

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ ПЗ З ІНДЕКСОМ СКЛАДНОСТІ НА ПОВЕДІНКУ ПАРАМЕТРА ПОТОКУ ВІДМОВ

© Яковина В., 2011

Досліджено поведінку параметра потоку відмов моделі надійності ПЗ з індексом складності залежно від параметрів моделі. Показано, що залежність параметра потоку відмов від складності програмного продукту має нелінійний характер з мінімумом за значення індексу складності $s=1$.

Ключові слова: програмне забезпечення, надійність, складність, модель надійності.

The behaviour of failure intensity function for software reliability model with complexity index depending on the model parameters has been studied. It is shown that the dependence of the failure intensity on the software complexity is non-linear with a minimum at complexity index $s=1$.

Keywords: software, reliability, complexity, reliability model.

Вступ

Надійність програмного забезпечення (ПЗ) є одним з найважливіших атрибутів його якості. Для розв'язання задач оцінювання та прогнозування надійності ПЗ сьогодні використовуються моделі надійності різних типів [1, 2]. Значного поширення набули моделі надійності, за якими досліджують закономірності виявлення помилок у програмному проекті протягом однакових інтервалів часу [2]. В основу більшості моделей надійності ПЗ цього класу покладено розподіл Пуассона, оскільки використання цього розподілу випадкових величин добре зарекомендувало себе в багатьох галузях, де основна особливість полягає в обчисленні кількості незалежних подій протягом інтервалів часу [2, 3].

У попередніх дослідженнях автором зі співавторами було побудовано модель надійності ПЗ з індексом складності [4], на основі поведінки індексу складності формалізовано критерій достатності процесу тестування [5], проаналізовано використання цієї моделі на різних етапах життєвого циклу ПЗ [6] та розроблено метод оцінювання та прогнозування надійності програмного забезпечення на основі цієї моделі [7]. Разом з тим характер залежності параметра потоку відмов ПЗ від параметрів моделі залишається недослідженим.

Отже, метою цієї роботи є дослідження поведінки параметра потоку відмов ПЗ, що описується моделлю з індексом складності та встановлення діапазонів значень індексу складності для цієї моделі.

Дослідження поведінки інтенсивності відмов моделі з індексом складності

Модель надійності ПЗ з індексом складності [4] можна віднести до “узагальнених пуассонових моделей”, разом з узагальненою пуассоновою моделлю [2], узагальненою моделлю неоднорідного пуассонового процесу Goel [8] та узагальненою моделлю Тимошенко–Дідковської [9]. Параметр потоку відмов [10] в моделі [4] описується виразом:

$$I(t) = a \cdot b^{s+1} \cdot t^s \cdot e^{-b \cdot t} \quad (1)$$

Для дослідження поведінки функції параметра потоку відмов (1) та встановлення її екстремумів знайдемо похідну цієї функції за часом:

$$\frac{dI(t)}{dt} = a \cdot b^{s+1} \cdot \left(\frac{dt^s}{dt} \cdot e^{-bt} + \frac{de^{-bt}}{dt} \cdot t^s \right) = a \cdot b^{s+1} \cdot t^s \cdot e^{-bt} \cdot (s \cdot t^{-1} - b) = I(t) \cdot (s \cdot t^{-1} - b). \quad (2)$$

Прирівнявши рівняння (2) до нуля, отримаємо:

$$a \cdot b^{s+1} \cdot t^s \cdot e^{-bt} \cdot (s \cdot t^{-1} - b) = 0,$$

$$\text{звідки } t^s \cdot (s \cdot t^{-1} - b) = 0. \quad (3)$$

Розв'язавши рівняння (3), отримаємо значення часу, за якого функція $I(t)$ є максимальною:

$$t_{\max} = \frac{s}{b}. \quad (4)$$

Як видно з (4), положення максимуму параметра потоку відмов програмного продукту, на відміну від усіх відомих моделей надійності ПЗ, залежить як від якості тестування (параметр b [2]), так і від складності програмного продукту, що тестується. Зсув максимуму функції інтенсивності відмов за часовою шкалою залежно від значення індексу складності ілюструє рис. 1 (криві 2–5). Усі криві на рис. 1 було побудовано з використанням однакових значень параметрів a та b (a та b для моделі Goel–Okumoto), а значення параметра s для кривих 2–5 становило 0,5; 1; 2 та 2,5 відповідно. Зауважимо, що крива, яка відповідала параметру потоку відмов у випадку S -подібної моделі [11], повністю збігалася з кривою 3.

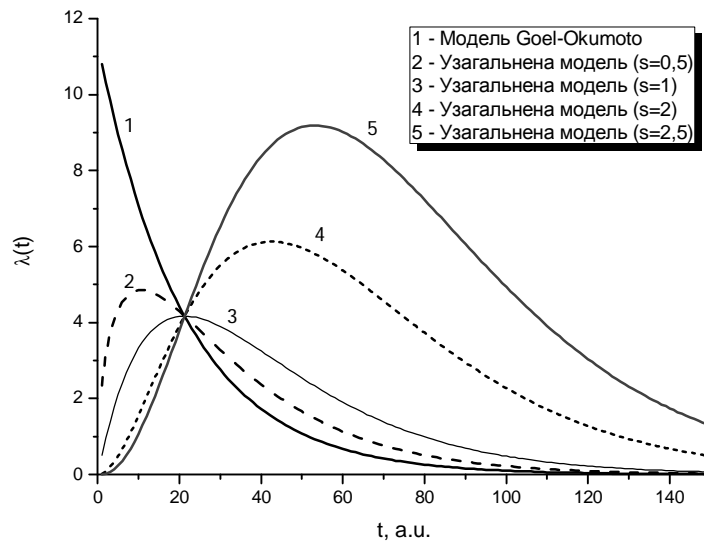


Рис. 1. Залежність поведінки функції параметра потоку відмов з часом для моделі Goel–Okumoto (крива 1) та узагальненої моделі з індексом складності (криві 2–5)

Проаналізуємо максимальне значення параметра потоку відмов I_{\max} та його залежність від параметрів моделі.

$$I_{\max}(a, b, s) = I(t_{\max}) = a \cdot b^{s+1} \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^s \cdot e^{-b \cdot \frac{s}{b}} = a \cdot b \cdot s^s \cdot e^{-s}. \quad (5)$$

Обчисливши часткові похідні функції (5) та прирівнявши їх до нуля, знайдемо екстремальні точки:

$$\frac{\partial I_{\max}(a, b, s)}{\partial a} = b \cdot s^s \cdot e^{-s}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial I_{\max}(a, b, s)}{\partial b} = a \cdot s^s \cdot e^{-s}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial I_{\max}(a, b, s)}{\partial s} = a \cdot b \cdot s^s \cdot (\ln s + 1) \cdot e^{-s} - a \cdot b \cdot e^{-s} \cdot s^s = a \cdot b \cdot s^s \cdot e^{-s} \cdot \ln s, \quad (8)$$

Як видно з рівнянь (6) та (7), за параметрами a і b функція (5) монотонно зростає без екстремумів (за винятком нульових значень цих параметрів, що не має фізичного змісту). Разом з

тим, з рівняння (8) видно, що поведінка максимального значення параметра потоку відмов залежно від індексу складності s є складнішою і має екстремум в точці $s=1$. Неважко показати, що екстремальна точка є точкою мінімуму функції.

Зауважимо, що при $s=0$ функція параметра потоку відмов (9) збігається з такою для моделі Goel–Okumoto (10):

$$I(t) \Big|_{s=0} = a \cdot b \cdot e^{-bt}, \quad (9)$$

$$I(t) = a \cdot b \cdot e^{-bt}, \quad (10)$$

а при $s=1$ – S-подібної моделі (вирази (11) та (12) відповідно):

$$I(t) \Big|_{s=1} = a \cdot b^2 \cdot t \cdot e^{-bt}, \quad (11)$$

$$I(t) = a \cdot b^2 \cdot t \cdot e^{-bt}. \quad (12)$$

Аналіз отриманих результатів та визначення інтервалів значень індексу складності

Для моделі Goel–Okumoto параметр a має зміст очікуваної загальної кількості помилок, яка буде виявлена при $t \rightarrow \infty$, а параметр b – коефіцієнт виявлення помилок на один дефект (показує швидкість виявлення помилок за одиницю часу на один дефект, присутній в програмі) [2].

У моделі з індексом складності параметр a характеризує загальну кількість помилок у програмному продукті, але на відміну від моделі Goel–Okumoto не дорівнює їй (очікувана загальна кількість помилок, яку буде виявлено при $t \rightarrow \infty$, становить $a \cdot s \cdot \Gamma(s)$, тобто містить модифікатор, який залежить від складності продукту); параметр b так само має розмірність, обернену до розмірності часу і характеризує швидкість виявлення помилок, віднесена до одного дефекту програми; параметр s є показником складності програмного продукту [4] і визначається деякою комплексною метрикою ПЗ. Крім того, з рис. 1 видно, що на тривалість процесу виявлення помилок впливає не тільки параметр b , але й параметр s , що відповідає практиці проведення тестування та виявлення помилок для програмних продуктів різної величини та складності.

Максимальне значення параметра потоку відмов в моделі Goel–Okumoto становить (за формулою (10)) $a \cdot b$. Порівнявши цей вираз з виразом (5), можна припустити, що максимальне значення параметра потоку відмов (так само, як і загальна кількість помилок) у випадку узагальненої моделі з індексом складності містить базове значення (значення при $s=0$, що збігається з моделлю Goel–Okumoto), помножене на деякий модифікатор (у цьому випадку $s^s \cdot e^{-s}$), який залежить від складності програмного продукту. Припустивши, що значення такого модифікатора не може бути більшим за одиницю, отримаємо граничні значення параметра s для узагальненої моделі надійності ПЗ з індексом складності – значення параметра s не може перевищувати числа Ейлера e . Таке припущення можна обґрунтувати, взявши до уваги, що у випадку базового значення усі помилки виявляються з максимальною інтенсивністю при $t=0$ і за мінімальний загальний час (див. рис. 1, крива 1), а збільшення тривалості виявлення тієї самої кількості помилок не може привести до більшого миттєвого значення параметра потоку відмов у довільний момент часу. Відтак, з рівняння (5) отримаємо максимальне значення параметра потоку відмов для трьох основних значень індексу складності (0 – мінімальне значення; 1 – значення, що відповідає мінімуму параметра потоку відмов; e – максимальне значення):

$$I_{\max}(a, b, s) \Big|_{s=0} = a \cdot b,$$

$$I_{\max}(a, b, s) \Big|_{s=1} = \frac{a \cdot b}{e},$$

$$I_{\max}(a, b, s) \Big|_{s=e} = a \cdot b.$$

Залежність нормованого максимального значення параметра потоку відмов від індексу складності програмного продукту наведено на рис. 2.

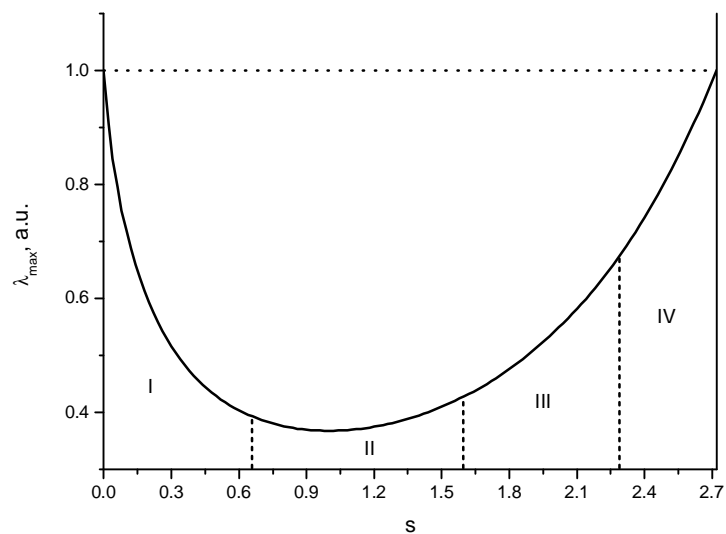


Рис. 2. Залежність нормованого максимального значення параметра потоку відмов від індексу складності s

Діапазони значень індексу складності програмного продукту визначимо з умови рівності площі під кривою максимального значення параметра потоку відмов (рис. 2) у кожному діапазоні. Шляхом ітеративного підбору верхньої межі інтеграла, записаного на основі виразу (5), можна визначити такі діапазони індексу складності програмного продукту (рис. 2):

- I. $s \in (0; 0,66)$ ПЗ можна вважати нескладним;
- II. $s \in [0,66; 1,6)$ ПЗ можна вважати середньої складності;
- III. $s \in [1,6; 2,28)$ ПЗ можна вважати складним;
- IV. $s \in [2,28; e]$ – дуже складним.

Поведінка параметра потоку відмов можна пояснити так. Зі збільшенням ступеня складності програмного продукту максимальний параметр потоку відмов зменшується за абсолютним значенням (рис. 2) та зсувається в часі (рис. 1), оскільки тестувальникам потрібно все більше часу на тестування усіх функцій продукту. Для проектів середньої складності значення параметра потоку відмов майже не залежить від складності і проходить через точку мінімуму, при цьому далі зсуваючись у бік більших значень часової шкали. Зі збільшенням індексу складності максимальне значення параметра потоку відмов продовжує зростати і при $s = e$ за абсолютним значенням збігається з таким для випадку $s = 0$. На думку автора, це можна пояснити зростанням кількості тестувальників, більшою модульністю, яка повною мірою використовує переваги об'єктно-орієнтованого підходу тощо. При цьому загальна тривалість процесу виявлення помилок монотонно зростає (див. рис. 1), а максимум параметра потоку відмов настає все пізніше зі зростанням складності продукту, що відповідає якісній картині процесу тестування промислового ПЗ. Однак питання встановлення числових значень діапазонів індексу складності потребує подальшого уточнення на основі даних тестування програмних продуктів різного ступеня складності та порівняння їхніх метрик коду.

Висновки

У роботі досліджено поведінку функції інтенсивності відмов моделі надійності ПЗ з індексом складності залежно від параметрів моделі, що дало змогу встановити діапазони значень цього

індексу та пояснити поведінку функції виявлення помилок залежно від складності програмного продукту. Показано, що модель з індексом складності адекватніше описує тестування програмного продукту, причому залежність характеру виявлення помилок під час тестування від складності програмного продукту має нелінійний характер і володіє мінімумом за значення індексу складності $s = 1$. Показано взаємозв'язок виразу для інтенсивності відмов узагальненої моделі надійності з індексом складності з найпоширенішими моделями надійності ПЗ, які є частковими випадками цієї моделі.

Показано, що вирази для різних показників узагальненої моделі (загальна кількість помилок, тривалість тестування тощо) відрізняються від базових виразів модифікаторами, які включають індекс складності і мають нелінійну залежність від цього індексу.

Питання остаточного встановлення числових значень діапазонів індексу складності та залежності індексу складності від конкретних метрико коду програмного продукту потребує подальшого уточнення на основі експериментальних даних тестування програмних продуктів різного ступеня складності.

1. Половко А.М., Гуров С.В. *Основы теории надежности*. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 704 с. 2. Goel, A.L. *Software reliability models: assumptions, limitations, and applicability*. // *IEEE Transactions on software engineering*. – Vol. SE-11 (1985), No 12. – pp. 1411-1423. 3. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. *Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ*. – М.: Наука, 1965. – 524 с. 4. Чабанюк Я.М., Яковина В.С., Федасюк Д.В., Сенів М.М., Хімка У.Т. Побудова і дослідження моделі надійності програмного забезпечення з індексом величини проекту // *Інженерія програмного забезпечення*. – № 1 (2010). – С. 24–29. 5. Яковина В.С., Сенів М.М., Чабанюк Я.М., Федасюк Д.В., Хімка У.Т. Критерій достатності процесу тестування програмного забезпечення // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка” Комп'ютерні науки та інформаційні технології*. – № 672 (2010). – С. 346–358. 6. Сенів М.М., Федасюк Д.В., Чабанюк Я.М., Яковина В.С. Аналіз використання моделі надійності програмного забезпечення з динамічним показником складності проекту протягом життєвого циклу // *Комп'ютерні технології друкарства*. – № 24 (2010). – С. 111–126. 7. М. Сенів, В. Яковина, Я. Чабанюк, Д. Федасюк *Метод оцінювання та прогнозування надійності програмного забезпечення на основі моделі з динамічним показником величини проекту* // *Комп'ютинг*. Т. 10 (2011). – Вип. 2. – С. 97–107. 8. A.L. Goel *A guidebook for software reliability assessment* // *Rep. RADCTR-83-176*, Aug. 1983. 9. Тимошенко Ю.О., Дідковська М.В. Узагальнена модель негомогенного пуассонівського процесу для оцінювання надійності програмного забезпечення // *Проблеми програмування*. – № 2–3. – 2004. – С.480–489. 10. ГОСТ 27.002-89 *Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения*. 11. S. Yamada, M. Ohba, S. Osaki *S-shaped reliability growth modeling for software error detection* // *IEEE Transactions on Reliability*. – Vol. R-32 (1983), No 5. – Pp. 475–478.