сделаны соответствующие выводы и даны рекомендации по использованию разработанной методологии визуализации информации.

Ключевые слова: информационные технологии; программный проект; визуализация информации; экспертные оценки; качество программного обеспечения; критерии оценки качества; показатели качества; полярная система координат; полярные диаграммы.

Yu. I. Hrytsiuk, A. Yu. Buchkovska

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

VISUALIZATION OF THE RESULTS OF EXPERT EVALUATION OF SOFTWARE QUALITY USING POLAR DIAGRAMS

The method of information visualization, which can be obtained as a result of processing of expert evaluations of software quality according to various criteria of its evaluation using polar diagrams, is developed.The authors have defined that visualization of the results of the expert evaluation of the software quality is the representation of the information in graphical form for the maximum convenience of its understanding and rapid perception, as well as providing comprehensible and understandable form to any object, subject, process, etc. In the course of research the criteria for evaluating software quality and their weighting factors for each expert are prposed, which provide a reliable representation of the current state of the software development process, correct understanding of the nature of the problems that may arise at any stage of the implementation of the program project, and the exact characteristics of their components. We have also developed the method of calculation of complex final indicators of software quality for each of the experts in particular and an integrated generalized index of its quality for all experts in general, which will enable business analysts to calculate and evaluate the quality of the developed software at any stage of its life cycle, both statically and in dynamics. Furthermore, an algorithm for calculating the area of sector polygons in a polar coordinate system is elaborated, that allows calculating and estimating the relative quality of software according to the relevant criteria. Integrated comprehensive indicators of software quality for each expert and a comprehensive generalized index of its quality for all experts are determined. The algorithm for calculating the area of an irregular polygon in a polar coordinate system is developed, which enables determining the part of software quality according to all the criteria available for particular time according to one of the experts, as well as that portion of software quality, which is still to be achieved for 100 % of its completeness. Thus, appropriate conclusions were made and recommendations on the use of the developed information visualization methodology were given.

Keywords: information technologies; software project; information visualization; expert assessments; software quality; criteria for quality evaluation; software quality indicators; polar coordinate system; polar diagrams.