

Макарова Л.М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Латанська Л.О.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Нікітін О.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Нікітіна О.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КРОС-ПЛАТФОРМНОЇ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМИ XAMARIN

У статті розглянута важливість оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin. Також розглянута актуальність застосовування цієї платформи у сфері розробки програмного забезпечення для мобільних пристроїв у час стрімкого розвитку мобільних технологій. Розглянуті останні дослідження та публікації, у яких було знайдено однофакторні та багатфакторні регресійні моделі оцінювання розміру програмного забезпечення для різних мов програмування. Оскільки моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin не було знайдено, було прийнято рішення про удосконалення такої моделі.

У статті розглянуто удосконалення однофакторної нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin за рахунок використання одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона, що дозволило підвищити достовірність оцінювання розміру відповідного програмного забезпечення. Проведено порівняння отриманих результатів із нелінійною регресійною моделлю, яка побудована з використанням нормалізуючого перетворення за допомогою десяткового логарифму, та лінійною регресійною моделлю без нормалізації даних (у припущенні про нормальність розподілу). Удосконалена регресійна модель має гарні показники якості ($R^2 = 0,940$, $MMRE = 0,201$, $PRED(0,25) = 0,727$) і може бути застосована для оцінювання розміру програмного забезпечення, що надалі можна використати в інших математичних моделях для оцінювання вартості та трудовитрат програмного забезпечення у процесі управління проектами.

Також було розроблено програмне забезпечення з використанням нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin, що дозволило автоматизувати відповідні розрахунки та скоротити їх час.

Ключові слова: нелінійна регресійна модель, нормалізація Джонсона, розмір програмного забезпечення, мобільні застосунки, крос-платформна розробка, платформа Xamarin.

Постановка проблеми. Сучасне людство та мобільні технології – це поняття, які нерозривно існують в епоху широкого впровадження комп'ютерних систем у всіх сферах життя. Розробка мобільних застосунків для різних платформ стає дедалі більш актуальною для бізнесу [1] через постійне збільшення кількості користувачів мобільних пристроїв [2], більшу частину часу,

витраченого на використання пристрою, користувачі проводять у мобільних застосунках (порівняно із часом, проведеним у браузерях) [3].

При розробці мобільних застосунків, щоб охопити якомога більше користувачів, важливо, щоб проект підтримував різні мобільні платформи. Для цих цілей зручно використовувати інструменти для крос-платформної розробки, такі як

Xamarin [4]. Також постійно розвивається сама платформа Xamarin і на її основі розробляються компоненти.

Платформа та компоненти Xamarin – це великі та складні проекти, які є ресурсомісткими для розробки, тому важливо правильно оцінити робочу силу, тривалість і вартість цих проектів на початку процесу розробки.

При оцінюванні вартості програмних продуктів зазвичай використовується їх розмір. Наприклад, у таких відомих моделях, як СОСОМО, СОСОМО II, REVIC для цих цілей використовуються такі програмні метрики, як кількість рядків коду.

У свою чергу, можна використовувати метод регресійного аналізу для прогнозування розміру програмних продуктів. Нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків за допомогою платформи Xamarin дозволить із високою впевненістю оцінити кількість рядків коду програмних продуктів, що входять до складу самої платформи або компонентів, розроблених на її основі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінювання розміру програмного забезпечення існують різні методи та моделі, які поділяються на алгоритмічні та неалгоритмічні. До алгоритмічних відносять такі методи, як метод аналогій і метод експертних оцінок. До неалгоритмічних відносять генетичні алгоритми; нейронні мережі; регресійні методи.

Проаналізувавши останні дослідження, ми знайшли нелінійні регресійні моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення, які були побудовані для таких мов програмування, як C++, Java, Php і Visual Basic [5–7]. Також використовуються багатопараметричні моделі [8]. Оскільки моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin не було знайдено, виникає потреба у побудові регресійної моделі на основі даних, зібраних із проектів із відкритим кодом.

Таким чином, побудова нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin є актуальною, оскільки це дозволить із достатньо високою достовірністю оцінювати об'єм відповідного програмного забезпечення.

Постановка завдання. Метою роботи є побудова нелінійної регресійної моделі для оціню-

вання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin.

Виклад основного матеріалу дослідження. Регресійні моделі поділяються на лінійні та нелінійні. Лінійна регресійна модель [9] загалом має такий вигляд:

$$\hat{Y} = B_0 + B_1X + \xi, \quad (1)$$

де ξ – випадкова величина, розподілена за законом Гауса.

Параметри лінійної регресійної моделі оцінюються за методом найменших квадратів [10].

Перевірка якості – це дуже важлива частина у побудові регресійної моделі, оскільки залежно від отриманих результатів можна зробити висновки про достовірність оцінювання розміру програмного забезпечення та про те, чи можна використовувати побудовану модель взагалі.

Для перевірки якості регресійних моделей можна використовувати такі показники:

- R^2 – коефіцієнт детермінації, який показує, наскільки точно регресія апроксимує випадкову величину Y та приймає значення від 0 до 1 [11]. Гарним результатом вважається значення від 0,75 до 1;

- $MMRE$ – середня величина відносної похибки. Гарним результатом вважається значення, менше за 0,25;

- $PRED(0,25)$ – вказує відсоток MRE (Magnitude of Relative Errors), які мають значення " 0,25. Гарним результатом вважаються значення від 0,75 до 1.

Для порівняння регресійних моделей між собою також можна використовувати вищевказані характеристики.

Вихідні дані для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin здебільшого не підпорядковуються нормальному закону розподілу, що унеможлиблює побудову якісної моделі для оцінювання розміру відповідних проектів. Для розв'язання цієї проблеми існують способи удосконалення математичної моделі, такі як нормалізація даних.

Існують декілька способів нормалізації даних. По-перше, це нормалізація за допомогою логарифму. Використовують натуральний або десятиковий логарифм, але ці функції мають деякі обмеження, тож не завжди дані можуть бути нормалізовані цим способом. По-друге, нормалізувати дані можна, використовуючи одновимірне перетворення Джонсона [12], загальний вигляд якого є таким:

$$z = \gamma + \eta q(x, \varphi, \lambda),$$

$$\eta > 0; -\infty < \gamma < +\infty; \lambda > 0; -\infty < \varphi < +\infty, \quad (2)$$

де q – функція перетворення; $\varphi, \gamma, \lambda, \eta$ – параметри перетворення Джонсона.

При цьому пропонується три сім'ї функцій q :

$$1) q(x, \varphi, \lambda) = \ln \left(\frac{x - \varphi}{\lambda} \right), \quad x > \varphi \text{ (сім'я } S_L);$$

$$2) q(x, \varphi, \lambda) = \ln \left(\frac{x - \varphi}{\lambda + \varphi - x} \right), \quad \varphi \leq x \leq \varphi + \lambda \text{ (сім'я } S_B);$$

$$3) q(x, \varphi, \lambda) = \ln \left[\frac{x - \varphi}{\lambda} + \sqrt{\left(\frac{x - \varphi}{\lambda} \right)^2 + 1} \right], \quad -\infty \leq x \leq +\infty \text{ (сім'я } S_U).$$

Для того, щоб обрати відповідну сім'ю Джонсона, використаємо значення ексцесу й асиметрії, а також значення верхньої границі критичної області та лінії S_L , які розраховуються за формулами, наведеними у [13].

Для оцінювання параметрів розподілу Джонсона можна використати метод математичного програмування [14]:

$$\theta = \arg \min_{\theta} \left\{ A_Z^2 + (\varepsilon_Z - 3)^2 + \bar{Z}^2 + (S_Z^2 - 1)^2 \right\}, \quad (3)$$

де θ – вектор параметрів $(\gamma, \eta, \lambda, \varphi)$;

$$A_Z^2 = \frac{1}{nS_Z^3} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^3; \quad \varepsilon_Z = \frac{1}{nS_Z^4} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^4;$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i; \quad S_Z^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2;$$

Z_i – значення нормалізованої випадкової величини.

Також для лінійної регресійної моделі будують довірчий інтервал за формулою:

$$I_{CI} = \hat{y}_j \pm t_{\lambda/2, n-2} * S_y * \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}}; \quad (4)$$

де $S_y = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2}$ – корінь із вибіркової дисперсії; $t_{\lambda/2, n-2}$ – квантіль розподілу Стюдента; n – кількість значень у вибірці.

Аналогічно знаходять інтервал передбачення, використовуючи формулу:

$$I_{PI} = \hat{y} \pm t_{\lambda/2, n-2} * S_y * \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}}; \quad (5)$$

Для даних, нормалізованих за допомогою використання одновимірного перетворення Джонсона, перехід від нормалізованих даних до вихідних здійснюється за допомогою зворотного перетворення Джонсона, а для даних, нормалізованих за допомогою логарифму, такий перехід здійснюється за допомогою обернених до логарифмів функцій.

Також для побудови регресійної моделі дуже важливо, щоб всі дані були однорідними та не містили аномальних значень, тож для пошуку

викидів (аномальних значень) скористаємося квадратом відстані Махаланобіса [15] за формулою:

$$M_D^2 = (X_i - \mu)^T \Sigma^{-1} (X_i - \mu), \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

де Σ^{-1} – зворотна матриця коваріації; $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ – середній вектор вибірки X .

Для побудови нелінійної регресійної моделі були знайдені дані на інтернет-ресурсі GitHub [16], де за допомогою пошукового інтерфейсу сайту були обрані проекти з відкритим вихідним кодом, що є частиною платформи Xamagin, а також проекти, які є компонентами, розробленими на основі цього фреймворку. Було відібрано 36 відносно великих проектів (від 1 000 рядків коду). За допомогою аналізатора коду в інтегрованому середовищі розробки Visual Studio для кожного проекту були розраховані такі метрики: NC (загальна кількість класів) і KLOC (кількість тисяч рядків коду програми). Метрика NC була обрана як незалежна змінна X , метрика KLOC – як залежна змінна Y . Для кожної вибірки розглядалися такі характеристики: кількість значень n ; вибіркоче середнє \hat{m} ; середньоквадратичне відхилення $\hat{\sigma}$; асиметрія \hat{A} ; ексцес $\hat{\varepsilon}$.

Характеристики вихідних даних: $n = 36$;

$$n = 36; \hat{m}_X = 94,694; \hat{\sigma}_X = 12196,047; \hat{A}_X = 1,296;$$

$$\hat{\varepsilon}_X = 4,024; \hat{m}_Y = 8,548; \hat{\sigma}_Y = 124,33; \hat{A}_Y = 1,788; \hat{\varepsilon}_Y = 6,376.$$

Зібрані дані були перевірені на відповідність закону Гауса. Для перевірки був використаний критерій Пірсона (критерій χ^2) [17].

Критичне значення критерію Пірсона дорівнює 5,99, а розраховане значення для X дорівнює 31,496, що є більшим за критичне значення. Також більшим за критичне значення є розраховане значення критерію Пірсона для Y , яке дорівнює 27,432.

Виходячи з гістограм і значень критерію Пірсона, бачимо, що зібрані дані не підпорядковуються закону Гауса.

Наступним кроком був проведений пошук викидів за допомогою квадрату відстані Махаланобіса (6) із критичним значенням $\chi_{0,005,2}^2 = 10,60$. Після пошуку та видалення викидів у наборі даних залишилося 33 пари значень.

Для побудови двох нелінійних регресійних моделей і їх порівняння було використано два види нормалізації даних. Перший – із використанням одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона, а другий – із використанням десятичного логарифму.

Значення ексцесу для даних після видалення викидів ($\hat{\varepsilon}_X = 4,024$; $\hat{\varepsilon}_Y = 6,376$) лежать у межах між значеннями критичної області (2,588 та 4,130 від-

повідно) та функції S_L (5,957 і 9,042 відповідно), що вказує на необхідність вибору сім'ї розподілу S_B Джонсона.

Значення параметрів нормалізуючого перетворення сім'ї розподілу S_B Джонсона були знайдені, вирішуючи задачу математичного програмування (3): $\eta_X = 0,63$; $\gamma_X = 1,43$; $\phi_X = 1,89$; $\lambda_X = 585,03$; $\eta_Y = 0,44$; $\gamma_Y = 1,34$; $\phi_Y = 1,10$; $\lambda_Y = 54,12$.

Характеристики даних, нормалізованих за допомогою нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона:

$$n = 33; \hat{m}_X = 0,00; \hat{\sigma}_X = 1,00; \hat{A}_X = 0,03; \hat{\varepsilon}_X = 3,01;$$

$$\hat{m}_Y = 0,00; \hat{\sigma}_Y = 1,00; \hat{A}_Y = -0,01; \hat{\varepsilon}_Y = 3,03.$$

Порівнявши критичне значення критерію Пірсона (5,99) з розрахованим для вибірки Z_X , яке дорівнює 4,27 і вибірки Z_Y , яке дорівнює 2,42, можна побачити, що розраховані значення є меншими за критичне, тож можемо стверджувати, що ці дані розподілені за законом Гауса.

Характеристики даних, нормалізованих із використанням десяткового логарифму:

$$n = 33; \hat{m}_X = 1,72; \hat{\sigma}_X = 0,29; \hat{A}_X = 0,01; \hat{\varepsilon}_X = 2,49;$$

$$\hat{m}_Y = 0,66; \hat{\sigma}_Y = 0,27; \hat{A}_Y = 0,50; \hat{\varepsilon}_Y = 2,08.$$

Для даних, нормалізованих із використанням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона, та даних, нормалізованих із використанням десяткового логарифму, було побудовано відповідні лінійні регресійні моделі, значення коефіцієнтів рівнянь регресії були знайдені, використовуючи метод найменших квадратів.

Характеристики залишків ξ лінійної регресійної моделі, побудованої з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона: $n = 33$, $\hat{m}_Y = 0,000$, $\hat{\sigma}_Y = 0,067$, $\hat{A}_Y = 0,242$, $\hat{\varepsilon}_Y = 2,518$; розраховане значення критерію Пірсона дорівнює 4,89.

Характеристики залишків ξ лінійної регресійної моделі, побудованої з використанням десяткового логарифму як нормалізуючого перетворення: $n = 33$, $\hat{m}_Y = 0,000$, $\hat{\sigma}_Y = 0,027$, $\hat{A}_Y = -0,512$, $\hat{\varepsilon}_Y = 5,550$; розраховане значення критерію Пірсона дорівнює 2,40.

Порівнявши розраховані значення критерію Пірсона для залишків із критичним значенням, яке дорівнює 5,99, бачимо, що розраховані значення є меншими за критичне. Отже, це свідчить про те, що залишки обох регресійних моделей підпорядковуються закону Гауса.

Для цих регресійних моделей були побудовані довірчий інтервал та інтервал передбачення за формулами (4) і (5) відповідно, з використан-

ням квантілю t -розподілу Стьюдента, рівнем значущості $\alpha/2$ та ступенями вільності $N-2$ ($\alpha=0,05$, $N=31$), який дорівнює 2,04.

Для переходу від лінійної регресійної моделі, побудованої з використанням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона, до нелінійної регресійної моделі, було використано зворотнє перетворення Джонсона сім'ї S_B , яке має вигляд [18]:

$$X = \phi + \lambda \frac{e^k}{1 + e^k}, \quad (7)$$

де $k = \frac{z - \gamma}{\eta}$; z – нормалізоване значення; $(\lambda, \phi, \gamma, \eta)$ – параметри нормалізації.

Нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin, побудована із застосуванням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона, має вигляд:

$$Y = \frac{55,2218e^K + 1,0989}{1 + e^K}, \quad (8)$$

$$\text{де } K = \frac{0,0367 + 0,6061 \cdot \ln\left(\frac{x - 1,89}{586,92 - x}\right) + \varepsilon}{0,44}.$$

Також для порівняння була побудована лінійна регресійна модель без нормалізації даних. Характеристики якості побудованих моделей представлені у табл. 1.

Таблиця 1
Характеристики якості побудованих регресійних моделей

Характеристики	Модель		
	Нелінійна (S_B Джонсона)	Нелінійна (десятковий логарифм)	Лінійна
R^2	0,940	0,853	0,933
$MMRE$	0,201	0,285	0,372
$PRED(0,25)$	0,727	0,606	0,394

Проаналізувавши табл. 1, бачимо, що нелінійна регресійна модель, побудована з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона, має кращі значення характеристик R^2 , $MMRE$ та $PRED(0,25)$, ніж нелінійна регресійна модель, побудована з використанням нормалізуючого перетворення десятковим логарифмом, а також ніж лінійна регресійна модель без нормалізації даних. Тож, виходячи зі сказаного раніше, можемо стверджувати, що побудована нелінійна регресійна модель із використанням нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона є кращою для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних засто-

сунків із використанням платформи Xamarin. Для нелінійних регресійних моделей і лінійної регресійної моделі без нормалізації даних були побудовані довірчий інтервал та інтервал передбачення.

На рис. 1 представлено нелінійне рівняння регресії для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin, побудоване із застосуванням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона, його довірчий інтервал та інтервал передбачення.

На рис. 2 представлено нелінійне рівняння регресії для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin, яке побудовано із застосуванням десяткового логарифму як нормалізуючого перетворення, його довірчий інтервал та інтервал передбачення.

На рис. 3 представлено лінійне рівняння регресії без нормалізації даних, довірчий інтервал та інтервал передбачення.

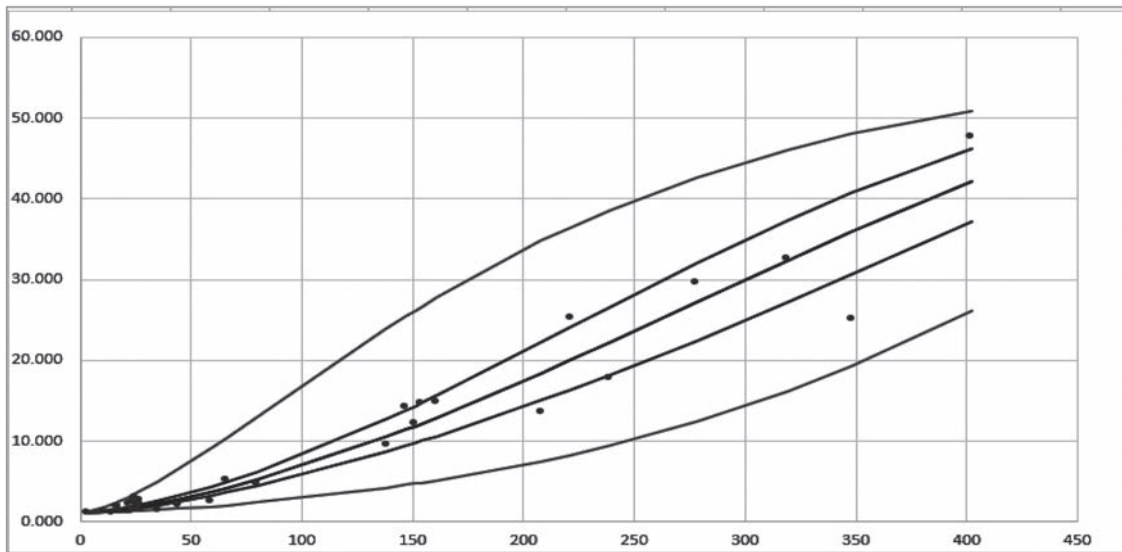


Рис. 1. Нелінійне рівняння регресії, довірчий інтервал та інтервал передбачення, побудовані з використанням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона

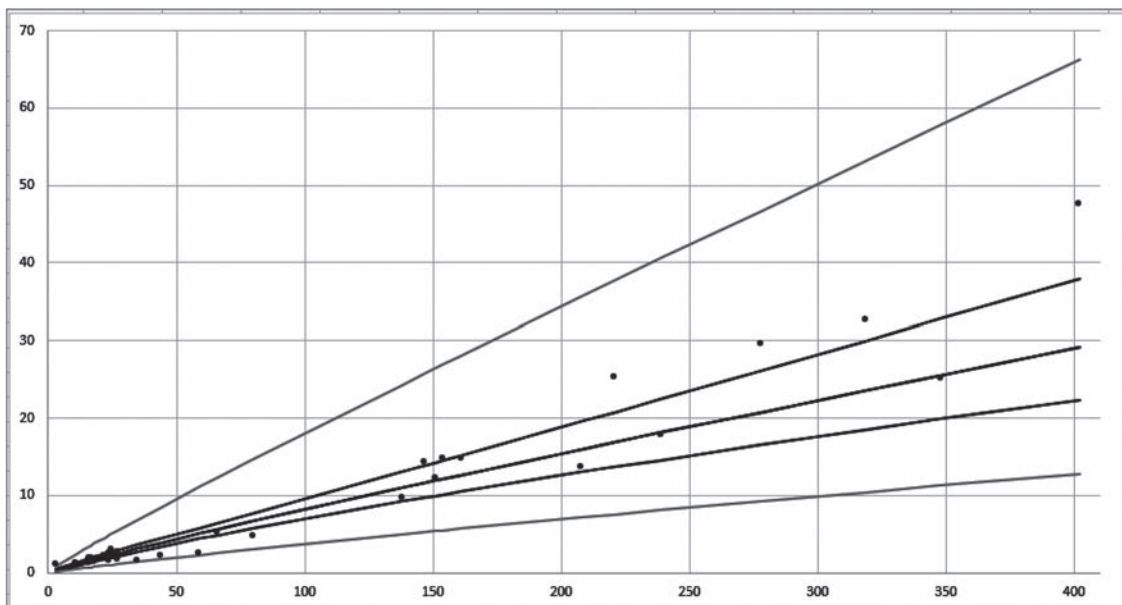


Рис. 2. Нелінійне рівняння регресії, побудоване із застосуванням десяткового логарифму як нормалізуючого перетворення, довірчий інтервал та інтервал передбачення

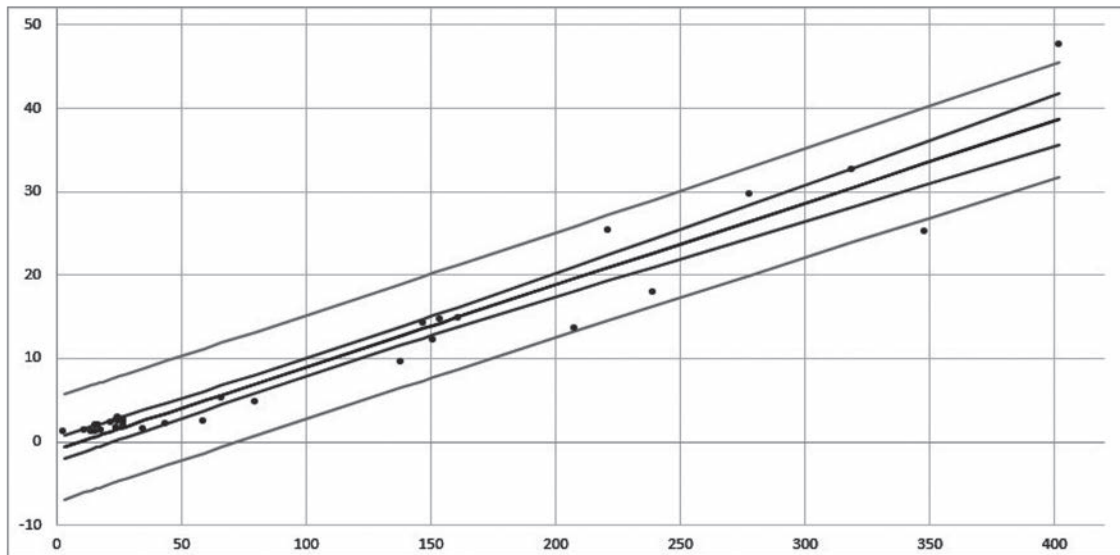


Рис. 3. Лінійне рівняння регресії для вихідних даних, інтервал передбачення та довірчий інтервал

Висновки. Були побудовані такі математичні моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin:

- нелінійна регресійна модель із застосуванням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона, яка має прийнятні значення характеристик якості ($R^2 = 0,940$, $MMRE = 0,201$, $PRED(0,25) = 0,727$);
- нелінійна регресійна модель, побудована із застосуванням десяткового логарифму

як нормалізуючого перетворення ($R^2 = 0,853$, $MMRE = 0,285$, $PRED(0,25) = 0,606$);

- лінійна регресійна модель без нормалізації даних ($R^2 = 0,933$, $MMRE = 0,372$, $PRED(0,25) = 0,394$).

Для прогнозування розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin була обрана нелінійна регресійна модель, побудована з використанням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона.

Список літератури:

1. Worldwide mobile app revenue forecast. URL: <https://www.statista.com/statistics/269025/worldwide-mobile-app-revenue-forecast/> (дата звернення 10.12.2021).
2. Forecast of mobile phone users worldwide. URL: <https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/> (дата звернення 10.12.2021).
3. The majority of americans mobile time spent takes place in apps. URL: <https://www.emarketer.com/content/the-majority-of-americans-mobile-time-spent-takes-place-in-apps> (дата звернення 10.12.2021).
4. Xamarin. URL: <https://dotnet.microsoft.com/apps/xamarin> (дата звернення 10.12.2021).
5. Kaczmarek J., Kucharski M. Size and effort estimation for applications written in Java. *Information and Software Technology*. 2004. № 46 (9). P. 589–601. DOI: 10.1016/j.infsof.2003.11.001
6. Tan H.B.K., Zhao Y., Zhang, H. Estimating LOC for information systems from their conceptual data models. *Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering (ICSE '06)*. (Shanghai, China, May 20–28, 2006).
7. Kiewkanya M., Surak S. Constructing C++ software size estimation model from class diagram. *Computer Science and Software Engineering: 13th International Joint Conference*. (Khon Kaen, Thailand, July 13–15, 2016). DOI: 10.1109/JCSSE.2016.7748880
8. Makarova L.M., Andreeva A.S. Information technology for size estimation of web-applications implemented in Java. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв : НУК, 2018. С. 405.
9. Seltman H.J. *Experimental design and analysis*. 2018.
10. Троян В.Н., Киселев Ю.В. *Анализ и обработка данных*. Петербург, 2010. 580 с.
11. Магнус Я.Р. *Эконометрика. Начальный курс* : учебник. Москва : Дело, 2004. 576 с.

12. Приходько С.Б., Макарова Л.М., Пугаченко К.С. Методичні вказівки та завдання до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Обробка експериментальних даних на комп'ютері». Миколаїв : НУК, 2018. 76 с.
13. Приходько С.Б., Макарова Л.Н., Приходько А.С. Аналитическая зависимость для выбора семейства распределений Джонсона. *Проблеми інформаційних технологій*. 2016. № 2 (020). С. 105–110.
14. Приходько С.Б. Оценка параметров нелинейных стохастических дифференциальных уравнений на основе нормализующих преобразований. *Вісник Харк. нац. ун-ту. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2012. № 1015. С. 276–282.
15. Prykhodko S., Prykhodko N., Makarova L., Pugachenko K. Multivariate outlier detection technique based on normalizing transformations for non-Gaussian data. «*Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання*»: матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції. (м. Івано-Франківськ, 15–20 травня 2017 р.). Івано-Франківськ, 2017. С. 170–174.
16. GitHub. URL: <https://github.com/> (дата звернення: 16.06.2021).
17. Кендалл М., Стюарт А. Статистические методы и связи : учебник / под ред. А.Н. Колмогорова. Москва : Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1973. 899 с.
18. Johnson N.L. System of Frequency Curves Generated by Methods of Translation. *Biometrika*, 1949. P. 149–176.

Makarova L.M., Latanska L.O., Nikitin O.V., Nikitina O.Yu. MATHEMATICAL MODELS FOR SOFTWARE SIZE ESTIMATION FOR CROSS-PLATFORM DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATIONS USING XAMARIN PLATFORM

The article discusses the importance of software size estimation for cross-platform development of mobile applications using Xamarin platform. The relevance of using this platform in the field of software development for mobile devices in our time of the rapid development of mobile technologies is also considered. Recent studies and publications in which univariate and multivariate regression models for software size estimation for different programming languages have been found. And since a model for software size estimation for cross-platform development of mobile applications using Xamarin platform has not been found, it was decided to improve the model.

The article discusses the improvement of the univariate nonlinear regression models for software size estimation for cross-platform development of mobile applications using Xamarin platform using univariate Johnson transformation for S_B family, which made it possible to increase the reliability of the size estimation of the relevant software. The obtained results were compared with a non-linear regression model constructed using a normalizing transformation using the decimal logarithm and a linear regression model without data normalization (assuming the normality of the distribution). The improved regression model has superior quality indicators ($R^2 = 0,940$, $MMRE = 0,201$, $PRED(0,25) = 0,727$) and can be used to software size estimation, the result of which can be used in other mathematical models to estimate the cost and labor costs of software in the project management process.

The software, constructing a non-linear regression model for software size estimation for cross-platform development of mobile applications using Xamarin platform, has also been developed, which allowed to automate the relevant calculations and reduce their time.

Key words: *nonlinear regression model, Johnson normalization, software size, mobile applications, cross-platform development, Xamarin platform.*