

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ДОСТАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*Метою даного дослідження є розроблення інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ. У статті висвітлено також реалізацію та особливості функціонування підсистеми оцінювання достатності інформації специфікації для визначення якості ПЗ на основі порівняльного аналізу онтологій. Розроблені інформаційна технологія та підсистема дають можливість оцінити достатність інформації специфікації для оцінювання якості ПЗ; виявити відсутні у специфікації атрибути та (або) показники якості; встановити пріоритетність доповнення специфікації вимог до ПЗ відсутніми атрибутами та (або) показниками; кількісно оцінити достовірність оцінювання якості ПЗ на основі наявних у специфікації атрибутів та (або) показників; підвищити достовірність оцінювання якості ПЗ на ранніх етапах життєвого циклу.*

*Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), специфікація вимог до ПЗ, якість програмного забезпечення, складність програмного забезпечення, достатність інформації, онтології.*

T.O. HOVORUSHCHENKO  
Khmelnitsky National University

### INFORMATION TECHNOLOGY OF EVALUATING THE SUFFICIENCY OF INFORMATION FOR THE SOFTWARE QUALITY ASSESSMENT

*The aim of this study is the development of the information technology of evaluating the sufficiency of software requirements specification (SRS) information for software quality assessment and of the subsystem of evaluating the sufficiency of the SRS information for software quality assessment based on the comparative analysis of ontologies. The developed information technology and subsystem provide: evaluating the sufficiency of the SRS information for software quality assessment by the standard ISO 25010:2011 and based on the metric analysis; identifying the missing (in the SRS) measures and (or) indicators (if the SRS information is insufficient); prioritization (if the addition of the missing measures and (or) indicators in the SRS; quantify evaluating the veracity of the software quality assessment based on the available (in the SRS) measures and (or) indicators. The developed information technology provides the increasing the veracity of the software quality assessment at the early lifecycle stages.*

*Keywords: software, software requirements specification (SRS), software quality, software complexity, sufficiency of information, ontology.*

#### Вступ

Аналіз впливу якості програмного забезпечення на роботу складних апаратно-програмних комплексів [1–5] виявив важливу тенденцію, яку необхідно враховувати при оцінюванні та забезпеченні якості ПЗ: оцінювання якості програмного проекту на етапі проектування надаватиме можливість раннього виявлення помилок, що забезпечить підвищення якості ПЗ та зменшення витрат на його розроблення. Аналіз робіт [1–5] також підтвердив факт, що причини майже всіх інцидентів та катастроф, пов'язаних з програмним забезпеченням, криються у специфікації вимог до ПЗ.

Отже, якість програмного забезпечення (як ступінь відповідності ПЗ потребам замовників [6, 7]) суттєво залежить від специфікації вимог, а також від достатності наявної у ній інформації. Під достатністю інформації будемо розуміти раціональну інформаційну насиченість, що виключає неповноту інформації (відсутність необхідних відомостей).

Наразі оцінювання якості ПЗ за стандартом ISO 25010:2011 [6] відбувається наступним чином – на основі атрибутів якості, визначених у ISO 25023:2016 [8], оцінюються підхарактеристики та характеристики якості, які, в свою чергу, надають комплексну оцінку якості ПЗ. Оцінювання якості та складності ПЗ на основі результатів метричного аналізу відбувається наступним чином – на основі показників якості та складності розраховуються значення метрик якості та складності, які, в свою чергу, надають комплексну оцінку якості та складності ПЗ. Метрики, які можуть бути використані на етапі проектування, обрані у [9] та описані у [9, 10].

Сьогодні оцінювання атрибутів для визначення підхарактеристик та характеристик якості ПЗ, а також показників для визначення метрик якості та складності ПЗ відбувається лише на етапі оцінювання якості ПЗ для готового програмного коду [5]. Але всі необхідні атрибути та показники закладено вже у специфікації вимог до ПЗ [5], тобто вже на основі специфікації вимог до ПЗ можна оцінити достатність інформації специфікації вимог (як наявність у специфікації ПЗ всіх необхідних атрибутів для визначення підхарактеристик та характеристик якості ПЗ, а також всіх необхідних показників для визначення метрик) для майбутнього визначення якості ПЗ. За відсутності деяких атрибутів або показників, інформація специфікації є недостатньою для майбутнього визначення якості ПЗ, і розробники повинні внести необхідні корективи у специфікацію вимог.

Оцінювання достатності інформації специфікації вимог до ПЗ (як наявності у специфікації ПЗ всіх необхідних атрибутів для визначення підхарактеристик та характеристик якості ПЗ, всіх необхідних показників для визначення метрик) забезпечує можливість вибору програмного проекту з позицій його

прогнозованої якості, підвищує ефективність управління проектом за рахунок обґрунтованості рішень, скорочує час на їх прийняття, зменшує витрати на збір і обробку відомостей. Недостатність інформації специфікації вимог до ПЗ знижує результативність та достовірність оцінювання якості ПЗ.

Тоді *актуальною задачею* є задача оцінювання достатності інформації специфікації вимог до ПЗ (як наявності атрибутів та (або) показників якості ПЗ у специфікації вимог), а також кількісне оцінювання достовірності оцінок якості ПЗ на основі наявної у специфікації інформації. Аналіз існуючих автоматизованих засобів аналізу специфікацій вимог (IBM Rational RequisitePro, IBM Rational/Telelogic DOORS, Borland Caliber RM, Sybase PowerDesigner, Open Source Requirements Management Tool, Sigma Software, DEVPRO, CASE.Analyst) [11–13] показав, що всі вони призначені для роботи з вимогами та специфікаціями, причому деякі з них спрямовані на контроль за реалізацією вимог, але жоден з них не визначає достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ. Тому *метою даного дослідження* є розроблення інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ.

#### **Інформаційна технологія оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення**

Структуру інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення можна представити у наступному вигляді – рис. 1.

З рис. 1 видно, що основу розробленої інформаційної технології складають:

1) формалізована і онтологічна моделі якості ПЗ на основі стандарту ISO 25010:2011 (розроблені та представлені у [14]);

2) формалізовані і онтологічні моделі якості та складності програмного забезпечення на основі метричного аналізу (розроблені та представлені у [15]);

3) формалізована і онтологічна моделі специфікації вимог до програмного забезпечення (розроблені та представлені у [14, 15]);

4) методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010:2011) на основі онтологій (розроблені та представлені у [14]);

5) методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення складності та якості програмного забезпечення (на основі використання результатів метричного аналізу) на основі онтологій (розроблені та представлені у [15]);

6) інтелектуальний метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик програмного забезпечення (розроблений та представлений у [9]);

7) підсистема оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення на основі порівняльного аналізу онтологій;

8) інтелектуальна підсистема оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення на основі результатів метричного аналізу (розроблена та представлена у [9]).

<b>Інформаційна технологія оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення</b>				
<b>Об'єкт – процеси аналізу, оцінювання та забезпечення якості програмного забезпечення</b>	<b>Мета – розв'язання наукової проблеми розроблення методології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010:2011 та на основі результатів метричного аналізу)</b>	<b>Моделі</b>	<b>Методи:</b>	<b>Засоби:</b>
		- формалізована та онтологічна моделі якості ПЗ на основі ISO25010:2011; - формалізовані та онтологічні моделі якості та складності ПЗ на основі метричного аналізу; - формалізовані та онтологічні моделі специфікації вимог до ПЗ (з точки зору наявності атрибутів якості ПЗ та показників для визначення метрик складності та якості ПЗ)	- методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ (згідно ISO 25010:2011) на основі онтологій; - онтологічні методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення складності та якості ПЗ на основі використання результатів метричного аналізу; - інтелектуальний метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик програмного забезпечення	- підсистема оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення на основі порівняльного аналізу онтологій; - інтелектуальна підсистема оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення на основі результатів метричного аналізу

Рис.1. Структура інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ

Для завершення формування інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення необхідно розробити спеціально спроектувати та реалізувати підсистему оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення на основі порівняльного аналізу онтологій, чому й буде присвячено подальше дослідження.

#### **Підсистема оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ на основі порівняльного аналізу онтологій**

На вхід підсистеми оцінювання достатності інформації для визначення якості ПЗ на основі порівняльного аналізу онтологій подаються множини:

1)  $\{qms_1, \dots, qms_{nm}\}$  ( $nm \leq 138$ ) наявних у специфікації вимог до ПЗ атрибутів якості, необхідних для оцінювання підхарактеристик та характеристик якості ПЗ (згідно зі стандартом [8], підхарактеристики якості залежать від 203 атрибутів, але всього від 138 різних атрибутів);

2)  $\{sqcxi_1, \dots, sqcxi_{ni}\}$  ( $ni \leq 42$ ) наявних у специфікації вимог до ПЗ показників, необхідних для виконання метричного аналізу складності та якості ПЗ (обрані у [9] метрики якості та складності ПЗ етапу проектування залежать від 72 показників, але всього від 42 різних показників).

Результатом роботи розробленої підсистеми є:

1. висновок про достатність інформації специфікації вимог до ПЗ для визначення якості програмного забезпечення за стандартом ISO 25010:2011;

2. рекомендації щодо необхідності та пріоритетності доповнення специфікації вимог до ПЗ атрибутами для визначення якості програмного забезпечення за стандартом ISO 25010:2011;

3. оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ за стандартом ISO 25010 на основі наявної у специфікації інформації;

4. висновок про достатність інформації специфікації вимог до ПЗ для визначення якості та складності програмного забезпечення на основі результатів метричного аналізу;

5. рекомендації щодо необхідності та пріоритетності доповнення специфікації вимог до ПЗ показниками для визначення якості та складності ПЗ на основі результатів метричного аналізу;

6. оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ за результатами метричного аналізу на основі наявної у специфікації інформації.

Структура підсистеми оцінювання достатності інформації для визначення якості ПЗ на основі порівняльного аналізу онтологій представлена на рис. 2.

Розроблена підсистема складається з наступних компонентів:

1) модуль введення атрибутів специфікації вимог до ПЗ – зчитує інформацію користувача щодо наявних значень атрибутів  $\{qms_1, \dots, qms_{nm}\}$  ( $nm \leq 138$ ) специфікації вимог до конкретного ПЗ; користувачу пропонується список всіх 138 атрибутів якості у базовій онтології, з яких він видаляє атрибути, відсутні у аналізованій специфікації, формуючи онтологію для визначення якості конкретного ПЗ;

2) модуль введення показників специфікації вимог до ПЗ – зчитує інформацію користувача щодо наявних значень показників  $\{sqcxi_1, \dots, sqcxi_{ni}\}$  ( $ni \leq 42$ ) у специфікації вимог до конкретного ПЗ; користувачу пропонується список всіх 42 показників якості та складності у базовій онтології, розділених за розділами специфікації, з яких він видаляє показники, відсутні у аналізованій специфікації, формуючи онтологію для визначення складності та якості конкретного ПЗ;

3) модуль електронної підтримки користувача – надає користувачу інформацію про: структуру специфікації вимог до ПЗ, атрибути специфікації, необхідні для оцінювання якості ПЗ за стандартом ISO 25010, показники специфікації, необхідні для оцінювання складності та якості ПЗ на основі результатів метричного аналізу (при цьому необхідні атрибути та показники представлені з врахуванням розподілу за розділами специфікації у вигляді онтологій (рис. 3–6), які є шаблонами специфікації вимог до ПЗ з точки зору наявності атрибутів та показників якості), а також про процес формування результатів роботи підсистеми;

4) модуль оцінювання достатності інформації специфікації вимог до ПЗ для визначення якості програмного забезпечення за стандартом ISO 25010:2011 – працює згідно методів оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010:2011) на основі онтологій [14]: виконується генерування та наповнення шаблону онтології для визначення якості конкретного ПЗ, враховуючи наявні атрибути  $\{qms_1, \dots, qms_{nm}\}$  ( $nm \leq 138$ ); виконується порівняльний аналіз онтологій для визначення якості конкретного ПЗ із розробленою базовою онтологією предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість ПЗ»)), результатом якого є список відсутніх у специфікації атрибутів; якщо при порівняльному аналізі онтологій не виявлено розбіжностей, то інформації специфікації достатньо для визначення якості програмного забезпечення за стандартом ISO 25010; якщо ж при порівняльному аналізі онтологій встановлено розбіжності, то у специфікації недостатньо атрибутів для визначення певних підхарактеристик та характеристик якості ПЗ, тоді відбувається порівняльний аналіз онтологій для визначення якості конкретного ПЗ із зваженою базовою онтологією предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість ПЗ»)), внаслідок чого відбувається сортування всіх відсутніх атрибутів специфікації за спаданням значень вагових коефіцієнтів,

тобто встановлюється рекомендована пріоритетність їх доповнення у специфікацію вимог до ПЗ; виконується кількісна оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявних у специфікації атрибутів;

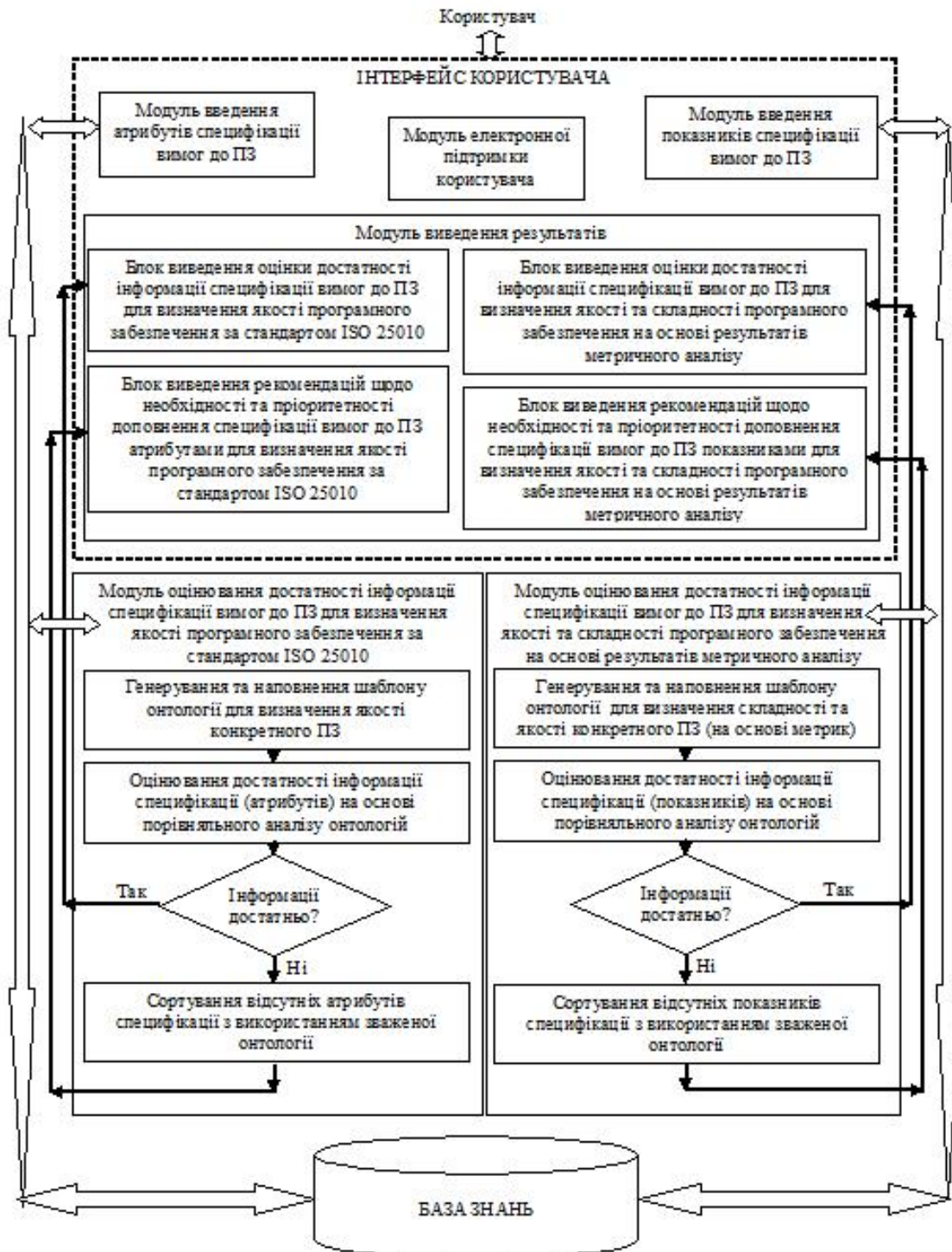


Рис.2. Структура підсистеми оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ на основі порівняльного аналізу онтологій

5) модуль оцінювання достатності інформації специфікації вимог до ПЗ для визначення якості та складності програмного забезпечення на основі результатів метричного аналізу – працює згідно методів оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості та складності програмного забезпечення (за результатами метричного аналізу) на основі онтологій [15]: виконується генерування та наповнення шаблону онтології для визначення якості та складності конкретного ПЗ, враховуючи наявні показники  $\{sqcxi_1, \dots, sqcxi_{n_i}\}$  ( $n_i \leq 42$ ); виконується порівняльний аналіз онтології для визначення якості та складності конкретного ПЗ із розробленою базовою онтологією предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість та складність ПЗ. Метричний аналіз»)), результатом якого є список відсутніх

у специфікації показників; якщо при порівняльному аналізі онтологій не виявлено розбіжностей, то інформації специфікації достатньо для визначення якості та складності програмного забезпечення на основі метричного аналізу; якщо ж при порівняльному аналізі онтологій встановлено розбіжності, то у специфікації недостатньо показників для визначення певних метрик якості та складності ПЗ, тоді відбувається порівняльний аналіз онтологій для визначення якості та складності конкретного ПЗ із зваженою базовою онтологією предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість та складність ПЗ. Метричний аналіз»)), внаслідок чого відбувається сортування всіх відсутніх показників специфікації за спаданням значень вагових коефіцієнтів, тобто встановлюється рекомендована пріоритетність їх доповнення у специфікацію вимог до ПЗ; виконується кількісна оцінка достовірності оцінювання якості та складності ПЗ на основі наявних у специфікації показників;

6) база знань – містить базові та зважені базові онтології предметної галузі «Інженерія ПЗ» (частини «Якість ПЗ» та «Якість і складність ПЗ. Метричний аналіз»), сформовані користувачем онтології для конкретного ПЗ, а також продукційні правила формування логічного висновку про достатність інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ за стандартом ISO 25010:2011 і для визначення складності та якості програмного забезпечення на основі використання результатів метричного аналізу;

7) модуль виведення результатів – компоненти цього блоку виводять користувачу сформовані висновки, рекомендації та оцінки.

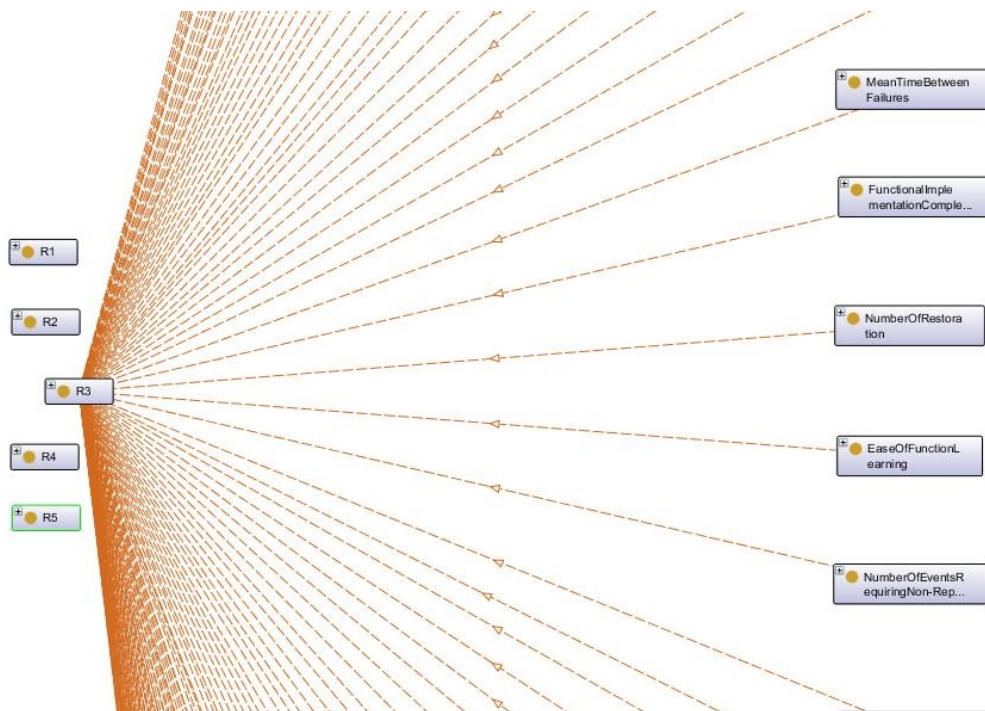


Рис.3. Фрагмент онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (атрибути якості)»)

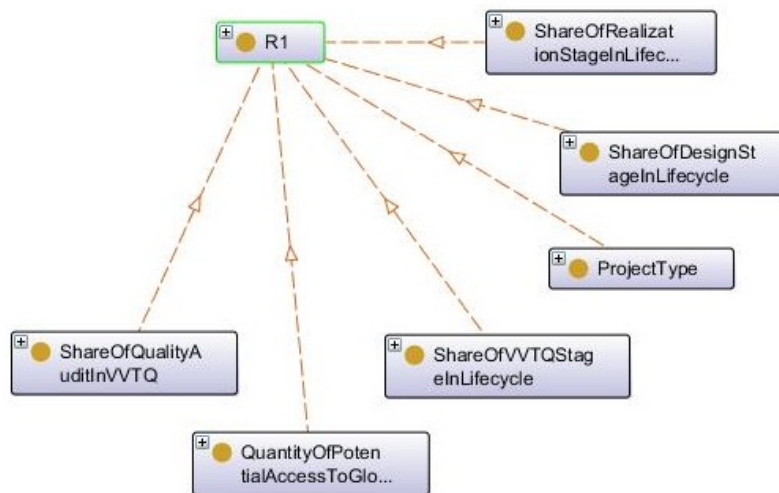


Рис.4. Складова онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (показники складності та якості)» – показники, які містяться у розділі 1 специфікації



вимог на достатність для визначення якості ПЗ і, у разі недостатності, формуються висновки, для визначення яких підхарактеристик та характеристик якості ПЗ недостатньо інформації, а також формується сортований (за ваговими коефіцієнтами) список відсутніх атрибутів (згідно правил №139, 140) як рекомендована пріоритетність доповнення атрибутів у специфікацію вимог.

Далі виконується оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявної у специфікації інформації:

$$q_{chr} = fy / 15 + ry / 30 + ey / 26 + uy / 49 + my / 33 + sy / 23 + cy / 9 + py / 18, \quad (1)$$

де  $q_{chr}$  – кількість характеристик якості, які неможливо обчислити за наявних у специфікації атрибутів;  $fy, ry, ey, uy, my, sy, cy, py$  – лічильники відсутніх атрибутів для характеристик якості ПЗ; числа в знаменниках дробів вказують кількість атрибутів для кожної характеристики якості згідно стандартів [6, 8];

$$D_{chr} = (8 - q_{chr}) / 8, \quad (2)$$

де  $D_{chr}$  – достовірність оцінювання якості ПЗ на основі наявних у специфікації атрибутів.

Зважаючи на те, що методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010:2011) на основі онтологій [14] є ітераційними, то після формування висновків про недостатність інформації відбуватимуться доповнення специфікації вимог необхідними атрибутами, які призводитимуть до збільшення достовірності оцінювання якості ПЗ.

Для оцінювання приросту достовірності оцінювання якості ПЗ спочатку слід виконати оцінку достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявної у специфікації вимог інформації після доповнення:

$$q'_{chr} = fy' / 15 + ry' / 30 + ey' / 26 + uy' / 49 + my' / 33 + sy' / 23 + cy' / 9 + py' / 18, \quad (3)$$

де  $q'_{chr}$  – кількість характеристик якості, які неможливо обчислити за наявних після доповнення (доповнень) атрибутів;  $fy', ry', ey', uy', my', sy', cy', py'$  – лічильники відсутніх у специфікації атрибутів після доповнення;

$$D'_{chr} = (8 - q'_{chr}) / 8, \quad (4)$$

де  $D'_{chr}$  – достовірність оцінювання якості ПЗ на основі наявних після доповнення (доповнень) атрибутів.

Тоді приріст достовірності оцінювання якості ПЗ після доповнення (доповнень) специфікації вимог необхідними атрибутами обчислюватиметься наступним чином:

$$\Delta q_{chr} = q_{chr} - q'_{chr} = (fy / 15 - fy' / 15) + (ry / 30 - ry' / 30) + \dots + (py / 18 - py' / 18), \quad (5)$$

де  $\Delta q_{chr}$  – кількість характеристик якості, які стало можливим обчислити за наявних після доповнення (доповнень) специфікації атрибутами;

$$\Delta D_{chr} = D'_{chr} - D_{chr} = \Delta q_{chr} / 8, \quad (6)$$

де  $\Delta D_{chr}$  – приріст достовірності оцінювання якості ПЗ після доповнення (доповнень) специфікації атрибутами.

Продукційні правила формування логічного висновку про достатність інформації специфікації вимог для визначення якості та складності програмного забезпечення на основі метричного аналізу сформовані на основі базової та зваженої онтологій предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість і складність ПЗ. Метричний аналіз»)». 42 правила для показників мають вигляд «якщо-то» і побудовані наступним чином: для кожного показника (якщо він відсутній у специфікації) відбувається збільшення лічильників відсутніх показників для відповідних метрик, а також відбувається присвоєння вагового коефіцієнту розглядуваного показника в елемент масиву вагових коефіцієнтів відсутніх показників (індекс якого дорівнює розглядуваному показнику). Правило №43 має вигляд: якщо лічильники відсутніх атрибутів для всіх метрик одночасно дорівнюють 0, то у специфікації вимог до ПЗ достатньо даних для визначення всіх метрик, інакше: у специфікації вимог до ПЗ недостатньо показників для визначення певних метрик (із зазначенням метрик); відбувається сортування масиву вагових коефіцієнтів відсутніх показників за спаданням значень; виводяться значення елементів сортованого масиву вагових коефіцієнтів відсутніх показників як рекомендована пріоритетність доповнення показників у специфікацію вимог до ПЗ.

Підсистема оцінювання достатності інформації для визначення якості ПЗ виконує пошук правила (серед 42 правил для показників) для кожного з елементів множини відсутніх показників, згідно яких ведеться підрахунок метрик, які неможливо достовірно визначити на основі наявних у специфікації вимог показників. Після цього виконується аналіз інформації специфікації вимог на достатність для визначення якості ПЗ і, у разі недостатності, формуються висновки, для визначення яких метрик недостатньо інформації, а також формується сортований (за ваговими коефіцієнтами) список відсутніх показників (згідно правила №43) як рекомендована пріоритетність доповнення показників у специфікацію вимог.

Далі виконується оцінка достовірності метричного аналізу на основі наявної у специфікації вимог інформації:

$$q_{metr} = chm / 5 + jam / 2 + mcm / 5 + km / 4 + ch / 2 + cpl / 5 + \dots + eab / 2 + dtb / 2, \quad (7)$$

де  $q_{metr}$  – кількість метрик, які неможливо обчислити за наявних у специфікації показників; змінні у чисельнику – це лічильники відсутніх у специфікації показників для метрик; числа в знаменниках дробів вказують кількість показників для кожної метрики згідно [9, 10];

$$D_{metr} = (24 - q_{metr}) / 24, \quad (8)$$

де  $D_{metr}$  – достовірність метричного аналізу на основі наявних у специфікації показників.

Зважаючи на те, що онтологічні методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення на основі результатів метричного аналізу є ітераційними, то після формування висновків про недостатність інформації відбуватимуться доповнення специфікації вимог необхідними показниками, які призводитимуть до збільшення достовірності метричного аналізу.

Для оцінювання приросту достовірності оцінювання якості ПЗ спочатку слід виконати оцінку достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявної у специфікації вимог інформації після доповнення (доповнень):

$$q'_{metr} = chm' / 5 + jam' / 2 + mcm' / 5 + km' / 4 + ch' / 2 + cpl' / 5 + \dots + eab' / 2 + dtb' / 2, \quad (9)$$

де  $q'_{metr}$  – кількість метрик, які неможливо обчислити за наявних після доповнення (доповнень) показників; змінні у чисельнику – це лічильники відсутніх у специфікації показників для метрик після доповнення;

$$D'_{metr} = (24 - q'_{metr}) / 24, \quad (10)$$

де  $D'_{metr}$  – достовірність метричного аналізу на основі наявних після доповнення (доповнень) показників.

Тоді *приріст достовірності метричного аналізу після доповнення (доповнень) специфікації вимог необхідними показниками* обчислюватиметься наступним чином:

$$\Delta q_{metr} = q_{metr} - q'_{metr} = (chm / 5 - chm' / 5) + (jam / 2 - jam' / 2) + \dots + (dtb / 2 - dtb' / 2), \quad (11)$$

де  $\Delta q_{metr}$  – кількість метрик, які стало можливим обчислити після доповнення специфікації показниками;

$$\Delta D_{metr} = D'_{metr} - D_{metr} = \Delta q_{metr} / 24, \quad (12)$$

де  $\Delta D_{metr}$  – приріст достовірності метричного аналізу після доповнення (доповнень) специфікації показниками.

#### **Експерименти: оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ**

Для експерименту було проаналізовано специфікацію вимог до ПЗ автоматизованої системи (АС) широкоформатного фотодруку. Було визначено атрибути якості ПЗ, наявні в конкретній специфікації. Розроблено онтологію для визначення якості конкретного програмного проекту [14]. Порівняння (в Protégé 4.2) розробленої онтології для конкретного ПЗ з фрагментами базової онтології для предметної галузі «Інженерія ПЗ» (частина «Якість ПЗ») дало можливість виявити, що у розробленій онтології конкретного ПЗ відсутні 4 атрибути: «Number Of Functions», «Operation Time», «Number Of Data Items», «Number Of Test Cases», які складають множину відсутніх атрибутів:  $\{qms_{1_{AS}}, \dots, qms_{4_{AS}}\}$ .

Проводиться пошук правила для кожного елемента множини  $\{qms_{1_{AS}}, \dots, qms_{4_{AS}}\}$  серед 138 правил для атрибутів. Відповідно до цих правил, підраховуються лічильники відсутніх атрибутів. Згідно правила №139, було встановлено, що у специфікації вимог до ПЗ АС широкоформатного фотодруку недостатньо атрибутів для визначення 23-х підхарактеристик якості ПЗ (із зазначенням підхарактеристик). Згідно правила №140, було встановлено, що у цій специфікації вимог недостатньо атрибутів для всіх восьми характеристик якості ПЗ. Після встановлення факту недостатності інформації специфікації вимог до ПЗ: проводиться сортування масиву відсутніх атрибутів за спаданням значень елементів (вагових коефіцієнтів відсутніх атрибутів); виведення індексів тих елементів відсортованого масиву, які мають значення, відмінне від 0, – як пріоритетність і порядок розгляду та доповнення атрибутів якості у специфікацію вимог до ПЗ. Так, для підвищення достовірності оцінювання якості ПЗ специфікація повинна бути доповнена наступними показниками в такій послідовності: 1) «Operation Time»; 2) «Number Of Functions»; 3) «Number Of Data Items»; 4) «Number Of Test Cases».

Далі виконується оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявної у специфікації вимог інформації:

$$q_{chr_{AS}} = 5 / 15 + 6 / 30 + 3 / 26 + 5 / 49 + 7 / 33 + 6 / 23 + 4 / 9 + 5 / 18 = 1,95;$$

$D_{chr_{AS}} = (8 - 1,95) / 8 = 0,76$ . Отже, для аналізованої специфікації вимог було сформовано висновок про недостатність даних для визначення якості ПЗ, а за наявних у специфікації атрибутів оцінити якість ПЗ можна з достовірністю 76%.

Відбулось доповнення специфікації вимог до ПЗ. Після доповнення специфікації вимог було знову розроблено онтологію (версія 2) для визначення якості конкретного ПЗ. Порівняльний аналіз розробленої онтології (версія 2) з фрагментами базової онтології предметної галузі «Інженерія ПЗ» (частина «Якість ПЗ») виявив, що специфікацію вимог до ПЗ було доповнено 2 атрибутами «Number Of Functions» (2-й у сортованому списку), «Number Of Data Items» (3-й у сортованому списку), тоді множина відсутніх атрибутів:  $\{qms'_{1_{AS}}, qms'_{2_{AS}}\} = \{ "OperationTime", "NumberOfTestCases" \}$ .

Проводиться пошук правила для кожного елемента множини  $\{qms'_{1_{AS}}, qms'_{2_{AS}}\}$  серед 138 правил для атрибутів. Згідно правила №139, було встановлено, що у специфікації вимог до ПЗ АС широкоформатного фотодруку все ще недостатньо атрибутів для визначення 18 підхарактеристик якості ПЗ

(із зазначенням цих підхарактеристик). Згідно з правилом №140, було встановлено, що у розглядуваній специфікації вимог до ПЗ все ще недостатньо атрибутів для всіх восьми характеристик якості ПЗ. Після встановлення факту недостатності інформації специфікації вимог: проводиться сортування масиву відсутніх атрибутів за спаданням значень елементів; виведення індексів тих елементів відсортованого масиву, які мають значення, відмінне від 0. Так, для підвищення достовірності оцінювання якості ПЗ специфікація повинна бути доповнена наступними показниками в такій послідовності: 1) «Operation Time»; 2) «Number Of Test Cases».

Далі виконується оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявної (після доповнення) у специфікації вимог інформації:  $q'_{chr_{AS}} = 2/15 + 5/30 + 2/26 + 2/49 + 4/33 + 4/23 + 2/9 + 1/18 = 0,99$ ;  $D'_{chr_{AS}} = (8 - 0,99)/8 = 0,88$ . Замовник розроблюваної АС широкоформатного фотодруку прийняв рішення, що подальше доповнення специфікації економічно недоцільне, тому було сформовано висновок, що за наявних (після доповнення) у специфікації атрибутів оцінити якість ПЗ можна з достовірністю 88%.

Приріст достовірності оцінювання якості ПЗ після доповнення специфікації вимог необхідними атрибутами складає:  $\Delta q_{chr_{AS}} = 1,95 - 0,99 = 0,96$ ;  $\Delta D_{chr_{AS}} = 0,96/8 = 0,12$ . Отже, розроблені інформаційна технологія та підсистема оцінювання достатності інформації специфікації вимог забезпечили приріст достовірності оцінювання якості ПЗ для автоматизованої системи широкоформатного фотодруку на 12%.

Розглянемо тепер роботу розроблених інформаційної технології та підсистеми для оцінювання достатності інформації специфікації для проведення метричного аналізу. Для експерименту було також проаналізовано специфікацію вимог до ПЗ АС широкоформатного фотодруку. Було визначено показники складності та якості ПЗ, наявні в конкретній специфікації. Розроблено онтологію для визначення якості та складності конкретного програмного проекту на основі метричного аналізу. Порівняння (в Protégé 4.2) розробленої онтології для конкретного програмного проекту з фрагментами базової онтології для предметної галузі «Інженерія ПЗ» (частина «Якість і складність ПЗ. Метричний аналіз») дало можливість виявити, що у розробленій онтології конкретного програмного проекту відсутні 9 показників: «Control Variables», «Cost Of One Line», «Project Duration», «Project Type», «Quantity Of Code Lines», «Quantity Of Links Of Each Module», «Quantity Of Modules», «Share Of Design Stage In Lifecycle», «Total Quantity Of Operators», які складають множину відсутніх показників  $\{sqcxi_{1_{AS}}, \dots, sqcxi_{9_{AS}}\}$ .

Проводиться пошук правила для кожного елемента множини  $\{sqcxi_{1_{AS}}, \dots, sqcxi_{9_{AS}}\}$  серед 42 правил для показників. Відповідно до цих правил, підраховуються лічильники відсутніх показників. Згідно правила №43, було встановлено, що у специфікації вимог до ПЗ АС широкоформатного фотодруку недостатньо атрибутів для 20 (з 24) метрик складності та якості ПЗ і, відповідно, до проведення метричного аналізу з високим рівнем достовірності. Після встановлення факту недостатності інформації специфікації вимог: проводиться сортування масиву відсутніх показників за спаданням значень елементів (вагових коефіцієнтів відсутніх показників); виведення індексів тих елементів відсортованого масиву, які мають значення, відмінне від 0. Так, для підвищення достовірності метричного аналізу специфікація вимог повинна бути доповнена наступними показниками в такій послідовності: 1) «Quantity Of Code Lines»; 2) «Quantity Of Modules»; 3) «Project Duration»; 4) «Total Quantity Of Operators»; 5) «Cost Of One Line»; 6) «Project Type»; 7) «Share Of Design Stage In Lifecycle»; 8) «Control Variables»; 9) «Quantity Of Links Of Each Module». Достовірність метричного аналізу на основі наявних показників:  $q_{metr_{AS}} = 13,92$ ;  $D_{metr_{AS}} = 0,42$ .

Відбулось доповнення специфікації вимог до ПЗ. Після доповнення специфікації було знову розроблено онтологію (версію 2) для визначення якості конкретного ПЗ. Порівняльний аналіз розробленої онтології з фрагментами базової онтології предметної галузі «Інженерія ПЗ» (частина «Якість і складність ПЗ. Метричний аналіз») виявив, що специфікацію вимог до ПЗ було доповнено 2 показниками «Quantity Of Modules» (2-й у сортованому списку), «Total Quantity Of Operators» (4-й у сортованому списку). Тоді для підвищення достовірності метричного аналізу специфікація вимог повинна бути доповнена наступними показниками в такій послідовності: 1) «Quantity Of Code Lines»; 2) «Project Duration»; 3) «Cost Of One Line»; 4) «Project Type»; 5) «Share Of Design Stage In Lifecycle»; 6) «Control Variables»; 7) «Quantity Of Links Of Each Module». Достовірність метричного аналізу на основі наявних (після доповнення) показників:  $q'_{metr_{AS}} = 10,57$ ;  $D'_{metr_{AS}} = 0,56$ . Приріст достовірності:  $\Delta q_{metr_{AS}} = 3,35$ ,  $\Delta D_{metr_{AS}} = 0,14$ . Отже, розроблені інформаційна технологія та підсистема оцінювання достатності інформації специфікації вимог забезпечили приріст достовірності метричного аналізу для АС широкоформатного фотодруку на 14%.

### Висновки

У статті вперше запропоновані інформаційна технологія оцінювання достатності інформації специфікації вимог для оцінювання якості ПЗ та структура підсистеми оцінювання достатності інформації специфікації вимог для оцінювання якості ПЗ. Вони призначені для підтримки оцінювання якості ПЗ на ранніх етапах життєвого циклу. Вони надають: висновок про достатність або недостатність інформації специфікації для оцінювання якості ПЗ за стандартом ISO 25010 та на основі результатів метричного аналізу; пріоритетність доповнення специфікації вимог до ПЗ відсутніми атрибутами та (або) показниками

(якщо інформації специфікації недостатньо); кількісну оцінку достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявних у специфікації атрибутів та(або) показників.

Експерименти довели, що використання розробленої інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ навіть після одного доопрацювання специфікації вимог дало можливість підвищити достовірність оцінювання якості ПЗ за стандартом ISO 25010:2011 на 12% та достовірність оцінювання якості ПЗ на основі результатів метричного аналізу на 14% для автоматизованої системи широкоформатного друку.

Запропонована інформаційна технологія дає можливість підвищити достовірність оцінювання якості ПЗ на ранніх етапах життєвого циклу, а також підвищити якість ПЗ на ранніх етапах життєвого циклу.

### Література

1. Jones C. The economics of software quality / C. Jones, O. Bonsignour. – Boston : Pearson Education, 2012. – 588 p.
2. Ishimatsu T. Hazard analysis of complex spacecraft using systems-theoretic process analysis / T. Ishimatsu, N. G. Levenson, J. P. Thomas, C. H. Fleming, M. Katahira, Yu. Miyamoto, R. Ujiie, H. Nakao, N. Hoshino // *Journal of Spacecraft and Rockets*. – 2014. – Vol. 51. – No. 2. – P. 509–522.
3. Yourdon E. Death March: The complete software developer's guide to surviving "Mission impossible" projects : 2nd edition / E. Yourdon. – Prentice Hall, 2003. – 256 p.
4. Шамие К. Системная инженерия для «чайников» / К. Шамие. – New York : John Wiley & Sons, 2014. – 76 с.
5. Маевский Д. Где и когда формируется качество программного обеспечения? / Д. Маевский, Ю. Козина // *Электротехнические и компьютерные системы*. – 2015. – № 18. – С. 55–59.
6. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). System and software quality models : ISO/IEC 25010:2011. – [Introduced 01.03.2011]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2011. – 34 p. – (International standard).
7. Software Engineering. Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK) : ISO/IEC TR 19759:2015. – [Introduced 01.10.2015]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2015. – 336 p. – (International standard).
8. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Measurement of system and software product quality : ISO 25023:2016. – [Introduced 31.03.2016]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2016. – 45 p. – (International standard).
9. Pomorova O. The Intelligent Decision Support System for Choice of Software Project / O. Pomorova, T. Hovorushchenko // *Journal of Information, Control and Management Systems*. – 2012. – Vol. 10. – No. 1. – P. 87–96.
10. Fenton N. Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach / N. Fenton, J. Bieman. – CRC Press, 2014. – 617 p.
11. Поморова О. В. Аналіз методів та засобів оцінки якості програмних систем / О. В. Поморова, Т. О. Говорущенко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 6. – С. 148–158.
12. Chen A. Visual models for software requirements / A. Chen, J. Beatty. – Washington : MS Press, 2012. – 444 p.
13. Rehman T. Analysis of requirement engineering processes, tools/techniques and methodologies / T. Rehman, M. N. A. Khan, N. Riaz // *International Journal of Information Technology and Computer Science*. – 2013. – Vol. 5. – No. 3. – P. 40–48.
14. Hovorushchenko T. Ontological Approach to the Assessment of Information Sufficiency for Software Quality Determination / T. Hovorushchenko, O. Pomorova // *CEUR-WS*. – 2016. – Vol. 1614. – P. 332–348.
15. Hovorushchenko T. Models and Methods of Evaluation of Information Sufficiency for Determining the Software Complexity and Quality Based on the Metric Analysis Results / T. Hovorushchenko // *Central European Researchers Journal*. – 2016. – Vol. 2. – Issue 2. – P. 42–53.
16. Systems and software engineering. Life cycle processes. Requirements engineering : ISO/IEC/IEEE 29148:2011. – [Introduced 01.12.2011]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2011. – 28 p. – (International standard).

Отримана/Received : 19.4.2017 р. Надрукована/Printed : 9.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., професор О.В. Боровик