

ISSN 2413-6549 (Print)
ISSN 2518-1785 (Online)

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет

Заснований
у 1997 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 24766-14706Р від 25 березня 2021 р.

Computer Science and Applied Mathematics

Адреса редакції:

вул. Жуковського 66, корп. 1, ауд. 216,
м. Запоріжжя, Україна, 69060

Телефон

для довідок:
+38 066 53 57 687

№ 1, 2022



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

Computer Science and Applied Mathematics. Запоріжжя: Видавничий дім «Гельветика», 2022. № 1. 102 с.

Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet вченою радою ЗНУ (протокол засідання № 2 від 27.09.2022 р.)

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 886 від 02.07.2020 р. (додаток 4) журнал включено до Переліку наукових фахових видань України категорії «Б» у галузі фізико-математичних наук (113 – Прикладна математика, 121 – Інженерія програмного забезпечення, 122 – Комп'ютерні науки та інформаційні технології).

До 25 березня 2021 р. журнал виходив під назвою «Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки».

У зв'язку зі зміною назви журналу було внесено відповідні зміни до Переліку наукових фахових видань України на підставі Наказу Міністерства освіти та науки України № 735 від 29.06.2021 р. (додаток 3).

Журнал індексується в міжнародній наукометричній базі даних Index Copernicus

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

РЕДАКЦІЙНА РАДА:

Головний редактор – Гоменюк С. І., доктор технічних наук, професор

Відповідальні

редактори:

– Стеганцев Є. В., кандидат фізико-математичних наук, доцент

– Швидка С. П., кандидат фізико-математичних наук, доцент

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

- | | |
|-----------------|--|
| Гребенюк С. М. | – доктор технічних наук, доцент (Україна) |
| Гришак В. З. | – доктор технічних наук, професор (Україна) |
| Єрмолаєв В. А. | – кандидат фізико-математичних наук, доцент (Україна) |
| Кеберле Н. Г. | – кандидат технічних наук, доцент (Україна) |
| Клименко М. І. | – кандидат фізико-математичних наук, доцент (Україна) |
| Козін І. В. | – доктор фізико-математичних наук, професор (Україна) |
| Кудін О. В. | – кандидат фізико-математичних наук (Україна) |
| Панасенко Є. В. | – кандидат фізико-математичних наук, доцент (Україна) |
| Чопоров С. В. | – доктор технічних наук, доцент (Україна) |
| Шило Г. М. | – доктор технічних наук, доцент (Україна) |
| Breslavsky I. | – PhD in Mechanics, Docent (Канада) |
| Djkon R. | – Dr.sc.ing., Professor, Academician (Латвія) |
| Gerasimov T. | – PhD in Mathematics, Docent (Німеччина) |
| Kolakowski Z. | – Doctor of Science in Engineering, Professor (Польща) |

ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

Makarov V. A., Kazakova A. V. <i>ESTIMATION OF MAXIMUM LIKELIHOOD IN THE CONDITIONS OF INSPECTIONS OF THE CURRENT STATE</i>	5
Гребенюк С. М., Морозова І. Ю. <i>ПОВЗДОВЖНИЙ ЕФЕКТИВНИЙ МОДУЛЬ ПРУЖНОСТІ ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ В УМОВАХ НЕЛІНІЙНОГО ДЕФОРМУВАННЯ</i>	14
Дзундза Н. С., Зіновєєв І. В. <i>ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОРТОТРОПНОЇ ПІВПЛОЩИНИ В УМОВАХ ПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ</i>	23
Діхтярук М. М., Кравчук О. А. <i>ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЇ СМУГИ ЗА ПІДСИЛЕННЯ СКІНЧЕННИМ ПРУЖНИМ СТРИНГЕРОМ</i>	31
Діхтярук М. М., Ярецька Н. О., Кравчук О. А. <i>ПЕРІОДИЧНЕ ПІДСИЛЕННЯ ДВОХ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ СМУГ СКІНЧЕННИМИ ПІДКРІПЛЮЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ</i>	39
Мороз І. П. <i>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК P-I-N-СТРУКТУР, ЩО ВЗАЄМОДІЮТЬ З ВИСОКОЧАСТОТНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ, МЕТОДАМИ ТЕОРІЇ ЗБУРЕНЬ</i>	48
Онишкевич В. М., Барабаш Г. М. <i>«ТРЕТЄ ТІЛО» ЯК МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОНТАКТНОЇ ТЕРМОПРУЖНОСТІ</i>	59

РОЗДІЛ II. ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Латанська Л. О., Макарова Л. М., Нікітіна О. Ю., Нікітін О. В. <i>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВІДКРИТИМ КОДОМ НА C#</i>	66
Москалик Д. О., Антонюк Д. С., Вакалюк Т. А., Огінський Є. В., Ковалевський В. В. <i>ОГЛЯД ЗАСТОСУВАНЬ ТЕОРІЇ ГРАФІВ У РОЗРОБЦІ ТА ОБСЛУГОВУВАННІ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ</i>	75
Онуфрієнко Д. М., Тараненко Ю. К. <i>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АДАПТИВНОГО ШУМУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДИСКРЕТНОЇ БЕЗПОРОГОВОЇ ВЕЙВЛЕТ-ФІЛЬТРАЦІЇ МОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ</i>	83

РОЗДІЛ III. КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

Bondarenko V. E., Karanfilov M. S. <i>DECISION-MAKING BY THE GROUP OF EXPERTS REGARDING THE EVALUATION OF PARTICIPANTS OF STATE TENDERS</i>	92
---	----

CONTENTS

SECTION I. APPLIED MATHEMATICS

Makarov V. A., Kazakova A. V. <i>ESTIMATION OF MAXIMUM LIKELIHOOD IN THE CONDITIONS OF INSPECTIONS OF THE CURRENT STATE</i>	5
Grebenyuk S. M., Morozova I. Y. <i>LONGITUDINAL EFFICIENT MODULE OF ELASTICITY OF FIBER COMPOSITE MATERIAL UNDER NONLINEAR DEFORMATION CONDITIONS</i>	14
Dzundza N. S., Zinovieiev I. V. <i>RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE ORTHOTROPIC HALF-PLANE UNDER THE PLANAR DEFORMATION CONDITIONS</i>	23
Dikhtyaruk N. N., Kravchuk O. A. <i>INVESTIGATION OF CONTACT INTERACTION WITH STRIPE WITH INITIAL STRESSES IF SHE REINFORCED BY THE ELASTIC THIN FINITE STRINGER</i>	31
Dikhtyaruk N. N., Yarets'ka N. O., Kravchuk O. A. <i>PERIODIC REINFORCEMENT OF TWO PRE-STRESSED STRIPS BY FINISHED SUPPORTING ELEMENTS</i>	39
Moroz I. P. <i>SIMULATION OF THE P-I-N-STRUCTURES CHARACTERISTICS INTERACTING WITH HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION BY PERTURBATION THEORY METHODS</i>	48
Onyshkevych V. M., Barabash G. M. <i>"THIRD BODY" AS A MATHEMATICAL MODEL OF CONTACT THERMOELASTICITY</i>	59

SECTION II. SOFTWARE ENGINEERING

Latanska L. O., Makarova L. M., Nikitina O. Y., Nikitin O. V. <i>MATHEMATICAL MODELING IN PROBLEMS OF ESTIMATING THE SIZE OF APPLICABLE OPEN-SOURCE SOFTWARE IN C #</i>	66
Moskalyk D. O., Antoniuk D. S., Vakaliuk T. A., Ohinskyi Ye. V., Kovalevskyi V. V. <i>AN OVERVIEW OF USING GRAPH THEORY IN SOFTWARE SYSTEM DEVELOPMENT AND MAINTENANCE</i>	75
Onufrienko D. M., Taranenko Yu. K. <i>INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF ADAPTIVE NOISE ON THE EFFICIENCY OF DISCRETE THRESHOLDFUL WAVELET FILTRATION OF MODULATED SIGNALS</i>	83

SECTION III. COMPUTER SCIENCES

Bondarenko V. E., Karanfilov M. S. <i>DECISION-MAKING BY THE GROUP OF EXPERTS REGARDING THE EVALUATION OF PARTICIPANTS OF STATE TENDERS</i>	92
---	----

РОЗДІЛ II. ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

УДК 004.942:519.25

DOI <https://doi.org/10.26661/2413-6549-2022-1-08>

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВІДКРИТИМ КОДОМ НА C#

Латанська Л. О.

*кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, Миколаїв, Україна
orcid.org/0000-0001-6473-7624
llatanskaya@gmail.com*

Макарова Л. М.

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, Миколаїв, Україна, 54007
orcid.org/0000-0003-2903-3001
lidia.makarova@nuos.edu.ua*

Нікітіна О. Ю.

*студент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, Миколаїв, Україна, 54007
orcid.org/0000-0003-3241-0816
olena.yuryevna.nikitina@gmail.com*

Нікітін О. В.

*студент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, Миколаїв, Україна, 54007
orcid.org/0000-0002-4035-8213
alex.nikitin.gm@gmail.com*

Ключові слова: регресійне
рівняння, нелінійна регресія,
нормалізуюче перетворення
Джонсона, довірчий інтервал,
інтервал передбачення, мова
програмування.

Оцінювання розміру програмного забезпечення, зокрема прикладного з відкритим кодом на C#, на сьогодні є дуже важливою частиною в процесі розробки подібних проєктів. Знаючи розмір прикладного програмного забезпечення на ранніх етапах розробки та використовуючи такі моделі, як СОСОМО, СОСОМО II, або методи та моделі алгоритмічного моделювання чи інші, які виконують розрахунки на основі кількісних значень розміру прикладного програмного забезпечення, можна розрахувати трудовитрати та вартість проєкту та передбачити ризики, пов'язані з розробкою.

У цій роботі виконано аналіз наявних регресійних рівнянь для оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення з використанням різних мов програмування, який показав необхідність побудови нелінійного регресійного рівняння для оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим кодом на C# із застосуванням універсального одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї SB Джонсона, що дало можливість побудувати нелінійне регресійне рівняння досить високої якості ($R^2 = 0,974$, $MMRE = 0,198$, $PRED(0,25) = 0,778$), та яке має кращі показники порівняно з лінійним регресійним рівнянням без застосування нормалізуючих перетворень для емпіричних даних ($R^2 = 0,887$, $MMRE = 1,028$, $PRED(0,25) = 0,361$), а також порівняно з нелінійним регресійним рівнянням з використанням натурального логарифму як нормалізуючого перетворення ($R^2 = 0,819$, $MMRE = 0,222$, $PRED(0,25) = 0,694$). Крім цього, використання універсального одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї SB дало змогу побудувати більш вузькі довірчий інтервал та інтервал передбачення для нелінійного регресійного рівняння порівняно з інтервалами, які були побудовані з використанням натурального логарифму як нормалізуючого перетворення.

У результаті розроблено програмний додаток для оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим кодом на C# з використанням нелінійного регресійного рівняння на основі універсального одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї SB Джонсона, який автоматизує процес розрахунку та спрощує застосування побудованого нелінійного регресійного рівняння, що дало змогу значно скоротити час проведення відповідних розрахунків та зменшити кількість розрахункових помилок.

MATHEMATICAL MODELING IN PROBLEMS OF ESTIMATING THE SIZE OF APPLICABLE OPEN-SOURCE SOFTWARE IN C#

Latanska L. O.

*Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automated Systems Software
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Heroiv Stalinhradu Ave., 9, Mykolaiv, Ukraine
orcid.org/0000-0001-6473-7624
llatanskaya@gmail.com*

Makarova L. M.

*Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automated Systems Software
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Heroiv Stalinhradu Ave., 9, Mykolaiv, Ukraine
orcid.org/0000-0003-2903-3001
lidiia.makarova@nuos.edu.ua*

Nikitina O. Y.

*Student
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Heroiv Stalinhradu Ave., 9, Mykolaiv, Ukraine
orcid.org/0000-0003-3241-0816
olena.yuryevna.nikitina@gmail.com*

Nikitin O. V.

Student

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Heroiv Stalinhradu Ave., 9, Mykolaiv, Ukraine

orcid.org/0000-0002-4035-8213

alex.nikitin.gm@gmail.com

Key words: *regression equation, non-linear regression, Johnson normalizing transformation, prediction interval, confident interval, programming language.*

Estimating the size of software, including open-source applications in C#, is currently an especially important part of the development of such projects. Knowing the size of application software in the initial stages of development and using models such as COCOMO, COCOMO II or methods and models of algorithmic modeling and others that perform calculations based on quantitative values of application software it can be calculated labor costs and project cost and anticipate risks related to development.

In this paper it was analyzed existing regression equations for estimating the software size of different programming languages which in turn indicated the need to construct a nonlinear regression equation for open-source application software in C# using the universal one-dimensional Johnson normalizing transformation for the SB family, which allowed to construct a nonlinear regression equation of high quality ($R^2 = 0.974$, $MMRE = 0.198$, $PRED(0.25) = 0.778$), and which has better performance compared to the linear regression equation without using of normalizing transformations for empirical data ($R^2 = 0.887$, $MMRE = 1.028$, $PRED(0.25) = 0.361$), as well as in compared with the nonlinear regression equation using the natural logarithm as a normalizing transformation ($R^2 = 0.819$, $MMRE = 0.222$, $PRED(0.25) = 0.694$). In addition, the use of the universal one-dimensional normalizing Johnson transformation of the SB family made it possible to construct a narrower confidence interval and prediction interval for the nonlinear regression equation compared to the intervals that were constructed using the natural logarithm as a normalizing transformation.

As a result, a software application was developed for estimating the size of open source application software in C#, using a nonlinear regression equation based on the universal one-dimensional Johnson normalizing transformation for the SB family, which automates the calculation process and simplifies the using constructed nonlinear regression equations that reduced the time of relevant calculations and reduced the number of calculation errors.

Вступ. Сучасний світ усе більше впроваджує інформаційні технології в різні сфери діяльності людини. Розширення сфери застосування персональних комп'ютерів підвищує потребу в розробці прикладного програмного забезпечення.

Відомо, що майже 90% операційних систем персональних комп'ютерів становить ОС Windows [1]. Тому використання об'єктно-орієнтованої мови програмування C# [2], розробленої компанією Microsoft спеціально під ОС Windows, є сучасним підходом для реалізації прикладних проєктів.

Виконуючи розробку програмних продуктів, необхідно на ранніх стадіях проєктів адекватно оцінювати трудомісткість їх реалізації. Одним із основних факторів, що визначають трудомісткість розробки програмного забезпечення, є його розмір. Відомо, що розмір програми значною мірою залежить від особливостей мови програмування, платформи розробки та інших факторів.

Тому наявні методи та моделі для прогнозування розміру майбутнього програмного продукту, що призначені для вузького класу задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення тісно пов'язане з моделями оцінювання вартості програмного продукту та трудовитрат на його розробку. Наявні різні методи та моделі оцінювання розміру ПЗ, основні з яких назвав Б. Боем [3].

Ці методи та моделі поділяються на алгоритмічні та неалгоритмічні. До неалгоритмічних належать такі як:

- метод експертних оцінок, що оснований на опитуванні технічних експертів, які своєю чергою дають оцінку розміру проєкту;

- метод аналогій, який базується на порівнянні запланованого проєкту з попередніми проєктами з подібними характеристиками.

До алгоритмічних відносять:

- нейронні мережі, які базуються на навчанні з використанням штучного інтелекту;
- генетичні алгоритми, які базуються на використанні оператора схрещування, використовують механізми природного відбору та спадкоємства. Генетичні алгоритми можуть використовуватися самостійно або спільно з нейронними мережами як комбіновані методи;
- регресійні методи, які використовують лінійну та нелінійну, однофакторну та багатофакторну регресію.

Побудова регресійних рівнянь для оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення – це багатоетапний процес, який може містити таке: пошук проєктів; збір метричних значень для кожного проєкту; аналіз зібраних даних; пошук та видалення аномальних значень (викидів); перевірку даних на нормальність розподілу; вибір нормалізуючого перетворення; нормалізацію даних; оцінку коефіцієнтів регресійного рівняння; побудову довірчого інтервалу; побудову інтервалу передбачення; зворотне перетворення розрахованих даних; розрахунки характеристик моделі; порівняння моделей та вибір найкращої.

Оскільки наявні методи та моделі, які здійснюють розрахунки на основі кількісного показника розміру програмного забезпечення, а прикладне програмне забезпечення розробляється з використанням різноманітних мов програмування, стиль та синтаксис яких дуже різняться, виникає потреба в розробці моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для кожної мови окремо. Саме тому спочатку було проведено пошук наявних регресійних рівнянь оцінювання розміру ПЗ для різних мов програмування.

Було знайдено такі регресійні рівняння: для оцінювання розміру вебдодатків на Java [4]; для оцінювання розміру ПЗ інформаційних VB-систем [5]; для оцінювання розміру програмного забезпечення на Java [6; 7]; для оцінювання розміру Web-застосунків, що створюються з використанням фреймворку Laravel [8]; для оцінювання розміру PHP-застосунків [9]; для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin [10].

Постановка завдання. Оскільки відомо, що розмір ПЗ залежить від мови розробки, а регресійного рівняння для прикладного програмного забезпечення на C# не було знайдено, тож виникає потреба в побудові регресійного рівняння для оцінювання розміру такого програмного забезпечення.

Метою роботи є побудова нелінійного регресійного рівняння для оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим

кодом на C# шляхом застосування нормалізуючого перетворення Джонсона, що дозволить отримати більш достовірний результат.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для побудови нелінійного регресійного рівняння оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим кодом на C# було вибрано 37 проєктів на відкритому ресурсі GitHub [11]. Як залежну змінну вибрано кількість тисяч строк коду (вибірка Y), а як незалежну змінну – кількість класів (вибірка X).

Для перевірки отриманих даних на нормальність розподілу використали критерій Пірсона [12], а також розраховали основні характеристики вибірки.

Основні характеристики емпіричних даних: $n = 37$; $\hat{m}_X = 48,43$; $\hat{\sigma}_X = 47,40$; $\hat{A}_X = 1,19$; $\hat{\varepsilon}_X = 4,02$; $\hat{m}_Y = 4,16$; $\hat{\sigma}_Y = 5,42$; $\hat{A}_Y = 2,48$; $\hat{\varepsilon}_Y = 10,15$; де n – кількість значень; $\hat{m}_X$ та $\hat{m}_Y$ – вибіркове середнє вибірок X та Y відповідно; $\hat{\sigma}_X$ та $\hat{\sigma}_Y$ – середньоквадратичне відхилення вибірок X та Y відповідно; $\hat{A}_X$ та $\hat{A}_Y$ – асиметрія вибірок X та Y відповідно; $\hat{\varepsilon}_X$ та $\hat{\varepsilon}_Y$ – ексцес вибірок X та Y відповідно.

За оцінками асиметрії та ексцесу для обох вибірок було вибрано сім'ю розподілу S_B Джонсона [13], яка має такий вигляд:

$$Z_X = \gamma + \upsilon \ln \left(\frac{X - \theta}{\lambda + \theta - X} \right),$$

$$\theta < X < \theta + \lambda; \upsilon > 0; -\infty < \gamma < +\infty; -\infty < \theta < +\infty; \lambda > 0, \quad (1)$$

де $\gamma, \upsilon, \theta, \lambda$ – параметри перетворення Джонсона.

Оцінювання параметрів сім'ї S_B Джонсона виконано методом математичного програмування [14].

Оскільки для побудови регресійного рівняння дуже важливо, щоб усі дані були однорідними та не містили аномальних значень (викидів), для пошуку викидів скористались квадратом відстані Махаланобіса [15] за такою формулою:

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

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

У результаті розрахунків було виявлено та видалено один викид. Далі для вибірки без викидів знову оцінюємо параметри сім'ї S_B Джонсона, використовуючи метод математичного програмування [14].

Значення параметрів нормалізуючого перетворення Джонсона сім'ї S_B :

$$\upsilon_X = 0,560; \gamma_X = 1,010; \theta_X = 0,480; \lambda_X = 202,650;$$

$$\upsilon_Y = 0,670; \gamma_Y = 1,890; \theta_Y = 0,007; \lambda_Y = 38,073.$$

Характеристики нормалізованої вибірки: $n=36$;
 $\hat{m}_X = -0,001$; $\hat{\sigma}_X = 1,003$; $\hat{A}_X = 0,021$; $\hat{\varepsilon}_X = 3,014$;
 $\hat{m}_Y = 0,005$; $\hat{\sigma}_Y = 1,001$; $\hat{A}_Y = 0,089$; $\hat{\varepsilon}_Y = 3,105$.

За розрахунками, для вибірки Z_X значення χ^2 спостереження дорівнює 1,18, а для вибірки Z_Y значення χ^2 спостереження дорівнює 1,32, тож обидва значення є меншими за $\chi_{0,5,2}^2$ критичне, яке дорівнює 5,99. Виходячи з отриманих значень, можемо стверджувати, що обидві вибірки підпорядковуються нормальному закону розподілу, тож приступимо до побудови регресійного рівняння, яке у загальному вигляді має вигляд:

$$\hat{Y} = f(X), \quad (3)$$

де $\hat{Y}$ – залежна змінна (кількість строк коду); $f(X)$ – функція регресійного рівняння (нелінійна або лінійна); X – незалежна змінна (кількість класів).

Вище було доведено, що дані підпорядковуються нормальному закону розподілу, тому можемо будувати лінійне регресійне рівняння, яке має такий вигляд:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X, \quad (4)$$

де: X – незалежна змінна; $\hat{Y}$ – залежна змінна; b_0 та b_1 – коефіцієнти рівняння, які знаходять за методом найменших квадратів [16].

Для лінійного регресійного рівняння знайдено довірчий інтервал, який розрахований за такою формулою:

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

$$\text{де } S_y = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{j=1}^m (y_j - \hat{y}_j)^2}; \quad t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} - \text{квантіль}$$

розподілу Стюдента [17].

Аналогічно отримано інтервал передбачення за такою формулою:

$$I_{PI} = \hat{y} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} * S_y * \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x})^2}}, \quad (6)$$

Для переходу від лінійного регресійного рівняння для нормалізованих даних до нелінійного регресійного рівняння використано зворотне перетворення сім'ї S_B Джонсона, яке має такий вигляд:

$$X = \theta + \lambda \frac{e^k}{1 + e^k},$$

$$v > 0; -\infty < \gamma < +\infty; -\infty < \theta < +\infty; \lambda > 0, \quad (7)$$

$$\text{де } k = \frac{Z_X - \gamma}{v}.$$

Як результат отримано нелінійне регресійне рівняння для оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим кодом на C#, яке має такий вигляд:

$$\hat{Y} = \frac{38,08e^k + 0,0072}{1 + e^k}, \quad (8)$$

$$\text{де } k = \frac{0,555 \ln \left(\frac{X - 0,48}{203,13 - X} \right) - 0,884}{0,67}.$$

Також для порівняння побудовано лінійне регресійне рівняння без нормалізації даних, яке має вигляд:

$$\hat{Y} = 0,1078X - 0,9167; \quad (9)$$

та нелінійне регресійне рівняння з використанням як нормалізуючого перетворення натурального логарифму, яке має такий вигляд:

$$\hat{Y} = e^{-2,4992} * X^{0,9936}. \quad (10)$$

Для нелінійних регресійних рівнянь та лінійного регресійного рівняння (без нормалізації вихідних даних) побудовані довірчі інтервали та інтервали передбачення.

На рис. 1 представлено емпіричні дані, нелінійне регресійне рівняння, яке отримане з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона, з його довірчим інтервалом та інтервалом передбачення.

Як видно з рис. 1, всі значення вихідних даних лежать у межах інтервалу передбачення, що вказує на те, що перевірка даних, пошук та видалення викидів дали гарний результат та дані, що залишились, не містять аномальних значень.

На рис. 2 представлено емпіричні дані, нелінійне регресійне рівняння, яке отримане з використанням натурального логарифму як нормалізуючого перетворення, його довірчий інтервал та інтервал передбачення.

Як видно з рис. 2, всі емпіричні дані знаходяться у середині інтервалу прогнозування.

На рис. 3 представлено емпіричні дані, лінійне регресійне рівняння без нормалізації вихідних даних, його довірчий інтервал та інтервал передбачення.

Як видно з рис. 3, нижні границі інтервалу передбачення та довірчого інтервалу містять від'ємні значення, що унеможливило використання такого регресійного рівняння для оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим кодом на C#. До того ж видно, що емпіричні дані мають аномальне значення (викид).

Дискусія. Характеристики якості побудованих регресійних рівнянь представлені в табл. 1.

Виконавши аналіз табл. 1, бачимо, що найкращі характеристики має нелінійне регресійне рівняння з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона порівняно з неліній-

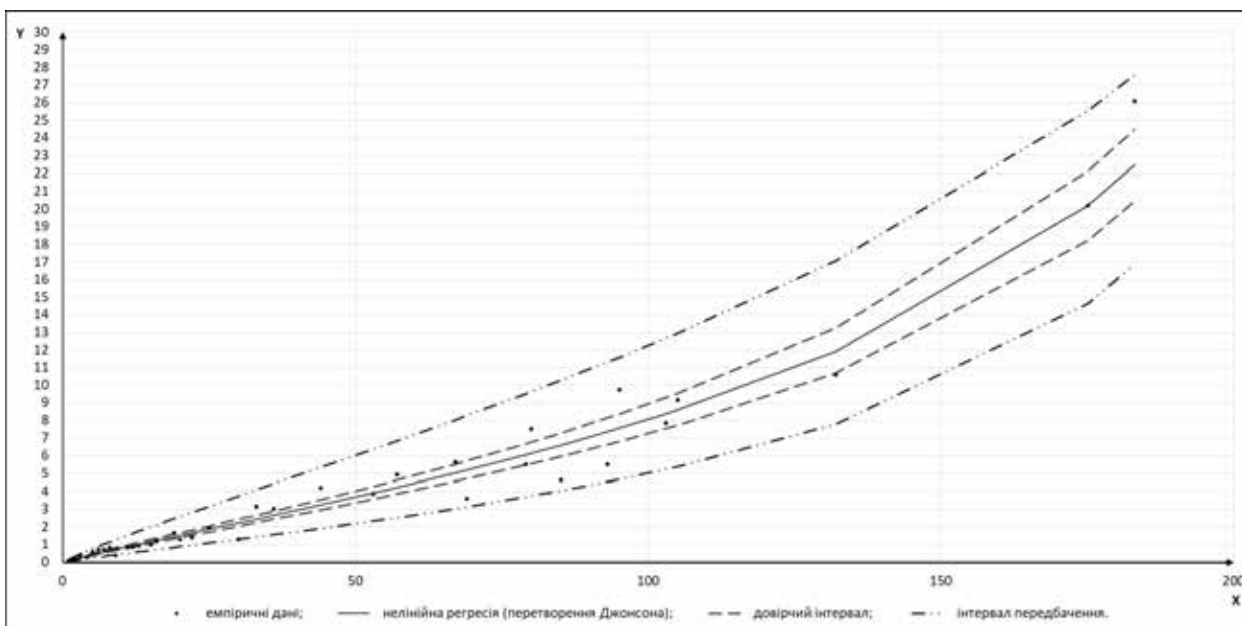


Рис. 1. Емпіричні дані, нелінійне регресійне рівняння, яке отримане з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона, його довірчий інтервал та інтервал передбачення

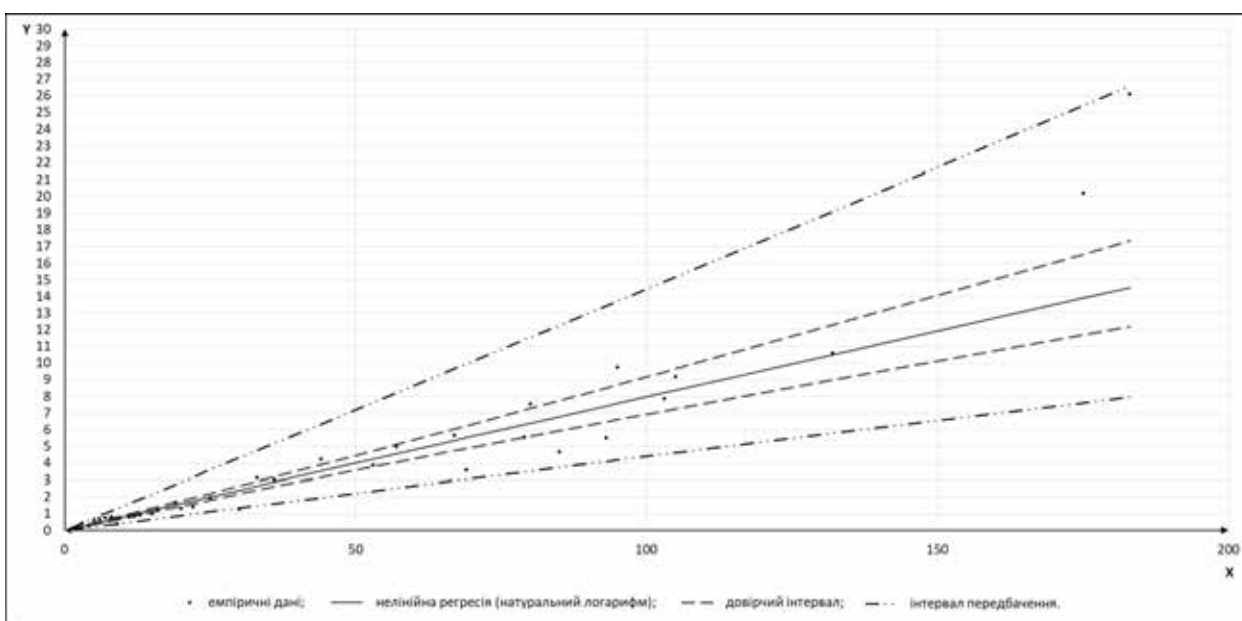


Рис. 2. Емпіричні дані, нелінійне регресійне рівняння, яке отримане з використанням натурального логарифму як нормалізуючого перетворення, його довірчий інтервал та інтервал передбачення

ним регресійним рівнянням з використанням натурального логарифму як нормалізуючого перетворення та лінійним регресійним рівнянням (побудованим без нормалізації вихідних даних).

Також у роботі виконано порівняння отриманих регресійних рівнянь з нелінійним регресійним рівнянням, яке побудоване на основі нормалі-

зуючого перетворення Джонсона для оцінювання розміру вебдодатків на Java із [4]. У разі застосування вказаного регресійного рівняння для оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим кодом на C# отримано такі характеристики якості: $R^2 = 0,663$, $MMRE = 0,407$, $PRED(0,25) = 0,514$, які не є прийнятними.

Таким чином, якість прогнозів щодо оцінювання розміру програмного забезпечення з допомогою регресійного рівняння залежить від мови програмування та типу програмних додатків, на основі яких рівняння розроблялося та випробувалося, а також від виду нормалізуючого перетворення. Це підтверджує вузьконаправленість наявних регресійних рівнянь у разі прогнозування розміру програмного забезпечення, тобто не існує універсального регресійного рівняння, яке в усіх випадках забезпечить прийнятні показники якості.

Висновки. Для оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим кодом на C# побудували нелінійні регресійні рівняння з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона та нормалізуючого перетворення на основі натурального логарифму, а також лінійне регресійне рівняння без нормалізації емпіричних даних. Для кожного з отриманих рівнянь регресії були побудовані довірчий інтервал та інтервал передбачення, які є вузькими для нелінійного регресійного рівняння, отриманого з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона.

З побудованих рівнянь було вибрано рівняння з кращими значеннями характеристик якості – нелінійне регресійне рівняння з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона, яке має прийнятні значення характеристик ($R^2 = 0,974$, $MMRE = 0,198$, $PRED(0,25) = 0,778$).

Вибране нелінійне регресійне рівняння можна використовувати для прогнозування розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим кодом на C# та отримані результати використовувати в подальших розрахунках трудомісткості та вартості проекту.

У майбутньому планується розробка нелінійного регресійного рівняння для прогнозування розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим кодом на C# з використанням багатовимірної нормалізації та побудова багатофакторних моделей, що дозволить підвищити якість прогнозування.

Також було розроблено програмне забезпечення для автоматизації оцінювання розміру прикладного програмного забезпечення з відкритим кодом на C#, яке реалізує нелінійне регресійне рівняння з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї S_B Джонсона.

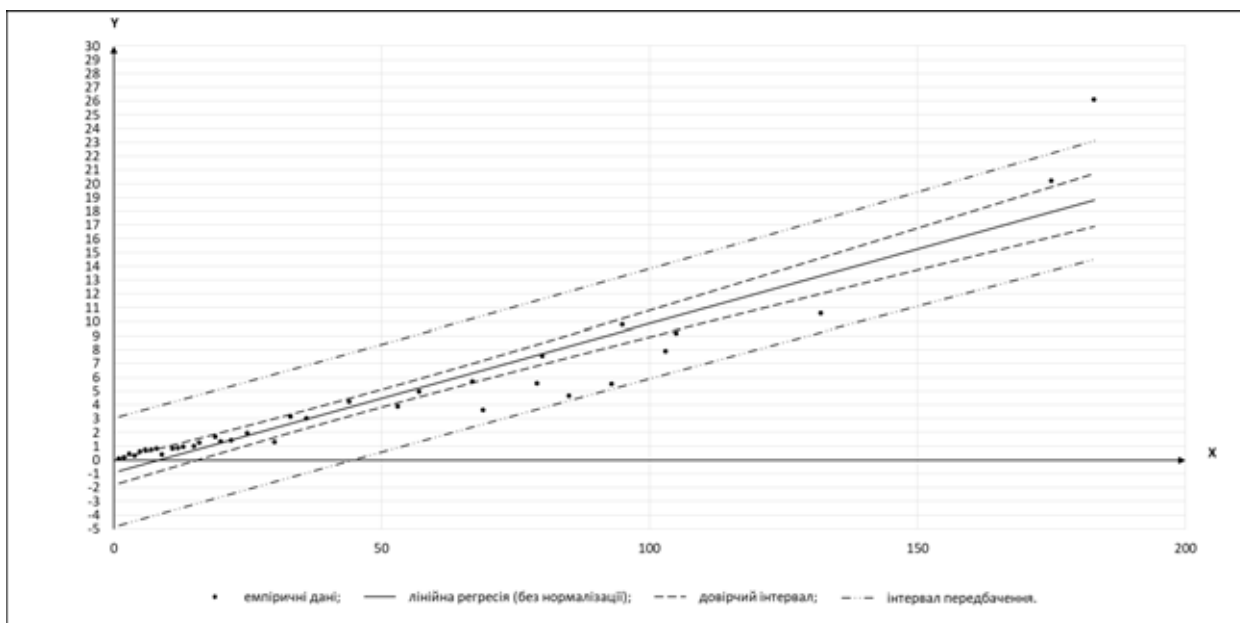


Рис. 3. Емпіричні дані, лінійне регресійне рівняння без нормалізації вихідних даних, його довірчий інтервал та інтервал передбачення

Таблиця 1

Характеристики якості регресійних рівнянь

Характеристики (найменування)	Вид рівняння		
	Нелінійне (Джонсон)	Нелінійне (натуральний логарифм)	Лінійне (без нормалізації)
R^2	0,974	0,819	0,887
MMRE	0,198	0,222	1,028
PRED (0,25)	0,778	0,694	0,361

ЛІТЕРАТУРА

1. OS Windows. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/windows> (дата звернення: 10.01.2022).
2. C#. URL: <https://dotnet.microsoft.com/languages/csharp> (дата звернення: 01.02.2022).
3. Boehm B.W. Software Engineering Economics. New Jersey : Prentice-Hall, 1981. 767 p.
4. Макарова Л.М., Приходько Н.В., Кудін О.О. Побудова нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру вебдодатків, реалізованих мовою Java. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон, 2019. № 2(69). С. 145–153.
5. Приходько Н.В., Приходько С.Б. Нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру програмного забезпечення інформаційних систем на базі VB. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. Вінниця, 2018. № 3. С. 37–42. URL: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2018-43-3-37-42>.
6. Приходько С.Б., Приходько Н.В., Смикодуб Т.Г. Чотирьохфакторна нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру Java-застосунків з відкритим кодом. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. Київ, 2020. Том 31(70). Ч. 1. № 2. С. 157–162. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-1/2>.
7. Prykhodko N.V., Prykhodko S.B. The non-linear regression model to estimate software size of open source java-based systems. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2018, No. 3, pp. 158–166. URL: <http://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-3-17>.
8. Приходько С.Б., Приходько Н.В., Ворона М.В., Беловол І.О. Нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру web-застосунків, що створюються з використанням фреймворку laravel. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. Вінниця, 2021. № 50(1). С. 115–121. URL: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-50-1-115-121>.
9. Приходько С.Б., Ворона М.В. Оцінювання розміру php-застосунків з відкритим кодом за нелінійними регресійними моделями з різними факторами. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв, 2021. № 1. С. 92–98. URL: [https://doi.org/10.15589/znp2021.1\(484\).13](https://doi.org/10.15589/znp2021.1(484).13).
10. Макарова Л.М., Латанська Л.О., Нікітін О.В., Нікітіна О.Ю. Математичні моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. Київ, 2022. Том 33(72). № 1. С. 150–156. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/23>.
11. GitHub. URL: <https://github.com> (дата звернення: 21.01.2022).
12. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних : навчальний посібник для студентів. Запоріжжя : КПУ, 2011. 268 с.
13. Приходько С.Б., Макарова Л.Н. Аналитическая зависимость для выбора распределения Джонсона семейства S_L . *Вестник Херсонского национального технического университета*. Херсон : ХНТУ, 2012. № 02 (45). С. 101–104.
14. Приходько С.Б. Оценка параметров нелинейных стохастических дифференциальных уравнений на основе нормализующих преобразований. *Вісник Харківського національного університету. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи»*. Харків, 2012. № 1015. С. 276–282.
15. Prykhodko S., Prykhodko N., Makarova L., Pukhalevych A. Outlier Detection in Non-Linear Regression Analysis Based on the Normalizing Transformations. *Proceedings of the 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)(Ukraine, Lviv-Slavske, February 25–29, 2020)*, IEEE, 2020, pp. 407–410. URL: <https://doi.org/10.1109/tcset49122.2020.235464>.
16. Крянев А.В., Лукин Г.В., Удумян Д.К. Метрический анализ и обработка данных. Москва : Физматлит, 2012. 308 с.
17. Сток Д., Уотсон М. Введение в эконометрику / пер. с англ. Москва : Дело, 2015. 864 с.

REFERENCES

1. OS Windows. Retrieved from: <https://www.microsoft.com/en-us/windows> (Last accessed: 10 January 2022).
2. C#. Retrieved from: <https://dotnet.microsoft.com/languages/csharp> (Last accessed: 1 February 2022).
3. Boehm, B.W. (1981). *Software engineering economics*. New Jersey: Prentice-Hall.
4. Makarova, L.M., Prykhodko, N.V., Kudin, O.O. (2019). Pobudova nelinejnoji reghresijnoji modeli dlja ocinjuvannja rozmiru veb-dodatkov, realizovanykh movoju Java [Constructing the non-linear regression model for size estimation of web-applications implemented in Java]. *Visnyk of Kherson National Technical University*, Vol. 2, No. 69, pp. 145–153.
5. Prykhodko, N.V., Prykhodko, S.B. (2018). Nelineijna reghresijna modelj dlja ocinjuvannja rozmiru proghramnogho zabezpechennja informacijnykh system na bazi VB [Non-linear regression model to

- estimate the software size of VB-based information systems]. *Information Technology And Computer Engineering*, No. 3, pp. 37–42. Retrieved from: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2018-43-3-37-42>.
6. Prykhodko, S.B., Prykhodko, N.V., Smykodub, T.G. (2020). Chotyryjokhfakorna nelineijna reghresijna modelj dlja ocinjuvannja rozmiru Java-zastosunkiv z vidkrytym kodom [Four-factor non-linear regression model to estimate the size of open source Java-based applications]. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, Vol. 31(70), Part 1, No. 2, pp. 157–162. Retrieved from: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-1/25>.
 7. Prykhodko, N.V., Prykhodko, S.B. (2018). The non-linear regression model to estimate the software size of open source Java-based systems. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, No. 3, pp. 158–166. Retrieved from: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-3-17>.
 8. Prykhodko, S.B., Prykhodko, N.V., Vorona, M.V., Belovol, I.A. (2021). Nelineijna reghresijna modelj dlja ocinjuvannja rozmiru web-zastosunkiv, shho stvorjuyutsja z vykorystannjam frejmvorku laravel [Nonlinear regression model for estimating the size of web-applications created using the Laravel Framework]. *Information Technology and Computer Engineering*, Vol. 50, No. 1, pp. 115–121. Retrieved from: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-50-1-115-121>.
 9. Prykhodko, S.B., Vorona, M.V. (2021). Ocinyvannja rozmiru php-zastosunkiv z vidkrytym kodom za nelineijnymy reghresijnymy modeljamy z riznymy faktoramy [Estimating the size of open-source PHP-based apps by nonlinear regression models with various factors]. *Collection of Scientific Publications NUS*, No. 1, pp. 92–98. Retrieved from: [https://doi.org/10.15589/zn2021.1\(484\).13](https://doi.org/10.15589/zn2021.1(484).13).
 10. Makarova, L.M., Latanska, L.O., Nikitin, O.V., Nikitina, O.Yu. (2022). Matematychni modeli dlja ocinjuvannja rozmiru proghramnogho zabezpechennja dlja kros-platformnoji rozrobky mobilnykh zastosunkiv iz vykorystannjam platformy Xamarin [Mathematical models for software size estimation for cross-platform development of mobile applications using Xamarin platform]. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, Vol. 33(72), No. 1, pp. 150–156. Retrieved from: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/23>.
 11. GitHub. Retrieved from: <https://github.com/> (accessed 8 February 2022).
 12. Bakhrushyn, V.Ye. (2011). *Metody analizu danykh: navchalnyj posibnyk dlja studentiv* [Methods of data analysis. A textbook for students]. Zaporizhzhya: KPU [in Ukrainian].
 13. Prykhodko, S.B., Makarova, L.N. (2012). Analiticheskaya zavisimost dlya vybora raspredeleniya Dzhonsona semeystva S_L [The analytical dependence for choosing the Johnson distribution of the S_L family]. *Bulletin of Kherson National technical university*, Vol. 02, No. 45, pp. 101–104.
 14. Prykhodko, S.B. (2012). Otsenka parametrov nelineinikh stokhasticheskikh differentsialnykh uravnenii na osnove normalizuiushchikh preobrazovaniy [Parameter estimation of nonlinear stochastic differential equations based on the normalizing transformations]. *Bulletin of Kharkiv National university. Series: "Mathematical modeling. Information technology. Automated control systems"*, No. 1015, pp. 276–282.
 15. Prykhodko, S., Prykhodko, N., Makarova, L., Pukhalevych, A. (2020). Outlier detection in non-linear regression analysis based on the normalizing transformations. *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)* (Ukraine, Lviv–Slavske, February 25–29, 2020), IEEE, pp. 407–410. Retrieved from: <https://doi.org/10.1109/tcset49122.2020.235464>.
 16. Kryanev, A.V., Lukin, G.V., Udumyan, D.K. (2012). *Metricheskiy analiz i obrabotka danykh* [Metric analysis and data processing]. Moscow: Fizmatlit [in Russian].
 17. Stok, J., Watson, M. (2015). *Vvedenie v ekonometriku / per. s angl.* [Introduction to econometrics]. Moscow: Delo [in Russian].

Науковий журнал

Computer Science and Applied Mathematics

№ 1, 2022

Комп'ютерна верстка – Н.С. Кузнєцова
Коректура – В.В. Ізак

Підписано до друку: 28.09.2022.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 11,86.
Замов. № 1122/467. Наклад 100 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.