УДК 004.412

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СУПРОВОДЖУВАНОСТІ ВЕБЗАСТОСУНКІВ, РОЗРОБЛЕНИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ REACT

Мичко М. В.[1]; Трухов А. С., PhD[2]
[1,2] Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
[1,2] Україна, Миколаїв
[1] maksimkamychko@gmail.com; [2] artem.trukhov@nuos.edu.ua

Анотація. *Метрики RFC, CBO та WMC адаптовано до модулів React-компонентів і зібрано для 124 вебзастосунків з відкритим кодом. Удосконалено математичну модель, яка складається з рівняння тривимірного еліпсоїда прогнозування для нормалізованих метрик та рівнянь для довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійних регресійних моделей для цих метрик, за рахунок уточнення оцінок параметрів рівнянь, та визначено за нею супроводжуваність застосунків.*
Ключові слова: *супроводжуваність; React; математична модель; довірчий інтервал; метрики вихідного коду.*

Вступна частина. Супроводжуваність є однією з характеристик якості програмного забезпечення за стандартом ISO/IEC 25010 [1] і визначає, наскільки ефективно продукт може бути змінений. Її визначають опосередковано – через метрики вихідного коду, зокрема метрики Чідамбера–Кемерера RFC, CBO та WMC [2], зв'язок яких з обсягом робіт із супроводження підтверджено емпірично [3]. У [4] запропоновано визначати якість програмних систем за довірчими інтервалами та інтервалами передбачення трьох нелінійних регресійних моделей – для RFC, CBO та WMC; методику застосовано до застосунків на Java [4] та вебзастосунків на PHP-фреймворках [5]. React-компоненти здебільшого є функціями, а не класами, тому для вебзастосунків, розроблених із використанням React, метрики потребують адаптації, а параметри моделі – уточнення.

Метою дослідження є підвищення достовірності визначення супроводжуваності вебзастосунків, розроблених із використанням React, за рахунок удосконалення математичної моделі, яка складається з рівняння тривимірного еліпсоїда прогнозування для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC, а також рівнянь для довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійних регресійних моделей для цих метрик.

Основна частина. Аналогом класу вважається модуль React-компонента – файл, що містить JSX-розмітку: як і клас, компонент інкапсулює стан (через хуки), поведінку (функції та обробники подій) та інтерфейс (props). Для модуля CBO визначено як кількість оголошень import, WMC – як суму цикломатичних складностей його функцій, RFC – як кількість функцій разом із кількістю викликів; для застосунку метрики усереднюються за компонентами. Розроблено засіб збору метрик на основі абстрактного синтаксичного дерева та сформовано вибірку з 124 застосунків з відкритим кодом на GitHub (15385 компонентів).

Оскільки за тестом Мардіа дані відхиляються від багатовимірного нормального розподілу, їх нормалізовано тривимірним перетворенням Бокса–Кокса [6] з компонентами

$$Z_j = \begin{cases} \frac{X_j^{\lambda_j}-1}{\lambda_j}, & \text{якщо } \lambda_j \neq 0; \\ \ln X_j, & \text{якщо } \lambda_j = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $j = 1,2,3$; параметри λ_j оцінено методом максимальної правдоподібності [6]. Першою складовою моделі є рівняння тривимірного еліпсоїда прогнозування для нормалізованих метрик [4]:

$$\left(\mathbf{T}-\overline{\mathbf{T}}\right)^T \mathbf{S}_N^{-1}\left(\mathbf{T}-\overline{\mathbf{T}}\right) = \frac{3\left(N^2-1\right)}{N(N-3)} F_{3,N-3;\alpha}, \quad (2)$$

де $\mathbf{T} = (Z_{RFC}, Z_{CBO}, Z_{WMC})^T$; $\overline{\mathbf{T}}$ – вектор середніх; $\mathbf{S}_N$ – вибіркова коваріаційна матриця; $F_{3,N-3;\alpha}$ – квантиль F-розподілу, $\alpha = 0{,}005$. Для N = 124 права частина (2) дорівнює 13,819. Застосунки поза еліпсоїдом є тривимірними викидами, а для нових застосунків це означає, що модель до них не застосовується; викидів не виявлено. Для нормалізованих даних побудовано лінійні регресійні моделі $\hat{Z}_Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2$ для RFC, CBO та WMC, а нелінійні регресійні моделі та їх довірчі інтервали отримано оберненим перетворенням [4]:

$$\psi_Y^{-1}\left(\hat{Z}_Y \pm t_{\alpha/2,\nu} S_{Z_Y}\left\{\frac{1}{N} + (\mathbf{z}_X^+)^T \mathbf{S}_Z^{-1} \mathbf{z}_X^+\right\}^{1/2}\right), \quad (3)$$

де ψ_Y^{-1} – обернене перетворення для залежної змінної; $t_{\alpha/2,\nu}$ – квантиль розподілу Стьюдента, $\nu = N - 3$; $\mathbf{z}_X^+$ – вектор центрованих значень предикторів; $\mathbf{S}_Z$ – матриця сум їх добутків; S_{Z_Y} – стандартна похибка регресійної моделі для нормалізованих даних. Для інтервалу передбачення до суми у фігурних дужках додається 1. Показники якості регресійних моделей наведено в табл. 1, де LOO – перехресна перевірка з виключенням по одному (leave-one-out): кожен застосунок по черзі виключається з вибірки, модель будується на решті, і для нього обчислюється оцінка.

Таблиця 1 – Показники якості нелінійних регресійних моделей

Регресійна модель	**MMRE**	**PRED(0,25)**	**MMRE (LOO)**	**PRED(0,25) (LOO)**
RFC = F(CBO, WMC)	0,118	0,903	0,122	0,895
CBO = F(RFC, WMC)	0,226	0,645	0,233	0,637
WMC = F(RFC, CBO)	0,124	0,879	0,129	0,863

Регресійні моделі для RFC і WMC задовольняють критерії прийнятності MMRE ≤ 0,25 та PRED(0,25) ≥ 0,75, для CBO PRED(0,25) нижчий за пороговий, що узгоджується з [5]. Супроводжуваність застосунку, точка якого лежить усередині еліпсоїда (2), визначається за [4]: середня – якщо значення всіх трьох метрик потрапляють у довірчі інтервали; висока – якщо вони розташовані між верхніми межами довірчих і нижніми межами інтервалів передбачення; інакше – низька. За моделлю висока супроводжуваність у 11 застосунків, середня – у 4, низька – у 109. Переважання низької супроводжуваності зумовлене вузькістю довірчих інтервалів і сильною кореляцією RFC та WMC, тому окремої уваги потребують застосунки, значення метрик яких виходять за межі інтервалів передбачення.

Висновки. Удосконалено математичну модель для визначення супроводжуваності вебзастосунків, розроблених із використанням React, яка складається з рівняння тривимірного еліпсоїда прогнозування для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC, а також рівнянь для довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійних регресійних моделей для зазначених метрик. Удосконалення здійснено за рахунок адаптації метрик до модулів React-компонентів та уточнення оцінок параметрів рівнянь моделі за даними React-застосунків, що дозволяє підвищити достовірність визначення супроводжуваності таких застосунків. Подальші дослідження доцільно спрямувати на підвищення точності регресійної моделі для CBO та розроблення програми для реалізації моделі.

Використання інструментів ШІ. Використовувався Claude Opus 5.5 (Anthropic) для граматичної перевірки та оформлення тексту (усі розділи). Результати перевірені авторами особисто.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] ISO/IEC. (2023). *ISO/IEC 25010:2023 Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Product quality model*. ISO.

[2] Chidamber, S. R., & Kemerer, C. F. (1994). A metrics suite for object oriented design. *IEEE Transactions on Software Engineering, 20*(6), 476–493. https://doi.org/10.1109/32.295895

[3] Li, W., & Henry, S. (1993). Object-oriented metrics that predict maintainability. *Journal of Systems and Software, 23*(2), 111–122. https://doi.org/10.1016/0164-1212(93)90077-B

[4] Prykhodko, S. (2024). Evaluating quality of software systems by the confidence and prediction intervals of regressions for RFC, CBO and WMC metrics. *WSEAS Transactions on Systems, 23*, 322–330. https://doi.org/10.37394/23202.2024.23.36

[5] Приходько, А. С., & Малахов, Є. В. (2025). Удосконалена математична модель оцінювання якості вебдодатків з відкритим кодом. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 11*(42), 30–37. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.30-37

[6] Box, G. E. P., & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 26*(2), 211–252. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x

Mychko M. V., Trukhov A. S.

A mathematical model for determining the maintainability of web applications developed using React

Abstract. *The RFC, CBO and WMC metrics were adapted to React component modules and collected for 124 open source web applications. A mathematical model consisting of the equation of a three-variate prediction ellipsoid for the normalized metrics and the equations of the confidence and prediction intervals of nonlinear regression models for these metrics was improved by refining the estimates of the parameters of the equations, and the maintainability of the applications was determined by it.*

Keywords: *maintainability; React; mathematical model; confidence interval; source code metrics.*