

УДК 004.891.3: 004.3

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЕКТУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИБОРУ МЕТРИК ЯКОСТІ

Т.О.ГОВОРУЩЕНКО, А.В.КРАСІЙ, В.В.БЕЗДИХАНЮК
Хмельницький національний університет

У статті запропоновано структуру експертної системи формування характеристик проекту програмного забезпечення для вибору метрик якості, проведено розрахунок ефективності метрик якості для проектів певних типів, а також наведено приклад функціонування запропонованої експертної системи.

In article the structure of expert system of software project characteristics forming for quality metrics selection is proposed, the calculation of effectiveness of quality metrics for certain types of software projects is conducted, the example of proposed expert system functioning is demonstrated.

Ключові слова: метрики якості програмного забезпечення (ПЗ), проект ПЗ (програмний проект), типи проектів ПЗ, характеристики програмних проектів, експертна система, ефективність (інформативність) метрик.

Вступ. Якість є однією з найважливіших характеристик програмного забезпечення (ПЗ) з точки зору користувача, оскільки ПЗ є сьогодні визначальною складовою багатьох систем критичного застосування та спеціалізованих систем різноманітного призначення, тобто мільйони осіб безпосередньо залежать від якості та надійності функціонування ПЗ [1].

Проекти різних категорій вимагають застосування різних методів управління. Зокрема, проекти ПЗ різних типів з різним призначенням та галуззю застосування мають різні характеристики та вимоги до якості, внаслідок чого вимагають кардинально різних оцінок (метрик) якості. Тому перед оцінюванням якості ПЗ на етапі проектування слід провести попередню класифікацію проектів та попереднє опрацювання інформації про характеристики проекту.

Постановка задачі. Отже, постає проблема правильного вибору метрик якості для різних типів проектів. Для оцінювання якості ПЗ на основі метричного аналізу для проектів різних типів слід

вирішити задачу визначення взаємозв'язку між метрикою, типом проекту та якістю проекту і розроблюваного за проектом ПЗ. Одним із засобів, який дозволяє узагальнити інформацію та виявити залежності між вхідними і результуючими даними, є експертні системи (ЕС). Враховуючи вищесказане, потрібно побудувати експертну систему формування характеристик проекту ПЗ для вибору метрику якості.

1. Основні складові якості програмного забезпечення.

Основним стандартом якості в області інженерії ПЗ є стандарт [2], який визначає номенклатуру, атрибути і метрики вимог якості ПЗ. Модель якості SQuaRE та її основні характеристики якості за стандартом [2] представлені на рис.1.

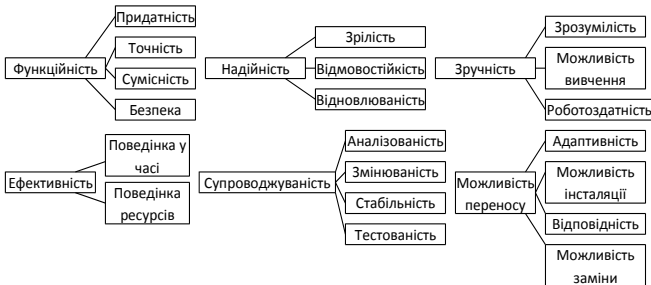


Рис.1. Модель якості ПЗ за стандартом ISO/IEC 25010:2011

На сьогодні в галузі забезпечення якості ПЗ створено цілу низку нових стандартів та методологій, які визначають основні атрибути якості, але в принципі їх можна вважати похідними від атрибутів, представлених на рис.1.

2. Класифікація програмних проектів та характеристики якості. Згідно [3], проекти класифікують за такими ознаками:

- 1) розмір (органічні, розділені, вбудовані);
- 2) методи проектування (функційно-орієнтовані, об'єктно-орієнтовані, проекти на основі структур даних, компонентні, сервіс-орієнтовані);
- 3) функційність (системні та прикладні – універсальні, метод-орієнтовані, проблемно-орієнтовані, проекти ПЗ глобальних мереж, проекти ПЗ організації обчислювального процесу);
- 4) нефункційні вимоги (бездефектні, модульні, стандартні; монопроекти, мультипроекти, мегапроекти);

5) засоби розроблення (мовами програмування низького рівня, мовами програмування високого рівня, мовами програмування надвисокого рівня; імперативними мовами програмування, декларативними мовами програмування, об'єктно-орієнтованими мовами програмування, сценарними мовами програмування, мовами паралельних обчислень);

6) сфера використання (виробничі, технологічні, фінансові, маркетингові, дослідницькі, проекти критичного застосування);

7) ступінь новизни (новаторські, рутинні);

8) рівень складності («відповідальне» ПЗ, складні багатофункційні системи, малі проекти, «наукомістки» проекти, великі успадковані додатки);

9) спосіб застосування (невідчужуване ПЗ, «внутрішнє» ПЗ, ПЗ для конкретного замовника, «коробкове» ПЗ);

10) характер стосунків із замовником (аутсорсингові проекти, проекти на замовлення, проекти модифікації або супроводу ПЗ третьої сторони, ініціативне розроблення).

Важливими при оцінюванні якості ПЗ є наступні ознаки класифікації програмних проектів:

1) розмір;

2) методи проектування;

3) функційність;

4) нефункційні вимоги;

5) засоби розроблення;

6) сфера використання;

7) ступінь новизни.

Кожній ознаці класифікації проектів будуть відповідати певні характеристики якості. Автори розглянули кожний тип проектів та визначили основні характеристики, які впливають на якість проекту та розроблюваного за проектом ПЗ.

Наприклад, *основними характеристиками органічних проектів* є: LOC-оцінка (кількість рядків коду) належить інтервалу [2000; 50000]; не обмежені вартістю; не обмежені трудомісткістю; не обмежені вимогами заданої якості; не обмежені термінами створення; не підлягають незалежному тестуванню; не підлягають гарантуванню якості. *Основні характеристики розділених проектів*: LOC-оцінка (кількість рядків коду) належить інтервалу [50000; 300000]; обмежені помірними вимогами заданої якості; обмежені термінами створення; нестабільне середовище розробки. *Основні характеристики*

вбудованих проектів: LOC-оцінка (кількість рядків коду) належить інтервалу $[300000; \infty]$; підлягають гарантуванню якості; обмежені вартістю; обмежені трудомісткістю; обмежені жорсткими термінами створення; висока надійність функціонування; безпека застосування компонентів і програмних систем.

Аналіз основних характеристик проектів різного типу дозволив виконати вибір основних метрик якості [4]: LOC-оцінка, метрика зв'язності, метрика зчеплення, метрика звертання до глобальних змінних, час модифікації моделей, загальний час розроблення ПЗ, кількість виявлених помилок при інспектуванні моделей та прототипів, час етапу проектування, продуктивність розроблення ПЗ, вартість перевірки якості ПЗ, вартість розроблення ПЗ, вартість реалізації коду, функційний розмір, оцінка трудовитрат за моделлю Боєма, оцінка тривалості проекту за моделлю Боєма.

3. Структура експертної системи формування характеристик проекту ПЗ для вибору метрик якості на етапі проектування (ЕСФХ). З метою автоматизації формування характеристик проекту ПЗ для вибору метрик якості на етапі проектування для кожного окремо взятого типу проекту була розроблена ЕСФХ (рис.2).

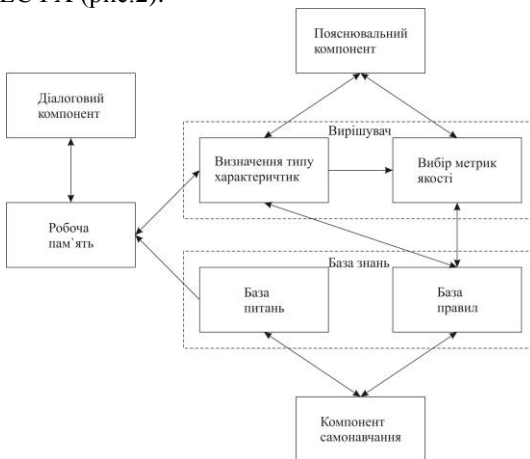


Рис.2. Структурна схема експертної системи формування характеристик проекту ПЗ для вибору метрик якості на етапі проектування

ЕСФХ складається з наступних компонентів:

- 1) діалоговий компонент;

- 2) робоча пам'ять;
- 3) пояснюючий компонент;
- 4) вирішувач;
- 5) компонент самонавчання;
- 6) база знань.

Діалоговий компонент орієнтований на організацію спілкування із користувачем як в процесі вирішення задач, так і в процесі здобуття знань і пояснення результатів роботи.

Робоча пам'ять призначена для зберігання первинних і проміжних результатів.

Пояснюючий компонент пояснює, як система отримала розв'язок задачі (або чому не отримала рішень) і які знання вона при цьому використала.

Вирішувач використовує вихідні дані із робочої пам'яті і знання із бази знань, формує послідовність правил, які будуть застосовуватись до вихідних даних і призводити до розв'язку задачі. Вирішувач складається з блоку визначення типу характеристик та блоку вибору метрику якості.

Компонент самонавчання автоматизує процес наповнення експертної системи знаннями.

База знань призначена для зберігання довгострокових даних, які описують область, що розглядається (не поточні дані). База знань складається з бази правил та бази питань. *База питань* містить питання по рівнях для кожного типу проекту. Рівень питання залежить від частоти повторюваності та важливості певної характеристики для проектів різних типів.

Наведемо приклади декількох питань для *класифікації проекту за розміром*:

Який планований розмір Вашого проекту (ввести кількість рядків коду)? (1 рівень)

Чи обмежений Ваш проект вартістю та термінами створення? (2 рівень) – Можливі відповіді: не обмежений; помірно обмежений; суворо обмежений.

Які вимоги щодо якості висуваються до Вашого проекту? (3 рівень) – Можливі відповіді: не обмежений вимогами щодо якості; обмежений помірними вимогами заданої якості; підлягає гарантуванню якості.

Чи підлягатиме програмне забезпечення, розроблюване за проектом, незалежному тестуванню? (4 рівень) – Можливі відповіді:

не підлягає; підлягає на загальних умовах; вимагає ретельного тестування з метою забезпечення високої надійності функціонування.

Який рівень безпеки вимагається при застосуванні розроблюваного за проектом ПЗ? (5 рівень) – Можливі відповіді: низький; помірний; високий.

Аналогічно сформовані дерева питань за іншими ознаками класифікації проектів.

База правил – це динамічне дерево продукційних правил, яке описує послідовність питань. В даній базі правил продукційні правила представлені трьома типами:

- 1) правила для визначення типу проекту;
- 2) правила для визначення показників інформативності метрик;
- 3) правила для визначення ефективних метрик для проектів кожного типу.

В якості прикладу правила для визначення типу проекту розглянемо правила для типізації проекту за розміром (питання 5 рівнів наведені вище): «якщо значення відповіді на питання 1-го рівня належить інтервалу [2000; 50000], то проект - органічний», «якщо значення відповіді на питання 1-го рівня належить інтервалу [50000; 300000], то проект - розділений», «якщо значення відповіді на питання 1-го рівня більше 300000, то проект - вбудований». Цей висновок системи є попереднім і потребує подальшого уточнення за допомогою аналізу відповідей на питання більш низьких рівнів, який відбувається за аналогічними правилами.

Вибір продукційного правила для визначення типу проекту здійснюється наступним чином:

- 1) аналізується відповідь на запитання найвищого рівня і встановлюється приналежність проекту до певного типу, наступне питання обирається із набору питань для того ж типу проекту, але на рівень нижче;
- 2) якщо на певне питання дано відповідь, яка не характеризує проект раніше встановленого типу, то знову задається питання більш високого рівня;
- 3) якщо питання призвело до необхідного результату, то популярність цього питання збільшується і наступного разу при відборі питань воно буде мати вищий пріоритет в порівнянні з іншими питаннями (самонавчання).

4. Оцінювання ефективності метрик якості ПЗ для проектів різного типу. Проведемо оцінку ефективності метрик складності ПЗ з точки зору оцінювання їх інформації.

Для визначення інформативності метрик, потрібно оцінити інформацію за такими критеріями [4]: 1) релевантність – наявність зв'язку з проблемою (відповідність інтересам та проблемі) та здатність інформації внести ясність у процес розуміння проблеми; 2) достовірність – наскільки представлений опис відповідає дійсності; 3) значущість – розуміння інформації, повнота висвітлення предмету інтересу, своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень, а також кількість інформації, яка відображає, як зменшується показник незнання системи в результаті одержання нової інформації під час експерименту.

Релевантність та достовірність будуть дорівнювати 1, оскільки використовуються лише класичні метрики якості, описані в галузевій літературі і саме ці метрики якості дають уявлення про якість проекту і ПЗ. Оскільки релевантність і достовірність метрик якості ПЗ є сталими величинами, то основним критерієм оцінювання інформації, який впливатиме на оцінку ефективності метрик якості ПЗ, є саме значущість інформації.

Сформуємо підсумковий критеріальний показник ефективності для кожної метрики якості за адитивним критерієм [4]. Адитивний критерій A формується шляхом ділення на число показників ефекту n суми добутків часткових показників ефекту l_i на коефіцієнти значущості i -го показника g_i :

$$A = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n (l_i \cdot g_i) \quad [4] \quad (1).$$

Значущості показників ефекту для кожної метрики рівні, причому $\sum_{i=1}^n g_i = 1$, отже, $g_i = \frac{1}{4} = 0,25$.

Ефективність кожної метрики якості ПЗ етапу проектування залежить від 4-х показників ефекту ($n = 4$): розуміння інформації l_1 , повнота висвітлення предмету інтересу l_2 , своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень l_3 , кількість інформації l_4 . Кожен показник ефекту розглядатимемо для спрощення розрахунків як

значення з інтервалу $[0, 1]$, де 0 - мінімальне значення показника, 1 - максимальне значення.

Часткові показники ефекту l_i задаються 5-ма експертами для кожної з 15 метрик для класифікації проектів за кожною ознакою відповідно до характеристик таких проектів. Оскільки значення показників, надані різними експертами, суттєво не відрізняються, то значення показника для формування правил експертної системи розраховуємо як середнє арифметичне одержаних 5 значень. У таблиці 1 представлено значення показників ефекту для проектів, класифікованих за розміром та за нефункційними вимогами.

Таблиця 1. Значення показників ефекту для проектів, класифікованих за розміром та за нефункційними вимогами

Метрика якості ПЗ	За розміром				За нефункційними вимогами			
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_1	l_2	l_3	l_4
ЛОС-оцінка	1	1	1	0,2	1	0,67	0,7	0,08
Метрика зв'язності	1	0,65	0,7	0,046	1	0,45	0,46	0,04
Метрика зчеплення	1	0,3	0,34	0,047	1	0,4	0,42	0,04
Метрика звертання до глобальних змінних	1	0,39	0,39	0,046	1	0,39	0,35	0,04
Час модифікації моделей	1	0,33	0,333	0,047	1	0,55	0,53	0,08
Загальний час розроблення ПЗ	1	0,333	0,33	0,046	1	0,63	0,73	0,08
Кількість виявлених помилок при інспектуванні моделей	1	0,46	0,45	0,047	1	0,53	0,65	0,08
Час етапу проектування	1	0,73	0,63	0,047	1	0,64	0,73	0,08

Метрика якості ПЗ	За розміром				За нефункційними вимогами			
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_1	l_2	l_3	l_4
Продуктивність розроблення ПЗ	1	0,75	0,76	0,047	1	0,33	0,36	0,04
Вартість перевірки якості ПЗ	1	0,43	0,4	0,046	1	0,73	0,63	0,08
Вартість розроблення ПЗ	1	0,56	0,63	0,046	1	0,83	0,73	0,08
Вартість реалізації коду програми	1	0,5	0,5	0,046	1	0,93	0,89	0,08
Функційний розмір	1	1	1	0,197	1	0,9	0,8	0,08
Оцінка трудовитрат за моделлю Боєма	1	0,67	0,65	0,046	1	0,56	0,64	0,04
Оцінка тривалості проекту за моделлю Боєма	1	0,7	0,71	0,046	1	0,8	0,78	0,08

На основі даних таблиці 1 формуються продукційні правила для визначення показників інформативності метрик, наприклад: «якщо проект - органічний, то показник l_2 для метрики «оцінка трудовитрат за моделлю Боєма» складає 0,67»; «якщо проект – модульний, то показник l_3 для метрики «функційний розмір» складає 0,8».

У таблиці 2 представлено значення ефективності (інформативності) метрик якості, розрахованих за формулою (1) з врахуванням значень показників ефекту, наданих експертами.

Таблиця 2. Інформативність метрик для двох гілок розподілу проекту

Метрика якості ПЗ	За розміром	За нефункційними вимогами
LOC-оцінка	0,2	0,153125
Метрика зв'язності	0,14975	0,121875
Метрика зчеплення	0,105438	0,11625
Метрика звертання до глобальних змінних	0,114125	0,11125
Час модифікації моделей	0,106875	0,135
Загальний час розроблення ПЗ	0,106813	0,1525
Кількість виявлених помилок при інспектуванні моделей та прототипів	0,122313	0,14125
Час етапу проектування	0,150438	0,153125
Продуктивність розроблення ПЗ	0,159813	0,108125
Вартість перевірки якості ПЗ	0,11725	0,1525
Вартість розроблення ПЗ	0,13975	0,165
Вартість реалізації коду програми	0,127875	0,18125
Функційний розмір	0,199813	0,17375
Оцінка трудовитрат за моделлю Боєма	0,147875	0,14
Оцінка тривалості проекту за моделлю Боєма	0,1535	0,16625

Аналогічно надані експертні оцінки та розраховано ефективність метрик для проектів, типізованих за іншими ознаками.

На основі експертних оцінок вважаємо, що метрика буде ефективною, якщо її значення ефективності буде більше 0,15, тобто

правила для визначення ефективних (інформативних) метрик матимуть вигляд «якщо ефективність метрики більше або дорівнює 0,15, то метрика є ефективною (інформативною)».

За даними таблиці 2, згідно запропонованого правила, можна зробити висновок, що для проектів, які класифікуються за розміром, буде 5 ефективних (інформативних) метрик, а для проектів, класифікованих за нефункційними вимогами, – 8 інформативних метрик.

5. Приклад функціонування експертної системи формування характеристик проекту ПЗ для вибору метрик якості на етапі проектування. Розглянемо принципи роботи ЕСФХ на основі проекту розсилки файлів за допомогою e-mail. На основі аналізу специфікації проекту надамо відповіді на запитання системи і проаналізуємо, до якого типу віднесе цей проект запропонована ЕС та які метрики ЕС порекомендує як ефективні для даного проекту.

Список можливих питань і можливих відповідей на питання:

- 1) Який планований розмір Вашого проекту (ввести кількість рядків коду)? Відповідь: 15000. – ЕС аналізує відповідь і формує попередній висновок, що проект – органічний. Для уточнення цієї відповіді ЕС задає користувачу питання 2-го рівня.
- 2) Чи обмежений Ваш проект вартістю та термінами створення? Відповідь: не обмежений. - ЕС аналізує відповідь і підтверджує висновок про тип проекту, для уточнення задає користувачу питання 3-го рівня.
- 3) Які вимоги щодо якості висувуються до Вашого проекту? Відповідь: не обмежений вимогами щодо якості. – Аналіз відповіді вказує, що проект – органічний. Для уточнення цієї відповіді ЕС задає користувачу питання 4-го рівня.
- 4) Чи підлягатиме програмне забезпечення, розроблюване за проектом, незалежному тестуванню? Відповідь: не підлягає. - ЕС аналізує відповідь і знов підтверджується висновок, що проект – органічний. Для остаточного уточнення ЕС задає користувачу питання 5-го рівня.
- 5) Який рівень безпеки вимагається при застосуванні розроблюваного за проектом ПЗ? Відповідь: низький. – Аналіз відповіді на питання 5-го рівня також підтверджує попередні висновки, тому система може надати користувачу висновок, що проект – органічний.

Звісно, показати повністю роботу системи та її самонавчання неможливо, оскільки дерево питань є дуже великим, і потрібно хоча б 5 разів пройти опитування, щоб система могла встановити, які з питань є найуспішнішими.

Після визначень типу нашого проекту ЕСФХ визначає ефективність (інформативність) метрик якості для проекту такого типу. На основі аналізу значень ефективності метрик (таблиця 2) за вищенаведеними правилами ЕСФХ надає список ефективних метрик якості для органічного проекту (в порядку спадання значення ефективності): LOC-оцінка, функційний розмір, продуктивність розроблення ПЗ, оцінка тривалості проекту за моделлю Боема, час етапу проектування.

Висновки. Оскільки якість ПЗ є важливою складовою ПЗ, тому потрібні засоби для розрахунку метрик якості на етапі проектування. Для проектів різного типу ефективними при оцінюванні якості є різні метрики якості ПЗ. Розроблена ЕСФХ дає змогу визначити місце проекту в системі класифікації ПЗ, на основі якого пропонує метрики, ефективні для оцінювання якості даного проекту.

Перспективою подальших досліджень є проектування та програмна реалізація ЕСФХ, аналіз результатів експериментів, а також оцінка ефективності та достовірності функціонування ЕСФХ.

Список літератури

1. Говорущенко Т. О. Аналіз та опрацювання метрик оцінки якості програмного забезпечення на етапі проектування // Комп'ютерні науки та інженерія: Матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених "CSE-2009". - Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2009 - с. 10-13
2. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models
3. Говорущенко Т.О. Типізація проектної діяльності в галузі інформаційних технологій // Науковий вісник Чернівецького університету. Комп'ютерні системи та компоненти. Т.1 - Чернівці, ЧНУ, 2013.
4. Говорущенко Т.О., Питлик Є.В. Визначення ефективності метрик якості на етапі проектування програмного забезпечення // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький: ХНУ, 2012. - №2, с.149-155