О. О. Гордеев¹, Марк Израель^{2,3}, В. С. Харченко³

¹ Університет банківської справи, м. Київ, Україна,

² Холонський інститут технологій, м. Холон, Ізраїль

³ Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "ХАІ", м. Харків, Україна

ЯКІСТЬ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСІВУ ТА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ПРОФІЛЮ ДЕФЕКТІВ

Забезпечення якості програмного забезпечення (ПЗ) є невід'ємною частиною процесу його розроблення. Першочерговим завданням забезпечення якості ПЗ є його оцінювання. Відомий підхід до оцінювання якості ПЗ заснований на засіві відповідних дефектів. Використання такого підходу, з одного боку, зумовлено наявністю в міжнародних стандартах вимог до його застосування у критичних інформаційних системах, а з іншого – практикою компаній-розробників ПЗ, які приймають рішення про потребу застосування методу засіву дефектів, тому часто його використовують. В обох випадках передбачається наявність додаткових ресурсів, якими повинна володіти компанія-розробник ПЗ. У роботі запропоновано модель для оцінювання доцільності застосування методу засіву дефектів ПЗ і модель життєвого циклу профілю дефектів ПЗ. Модель для оцінювання доцільності застосування методу засіву дефектів ПЗ містить такі елементи: константа необхідності розрахунку доцільності оцінювання якості ПЗ, автоматизація етапу, обсяг об'єкта оцінювання, обсяг дефектів, що засіваються. Профіль дефектів ПЗ подано таксономією і множинами дефектів ПЗ, які відповідають їх таксономічним типам. Розглянуто таксономію типів дефектів у вигляді ієрархічної та фасетної структур. У межах зазначеного життєвого циклу профіль дефектів ПЗ, як правило, модифікується у вигляді таких типів профілів: прогнозований профіль, профіль дефектів, що засіваються, профіль всіх виявлених дефектів при тестуванні після засіву, профіль нових виявлених при тестуванні (на додаток до засіяних) дефектів, профіль виявлених засіяних дефектів і профіль виявлених не засіяних дефектів. Під час оцінювання якості ПЗ сформовані типи профілів його дефектів аналізують, обчислюють метрики і на підставі оцінок отриманих неув'язок приймається рішення про рівень якості ПЗ. Усі неув'язки дефектів профілів подано поєднанням таких типів профілів дефектів ПЗ: профіль дефектів, що засіваються, профілі усіх виявлених дефектів та відповідної таксономії типів дефектів.

Ключові слова: засів дефектів ПЗ; оцінювання якості ПЗ; неув'язки дефектів ПЗ; життєвий цикл засіву дефектів ПЗ.

Вступ

Процес розроблення програмного забезпечення (ПЗ) нерозривно пов'язаний і залежить від процесу забезпечення його якості. Першочерговим завданням забезпечення якості ПЗ є оцінювання його якості. З моменту відправної точки розвитку програмної інженерії [9] було розроблено багато різних підходів, методів, методик і інструментальних засобів для оцінювання якості ПЗ. Підхід до оцінювання якості ПЗ, який базуються на засіві його дефектів, застосовують упродовж десятиліть, а останнім часом значущість його посилилася за рахунок внесення технік засіву дефектів у відомі міжнародні стандарти [1, 2, 3, 4] як обов'язкових для застосування.

Відповідно до статті [10] С. Хамфрі, який був американським піонером в інженерії програмного забезпечення, якого називали "батьком якості програмного забезпечення", профіль дефектів ПЗ – це впорядкована множина дефектів, що складається з таксономії профі-

лю дефектів ПЗ і конкретних дефектів, які їй відповідають. Водночас, неув'язка профілів дефектів ПЗ – це невідповідність між типами профілів дефектів у частині конкретних дефектів ПЗ, наприклад, між профілем дефектів ПЗ, що засіваються, і профілем виявлених дефектів ПЗ.

Незважаючи на простоту розуміння самого підходу до оцінювання якості ПЗ на підставі засіву його дефектів, існує безліч невирішених або частково вирішених завдань для реалізації такого підходу у вигляді окремих моделей, методик і інструментальних засобів. Зокрема, до таких завдань належить економічна доцільність застосування засіву дефектів для оцінювання якості ПЗ, опис і подання профілю дефектів ПЗ, вплив аналізу неув'язок отриманих профілів дефектів ПЗ на прийняття рішення про рівень якості ПЗ загалом тощо. З огляду на зазначене вище, тема дослідження є актуальною.

Об'єкт дослідження – якість програмного забезпечення.

Інформація про авторів:

Гордеев Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри кібербезпеки. Email: alex.gordeyev@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2517-9388>

Израель Марк, менеджер досліджень та розробки. Email: markisr@walla.co.il

Харченко В'ячеслав Сергійович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки. Email: v.kharchenko@csn.khai.edu; <https://orcid.org/0000-0001-5352-077X>

Цитування за ДСТУ: Гордеев О. О., Израель Марк, Харченко В. С. Якість програмного забезпечення: моделі оцінювання доцільності засіву та життєвий цикл профілю дефектів. Науковий вісник НЛТУ України. 2020, т. 30, № 5. С. 114–122.

Citation APA: Gordieiev, O. O., Israel, Mark, & Kharchenko, V. S. (2020). Software quality: injection necessity assessment model and defects profile life cycle. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(5), 114–122. <https://doi.org/10.36930/40300519>

Предмет дослідження – процеси та підходи щодо оцінювання якості ПЗ, що дасть змогу докладніше проаналізувати результати, які було отримано при засіві дефектів ПЗ та визначити певні неув'язки.

Мета роботи – розроблення моделі доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів і формалізований опис життєвого циклу профілю дефектів ПЗ при засіві його дефектів з урахуванням можливих неув'язок типів профілів.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі *основні завдання дослідження*: розробити модель доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів, формально представити структури типів дефектів ПЗ у вигляді ієрархії та фасет, формально подати та описати життєвий цикл профілю дефектів ПЗ при засіві його дефектів, представити та формально описати варіанти неув'язок типів профілів ПЗ

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше розроблено модель доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів, а подання життєвого циклу профілю дефектів ПЗ при засіві його дефектів набуло подальшого розвитку.

Практична значущість результатів дослідження полягає у застосуванні моделі доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів для проведення реального оцінювання програмних продуктів при використанні засіву відповідних дефектів. Формалізація опису життєвого циклу профілю дефектів ПЗ при засіві його дефектів дає змогу докладніше детально проаналізувати результати, які було отримано при засіві дефектів ПЗ, та визначити певні неув'язки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Роботи, приурочені питанням оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів, досить різноманітні в своїх цілях і завданнях. У цій роботі проведений аналіз зосереджено на наявних роботах, які приурочені моделям доцільності засіву дефектів ПЗ, ЖЦ профілю дефектів ПЗ і неув'язкам профілю дефектів ПЗ. У наявних роботах у частині моделі доцільності застосування засіву дефектів для оцінювання якості ПЗ порушують тільки проблему оцінювання доцільності засіву дефектів, але подання у вигляді окремої моделі або методу відсутнє [5]. Неув'язки ж профілю дефектів ПЗ у цих роботах розглядають, зазвичай, як порівняння профілю дефектів, що засіваються, і профілю дефектів, виявлених при тестуванні ПЗ [7]. ЖЦ профілю дефектів ПЗ і не-

ув'язки профілів його дефектів детального і формального опису неув'язки профілів дефектів ПЗ не отримали [8], однак про потребу глибшого вивчення порівняння типів профілів дефектів ПЗ і ЖЦ профілю дефектів ПЗ наголошують [6].

Результати дослідження та їх обговорення

1. Модель доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів. Оцінювання якості ПЗ з використанням дефектів ПЗ передбачає виділення додаткових ресурсів стороною, яка ініціювала такий процес. Зазвичай, такий ресурс повинні виділяти компанії-розробники ПЗ або ж замовник, коли наймає незалежну аудиторську компанію, яка оцінює якість програмного продукту або процесу, застосовуючи при цьому підхід, заснований на засіві дефектів ПЗ.

Потреба застосування засіву дефектів ПЗ може бути зумовлена таким:

- це вимога, визначена в національному галузевому стандарті, яка має обов'язково виконуватися;
- це вимога, яка прописана у відповідному міжнародному стандарті і має виконуватися. Особливо важливою така вимога є для ПЗ інформаційних систем критичного застосування, використовуваних в різних юрисдикціях, що потребує відповідної міжнародної сертифікації;
- це вимога, яка передбачена в технічному завданні на розроблення ПЗ.

У наведених вище трьох випадках застосування підходу до оцінювання якості ПЗ, заснованого на засіві дефектів ПЗ, є обов'язковим. У всіх інших випадках доцільно оцінювати потребу застосування підходу, заснованого на засіві дефектів ПЗ.

Розробимо модель доцільності оцінювання якості ПЗ на підставі засіву дефектів ПЗ. Для цього введемо такі позначення для елементів моделі:

- константа необхідності розрахунку доцільності оцінювання якості ПЗ *CNC* (англ. *Calculation Necessity Constant*);
- автоматизація етапу *STAU* (англ. *Stage AUtomation*);
- обсяг об'єкта оцінювання *AOV* (англ. *Assessment Object Volume*);
- обсяг дефектів, що засіваються *IDV* (англ. *Injected Defect Volume*).

Отже, структура моделі доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів складається з чотирьох взаємопов'язаних компонентів: *CNC*, *STAU*, *AOV*, *IDV* (рис. 1). Вважається, що для кожного елемента моделі доцільності оцінювання якості ПЗ існують однойменні показники.

Рис. 1. Структура моделі доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів

Розглянемо і опишемо докладніше елементи моделі:

- константа необхідності розрахунку *CNC* (англ. *Calculation Necessity Constant*) вводиться для індикації необхідності оцінювання. Приймає два значення 0 або 1. Тобто, якщо оцінювання необхідності засіву дефектів визначається стандартами або технічним завданням, то значення константи приймає значення "0", в іншому ж випадку, значення константи дорівнює одиниці "1" ($CNC \in \{0,1\}$);
- автоматизація етапу (*STAU*), однойменний показник якого розраховуємо за такою формулою:

$$STAU = \sum_{i=0}^3 k_i \cdot sast_i; \quad (1)$$

- показник обсягу об'єкта оцінювання *AOV* (англ. *Assessment Object Volume*) є кількісним і відображає значення обсягу залежно від особливостей об'єкта оцінювання – результату етапу розроблення ПЗ. Наприклад, якщо об'єктом оцінювання є програмний код або технічне завдання, тоді *AOV* дорівнює кількості рядків. А якщо об'єкт оцінювання є тестовими наборами, тоді показник *AOV* дорівнює кількості тестових наборів;
- показник обсягу дефектів, що засіваються *IDV* (англ. *Injected Defect Volume*), також є кількісним і відображає кількість дефектів ПЗ, що засіваються.

де: $sast_i$ – елементи множини *STAU*, тобто інструментальної підтримки автоматизації етапу оцінювання якості ПЗ на підставі засіву його дефектів (англ. *Stage Automation Support Tool*). Отже, існує множина *STAU*, яка складається з чотирьох елементів, що відповідають кожному з позначених етапів, а саме: $sast_0$ відповідає етапу підготовки і планування сценарію засіву дефектів ПЗ, $sast_1$ – етапу засіву дефектів у ПЗ, $sast_2$ – етапу тестування та верифікації ПЗ із засіяними дефектами ПЗ, $sast_3$ – етапу аналізу отриманих результатів оцінювання. Елементи множини *SAST* можуть приймати значення з діапазону від 0 до 1 ($sast_i \in [0,1]$). Варто зазначити, що значення для елементів множини *SAST* визначаються експертом, виходячи з рівня автоматизації кожного етапу: чим етап більш автоматизований, тим вище значення елементів множини *SAST*; k_i – вагові коефіцієнти, сума яких повинна дорівнювати "1", $\sum_{j=0}^3 k_j = 1$.

Для того, щоб пов'язати всі елементи (показники) моделі доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів єдиною формулою, введемо узагальнений показник доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів (англ. *General Index Necessity, GIN*). Отже, з урахуванням (1) узагальнений показник доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів розраховують за такою формулою (2):

$$GIN = CNC \cdot \left(STAU - \frac{IDV}{AOV} \right). \quad (2)$$

Показник *GIN* може набувати значень від "0" до "1", $GIN \in [0,1]$. Чим вище значення показника, тим менше ресурсів має витрачатися на оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів. Варто зазначити, що для показника *GIN* експертним шляхом можуть бути задані діапазони значень, які відображають обсяги необхідних додаткових ресурсів, наприклад:

- [0,0-0,33] – оцінювання якості ПЗ на підставі засіву його дефектів передбачає виділення істотних додаткових ресурсів;
- [0,34-0,6] – оцінювання якості ПЗ на підставі засіву його дефектів передбачає виділення достатніх додаткових ресурсів;

- [0,61-1,0] – оцінювання якості ПЗ на підставі засіву його дефектів передбачає виділення неістотних додаткових ресурсів.

2. Життєвий цикл профілю дефектів ПЗ при засіві його дефектів

2.1. Профіль дефектів ПЗ і його опис. Профіль дефектів складається з таксономії профілю дефектів ПЗ і конкретних дефектів, які відповідають такій таксономії. Тобто кожному типу дефектів відповідає певна кількість реальних дефектів. Номенклатура типів дефектів ПЗ і кількість дефектів ПЗ не є величиною постійною і залежить від конкретного профілю дефектів ПЗ. Структура таксономії типів дефектів ПЗ подають у вигляді ієрархічної (рис. 2) або фасетної структури (рис. 3). Кожен профіль можна описати в такий спосіб:

- таксономія профілю дефектів ПЗ (англ. *Taxonomy of Profile of Defects*) – $TPD_{tis}^{(i)}$ – описується множиною типів дефектів ПЗ (таксонів) (англ. *SoftWare Defects Types*) – $SWDT_{tis}^{(i)}$, множиною класифікаційних ознак дефектів ПЗ (англ. *Software Classification Features of Defects*) – $SCFD_{tis}^{(i)}$, таблицею суміжності (англ. *Adjacency Table*) – $AT_{tis}^{(i)}$ для опису підпорядкованості в ієрархічній структурі, таблицею відповідності (англ. *Correspondence Table*) – $CT_{tis}^{(i)}$ для встановлення відповідності між таксонами і класифікаційними ознаками в ієрархічній і фасетній структурах. Відзначимо, що tis – тип таксономічної структури (англ. *Type of Taxonomic Structure*) – може набувати значення *H* – ієрархічна структура і *F* – фасетна структура, *i* – номер профілю дефектів;
- множиною фактичних дефектів (англ. *SoftWare Defects*) – $SWD_{tis}^{(i)}$;
- множиною відповістей дефектів ПЗ та їх типам (англ. *Software Defects Types Defects Accordance*) – $SWDTDC_{tis}^{(i)}$, тобто множиною відповідних предикатів (відношенням) "дефект-тип дефекту", а також таблицею опису конкретних дефектів.

Отже, профіль дефектів ПЗ (англ. *Software Defects Profile*) – *SDP* можна описати трьома елементами – таксономією профілю дефектів, множиною дефектів і відношенням "дефект-тип дефекту", а саме:

$$SDP^{(i)} = \{ TPD_{tis}^{(i)}, SWD_{tis}^{(i)}, SWDTDC_{tis}^{(i)} \}, i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

де *m* – кількість дефектів ПЗ у профілю.

Водночас, елементи профілю дефектів ПЗ є складовими множини $TPD_{tis}^{(i)}$ – таксономії профілю дефектів ПЗ, що містить множину типів дефектів ПЗ і множину їх класифікаційних ознак, а також таблиці суміжності та відповідності, а саме:

$$TPD_{tis}^{(i)} = \{ SWDT_{tis}^{(i)}, SCFD_{tis}^{(i)}, AT_{tis}^{(i)}, CT_{tis}^{(i)} \}, i = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Оскільки класифікаційні ознаки необхідні тільки для формування структури таксономії, при описі фактичного дефекту ПЗ вони не застосовуються. Варто також відзначити, що фактичні дефекти, їх типи і відношення також є множинами: $SWD = \{ swd_i \}_{i=0}^n$, $SWDT = \{ swdt_i \}_{i=0}^n$, $SWDTDC = \{ swdt dc_i \}_{i=0}^n$. Тому кожен дефект ПЗ описується відношенням (*swdt dc*) дефекту (*swd*) і його типу (*swdt*) в такий спосіб:

$$swd_i swdt dc swdt_j, i = \overline{0, n}; j = \overline{1, k}, \quad (5)$$

де: *i* – номер фактичного дефекту, *n* – їхня кількість; *j* – номер типу дефекта, *k* – їхня кількість. Профіль дефектів з моменту його формування до виявлення дефектів при тестуванні і верифікації зазнає певних природних змін.

Рис. 2. Таксономія типів дефектів ПЗ у вигляді ієрархічної структури

Рис. 3. Таксономія типів дефектів ПЗ у вигляді ієрархічної структури

Розглянемо і опишемо життєвий цикл профілю дефектів ПЗ. Для цього, передусім, введемо такі необхідні формулювання для опису життєвого циклу профілю ПЗ:

- прогнозована таксономія профілю дефектів (англ. *Forecasted Taxonomy of Profile of Defects, FTPD*) – таксономія типів дефектів ПЗ, яка відображає потенційні типи дефектів, які можуть міститися в ПЗ. Зазвичай, подають у вигляді ієрархічної або фасетної структури;
- прогнозована кількість дефектів (англ. *Forecasted Quantity of Profile of Defects, FQPD*) – кількість дефектів, які потенційно можуть знаходитися в ПЗ;
- прогнозований профіль дефектів (англ. *Forecasted Profile of Defects, FPD*) – профіль дефектів, у якому подано відповідність між прогнозованою таксономією типів дефектів ПЗ і реальними дефектами, кількість яких відповідає прогнозованій кількості дефектів ПЗ;
- профіль дефектів, що засіваються (англ. *Injected Profile of Defects, IPD*) – профіль дефектів, який є підмножиною

прогнозованого профілю дефектів ПЗ. Реальні дефекти, які входять в цей профіль, засіваються в ПЗ;

- профіль всіх виявлених дефектів (англ. *Profile of All Discovered Defects, PADD*) – профіль дефектів, які були виявлені при тестуванні ПЗ;
- профіль нових виявлених дефектів (англ. *Profile of New Discovered Defects, PNDD*) – профіль дефектів, які були виявлені при тестуванні і не є засіяними дефектами;
- профіль виявлених засіяних дефектів (англ. *Profile of Discovered and Injected Defects, PDID*) – профіль дефектів, які були виявлені при тестуванні і є засіяними раніше дефектами;
- профіль невиявлених засіяних дефектів (англ. *Profile Not Discovered and Injected Defects, PNDID*) – профіль дефектів, які були раніше засіяними і не виявлені при тестуванні.

2.2. Життєвий цикл профілю дефектів ПЗ і неув'язки профілів дефектів ПЗ. Етапність життєвого циклу профілю дефектів ПЗ наведено на рис. 4. Розглянемо ці етапи дещо докладніше.

Рис. 4. Графічне подання профілю дефектів ПЗ

Еман 1. Передне формування профілю дефектів ПЗ. Зазвичай, експерт формує прогнозовану таксономію типів дефектів ПЗ на підставі відповідного класифікатора і бази даних дефектів ПЗ. Таку таксономію можна сформулювати експертом на підставі його набутого досвіду або ж на підставі ретроспективних даних про типи дефектів ПЗ, зібраних з аналогічних проектів;

Еман 2. Визначення прогнозованої кількості потенційних дефектів. Такий прогноз може здійснювати експерт на підставі свого досвіду або застосовуючи відповідні моделі прогнозування кількості потенційних дефектів, або на підставі ретроспективних статистичних даних аналогічних проектів. Можуть бути різні комбінації вказаних варіантів визначення кількості потенційних дефектів ПЗ;

Еман 3. Формування прогнозованого профілю дефектів ПЗ, де експерт встановлює відповідність між прогнозованою таксономією типів дефектів ПЗ і реальними дефектами ПЗ, спираючись на класифікатор і базу даних дефектів ПЗ, враховуючи при цьому прогнозовану кількість потенційних дефектів ПЗ;

Еман 4. Експерт формує профіль дефектів ПЗ, який реально буде засіватися в ПЗ. Як правило, такий профіль є частиною прогнозованого профілю дефектів ПЗ, але може бути ідентичним прогнозованому профілю дефектів ПЗ;

Еман 5. Відбувається тестування і верифікація ПЗ, внаслідок чого формується профіль всіх виявлених дефектів ПЗ;

Еман 6. Експерт, аналізуючи отримані результати, формує профіль нових виявлених дефектів ПЗ. Такий профіль формується при співвіднесенні профілю всіх виявлених дефектів ПЗ і профілю дефектів ПЗ, що засіваються. У нього входять всі дефекти, які містить профіль всіх виявлених дефектів ПЗ, але не входять в профіль дефектів ПЗ, що засіваються;

Еман 7. Експерт формує профіль виявлених засіяних дефектів ПЗ. Він формується при співвіднесенні профілю всіх виявлених дефектів ПЗ і профілю дефектів ПЗ, що засіваються. У нього входять всі дефекти, які містить профіль всіх виявлених дефектів ПЗ і входять в профіль дефектів ПЗ, що засіваються;

Еман 8. Експерт формує профіль невиявлених засіяних дефектів ПЗ. Він формується при співвіднесенні профілю всіх виявлених дефектів ПЗ і профілю дефектів ПЗ, що засіваються. У нього входять всі дефекти, які не входять до профілю всіх виявлених дефектів ПЗ, але входять в профіль дефектів ПЗ, що засіваються.

Подамо та опишемо різні варіанти поєднань дефектів у одержуваних профілях дефектів ПЗ до і після тестування і верифікації. Такі варіанти поєднань дефектів і є неув'язками типів профілів дефектів ПЗ. Введемо множини профілів дефектів, назви яких будуть еквівалентні назвам типів профілів:

- $FPD = \{fpd_i\}_{i=0}^n$ – множина дефектів прогнозованого профілю дефектів (англ. *Forecasted Profile of Defects, FPD*);
- $IPD = \{ipd_i\}_{i=0}^n$ – множина дефектів профілю дефектів, що засіваються (англ. *Injected Profile of Defects, IPD*);
- $PADD = \{padd_i\}_{i=0}^n$ – множина дефектів профілю усіх виявлених дефектів (англ. *Profile of All Discovered Defects, PADD*);
- $PNDD = \{pndd_i\}_{i=0}^n$ – множина дефектів профілю нових виявлених дефектів (англ. *Profile of New Discovered Defects, PNDD*);
- $PDID = \{pdid_i\}_{i=0}^n$ – множина дефектів профілю засіяних і виявлених дефектів (англ. *Profile of Discovered and Injected Defects, PDID*);
- $PNDID = \{pndid_i\}_{i=0}^n$ – множина дефектів профілю засіяних і невиявлених дефектів (англ. *Profile Not Discovered and Injected Defects, PNDID*).

Будемо вважати, що множини дефектів є об'єднанням фактичних (реальних) дефектів, кожен з яких відповідає типу дефектів і фізично існує.

Далі візуально представимо і опишемо такі неув'язки докладніше. Усі неув'язки дефектів профілів представляються поєднаннями профілів IPD (рис. 5,а) і $PADD$ (див. рис. 5,б), а профіль FPD (див. рис. 5,в) необхідний для подання IPD . Усі інші варіанти профілів є результатом поєднань IPD і $PADD$.

Рис. 5. Візуальне позначення множин дефектів профілів

У таблиці подано можливі варіанти неув'язок профілів між профілями дефектів, що засіваються (англ. *Injected Profile of Defects, IPD*), всіх виявлених дефектів (англ. *Profile of All Discovered Defects, PADD*) та множиною дефектів прогнозованого профілю дефектів (англ. *Forecasted Profile of Defects, FPD*).

Таблиця. Варіанти неув'язок типів профілів дефектів ПЗ

1	2	3	4
$\begin{cases} IPD \neq FPD \\ IPD \cap FPD \neq \emptyset \\ FPD > IPD \end{cases}$	$\begin{cases} IPD = PADD = PDID \\ PNDD = PNDID = \emptyset \end{cases}$	$\begin{cases} IPD \in PADD \\ PNDD = PADD \setminus IPD \\ PDID = IPD \\ PNDID = \emptyset \end{cases}$	$\begin{cases} IPD \neq PADD \\ IPD \cap PADD \neq \emptyset \\ IPD > PADD \end{cases}$

5	6	7
$\begin{cases} IPD \neq PADD \\ PNDD = PADD \setminus IPD \\ PDID = IPD \cap PADD \\ IPD \cap PADD \neq \emptyset \\ PNDID = IPD \setminus PADD \\ IPD = PADD \end{cases}$	$\begin{cases} IPD \neq PADD \\ PNDD = PADD \setminus IPD \\ PDID = IPD \cap PADD \\ IPD \cap PADD \neq \emptyset \\ PNDID = IPD \setminus PADD \\ IPD < PADD \end{cases}$	$\begin{cases} IPD \neq PADD \\ PNDD = PADD \setminus IPD \\ PDID = IPD \cap PADD \\ IPD \cap PADD \neq \emptyset \\ PNDID = IPD \setminus PADD \\ IPD > PADD \end{cases}$
8	9	10
$\begin{cases} IPD \neq PADD \\ IPD \cap PADD = \emptyset \\ PNDD = PADD \\ PDID = \emptyset \\ PNDID = IPD \\ IPD = PADD \end{cases}$	$\begin{cases} IPD \neq PADD \\ IPD \cap PADD = \emptyset \\ PNDD = PADD \\ PDID = \emptyset \\ PNDID = IPD \\ PADD > IPD \end{cases}$	$\begin{cases} IPD \neq PADD \\ IPD \cap PADD = \emptyset \\ PNDD = PADD \\ PDID = \emptyset \\ PNDID = IPD \\ IPD > PADD \end{cases}$

Обговорення результатів дослідження. Оскільки матеріал роботи обмежений її обсягом, тому певні особливості і деталі, пов'язані з поданням моделі доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву дефектів ПЗ і життєвим циклом профілю дефектів ПЗ, не описано. Матеріал, що розкриває зазначені особливості і деталі, може вміститися в кілька окремих статей. Варто зазначити, що модель доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву дефектів ПЗ подана в більш завершеному варіанті і може бути використана "як є" для оцінювання доцільності засіву дефектів ПЗ в реальних проектах компанії розробниками ПЗ, а також аудиторськими компаніями, які займаються технічною сертифікацією на національному та міжнародному рівнях систем критичного застосування відповідно до стандартів [1, 2, 3, 4]. У частині ЖЦ профілю дефектів ПЗ багато аспектів ще не описані, відомі й очевидні проблеми все ще знаходяться "на поверхні", а наведений матеріал лише є "вершиною айсберга" і його розвиток може претендувати на окремі повноцінні наукові роботи.

Висновки

Наведено та описано модель доцільності оцінювання якості ПЗ з використанням засіву його дефектів, яка дає змогу оцінити потребу і можливість застосування зазначеного підходу.

Формально представлений та описаний профіль дефектів ПЗ у вигляді ієрархічних та фасетних структур надав змогу перейти до представлення ЖЦ профілю дефектів ПЗ та аналізу можливих варіантів неув'язок типів профілю.

Модель життєвого циклу профілю дефектів ПЗ при засіві його дефектів дає змогу простежити основні перетворення профілю дефектів ПЗ, а неув'язки типів профілів дефектів ПЗ, що виникають, дають можливість глибше оцінити якість ПЗ.

Наші подальші дослідження спробуємо спрямувати на вивчення дефектів другого типу і феномена мутації дефектів.

References

1. Development of a Fault Injection-Based Dependability Assessment Methodology for Digital I&C Systems. (2012). (Vol. 1). U. S. Nuclear Regulatory Commission, 201 p.
2. Development of a Fault Injection-Based Dependability Assessment Methodology for Digital I&C Systems. (2012). (Vol. 2). U. S. Nuclear Regulatory Commission, 193 p.
3. Development of a Fault Injection-Based Dependability Assessment Methodology for Digital I&C Systems. (2012). (Vol. 3). U. S. Nuclear Regulatory Commission, 145 p.
4. Development of a Fault Injection-Based Dependability Assessment Methodology for Digital I&C Systems. (2012). (Vol. 4). U. S. Nuclear Regulatory Commission, 57 p.
5. Feinbube, L., Pirl, L., & Polze, A. (2017). Software Fault Injection: A Practical Perspective. *Chapter in book Dependability Engineering*, 15 p. Retrieved from: <https://www.intechopen.com/books/dependability-engineering/software-fault-injection-a-practical-perspective>
6. Gordeyev, A., Kharchenko, V., Andrashov, A., Sklyar, V., Konorev, B., & Boyarchuk, A. (2008). Case-based Software Reliability Assessment by Fault Injection Unified Procedures. In *proceedings of Software Engineering in East and South Europe (SE-ESE2008)*, May 13, 2008 Leipzig, Germany: ACM, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1145/1370868.1370870>

7. Kooli, M., Bosio, A., Benoit, P., & Torres, L. (2015). Software testing and software fault injection. In *Proceedings of 10th International Conference on Design & Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era* (DTIS2015), Naples, Italy, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/DTIS.2015.7127370>
8. Natella, R., Cotroneo, D., & Madeira, H. (2016). Assessing dependability with software fault injection: A survey. *ACM Computing Surveys*, 48(3), 44–48. <https://doi.org/10.1145/2841425>
9. Software engineering. (1968). Report on a conference sponsored by the NATO science committee. *Garmisch, Germany*, 7–11, October, 1968. Retrieved from: <http://homepages.cs.ncl.ac.uk/brian.randell/NATO/nato1968.PDF>
10. Watts Humphrey (2001). The software quality profile. Taz Daughtrey, Fundamental Concepts for the Software Quality Engineer. *American Society for Quality* (ASQ), 3–17.

O. O. Gordieiev¹, Mark Israel^{2,3}, V. S. Kharchenko³

¹ *Banking University, Kyiv, Ukraine*

² *Holon Institute of Technology, Holon, Israel*

³ *National Aerospace University "KhAI", Kharkiv, Ukraine*

SOFTWARE QUALITY: INJECTION NECESSITY ASSESSMENT MODEL AND DEFECTS PROFILE LIFE CYCLE

Software quality assurance (software) is considered to be an integral part of its development process. The primary task of software quality assurance is its evaluation. The known approach to software quality assessment is based on the injection of relevant defects. The use of this approach, on the one hand, is due to the presence of requirements for its use in critical information systems in international standards, and on the other hand – the practice of software companies that decide whether to use the method of seeding defects, so it is often used. In both cases, there are additional resources that must be owned by the software company. The paper proposes a model for evaluating the feasibility of using the method of seeding software defects and a model of the life cycle profile of software defects. The model for assessing the feasibility of using the method of seeding software defects contains the following elements: the need to calculate the feasibility of assessing the quality of software, stage automation, the volume of the object of evaluation, the amount of defects sown. The profile of software defects is given by taxonomy and sets of software defects that correspond to their taxonomic types. The taxonomy of types of defects in the form of hierarchical and faceted structures is considered. Within the specified life cycle, the profile of software defects is usually modified in the form of the following types of profiles: predicted profile, profile of sown defects, profile of all detected defects in testing after seeding, profile of new detected during testing (in addition to sown) defects, the profile of detected sown defects and the profile of undetected sown defects. During the evaluation of the software quality, the formed types of profiles of its defects are analyzed, metrics are calculated and on the basis of estimates of the received discrepancies the decision on the level of software quality is made. All discrepancies in profile defects are presented by the combination of the following types of software defect profiles: the profile of sown defects, profiles of all detected defects and the corresponding taxonomy of defect types.

Keywords: software defects injection; software quality assessment; software defects discrepancies; software defects injection life cycle.