

DOI: 10.31319/2709-2879.2026iss1(12).362163pp26-34

УДК 330.43:519.876:378

Карімов І.К., кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри математичного моделювання

та системного аналізу

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ORCID ID: 0000-0003-4145-9726

e-mail: ikarimov@ukr.net

Карімов Г.І., кандидат економічних наук, доцент, завідувач кафедри менеджменту

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ORCID ID: 0000-0002-0208-2607

e-mail: gkarimov@ukr.net

Богданенко О.С., здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ORCID ID: 0009-0007-0984-5471

e-mail: bogdanenko.04@gmail.com

Лисенко А.В., аспірант кафедри менеджменту

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Karimov Ivan, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Mathematical Modeling and System Analysis

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

Karimov Hennadii, PhD of Economics, Associate Professor, Head of the Department of Management

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

Bogdanenko Olga, Master's degree student,

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

Lysenko Andriy, Postgraduate student of the Department of Management

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ЕКОНОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ТА ЇХ КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ

ECONOMETRIC MODELS AND THEIR COMPUTER IMPLEMENTATION

У роботі розглядаються комп'ютерно орієнтовані методи та засоби побудови економетричних моделей. Проаналізовано засоби табличного процесора MS Excel, які найчастіше використовуються при побудові лінійних і нелінійних, одно- та багатофакторних моделей.

Наведений алгоритм побудови лінійної багатофакторної економетричної моделі з перевіркою факторів на мультиколінеарність. Алгоритм передбачає вилучення мультиколінеарних факторів і виведення статистично обґрунтованої моделі або повідомлення про наявність мультиколінеарності і непридатність даного алгоритму для побудови моделі.

Для автоматичної реалізації алгоритму розроблена комп'ютерна програма на мові C++ 17. Як середовище написання коду використаний Visual Studio Code. Процес компіляції забезпечується системою автоматизації збирання CMake. Рендеринг і візуалізації виконані за допомогою бібліотек RayLib, ImGui та ImPlot. Програма також використовує бібліотеки Boost.Math для обчислення критичних значень і Eigen для роботи з матрицями.

Ключові слова: економетричні моделі, MS Excel, мультиколінеарність, алгоритм, комп'ютерна програма.

The paper considers computer-oriented methods and tools for constructing econometric models. The tools of the MS Excel spreadsheet processor, which are most often used in the construction of linear and non-linear, one- and multifactorial models, are analyzed. The important role of standard statistical functions of MS Excel in the process of building and verifying models is

emphasized. apparatus of trend lines for a standard set of nonlinear functions, as well as the application of the idea of the method of least squares with the determination of coefficients using the standard tool Solver for more complex functions.

An algorithm for constructing a linear multivariate econometric model with checking the system of factors for multicollinearity according to the Farrar-Glober method is presented. The algorithm involves the extraction of multicollinear factors and the derivation of a statistically justified model or a message about the presence of multicollinearity and the unsuitability of this algorithm for building a model. Step-by-step verification of the model is carried out using statistical criteria χ^2 , Student's t-test, F-test.

For the automatic implementation of the algorithm, a computer program in the C++ language was developed. Visual Studio Code was used as a coding environment. The compilation process is provided by the CMake build automation system. Rendering and visualizations are performed using the RayLib, ImGui and ImPlot libraries. The program also uses the Boost.Math libraries to calculate critical values and Eigen to work with matrices.

Information output takes place in 5 windows: Data Entry, Farrar-Glober Test, Full Regression Model for All Factors, Regression Model with Manual Removal of Factors, Regression Model with Automatic Removal of Factors.

The study of the directions of model construction in case of unsuitability of the considered algorithm requires further research.

Key words: econometric models, MS Excel, multicollinearity, algorithm, computer program.

JEL Classification: A22; C50; C87

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку суспільства в цілому характеризується активним застосуванням інформаційних технологій і математичного моделювання. В галузі економіки при цьому використовуються різноманітні математичні моделі та методи їх реалізації. Особливе місце займають економетричні моделі, які будуються на основі статистичних даних з врахуванням фундаментальних положень економічної теорії [1-3]. Побудова моделей з врахуванням особливостей вхідної економічної інформації значно підвищує наукову обґрунтованість управлінських рішень і сприяє розвитку економіки в цілому.

Економетричні моделі застосовуються для кількісних досліджень економічних явищ різного рівня: від окремих економічних процесів до економіки галузей і регіонів [4-6]. Різноманіття сфер застосування зумовлює актуальність систематизації задач та методів їх реалізації, розширення інструментарію вирішення конкретних задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Класичні підходи до побудови економетричних моделей відображені, перш за все, в підручниках та навчальних посібниках (наприклад, [1-3, 7, 8]). При цьому велика увага приділяється застосуванню інформаційних технологій на основі табличного процесора MS Excel [1, 7, 8] в рамках стандартної технології побудови регресійних залежностей. В той же час відомі деякі модифікації стандартної технології. Одна з них стосується побудови виробничих функцій Кобба-Дугласа (ВФКД). Традиційно при вирішенні цієї задачі проводиться лінеаризація функції шляхом логарифмування вихідного співвідношення, далі будується лінійне рівняння регресії з оцінкою статистичної значимості його коефіцієнтів і виконується зворотний перехід до нелінійної моделі. В роботі [9] запропоновано відмовитися від лінеаризації і перейти до визначення коефіцієнтів ВФКД на основі використання ідеї методу найменших квадратів разом зі стандартним засобом *Пошук розв'язання* табличного процесора MS Excel. Верифікація моделі виконується відносно остаточного виду виробничої функції, що підвищує значимість оцінок.

В роботі [10] проведений аналіз можливості використання систем штучного інтелекту для вирішення прикладних задач економетричного моделювання. Автори стверджують, що «... сучасні моделі генеративного штучного інтелекту досягли рівня компетентності, достатнього для виконання рутинних економетричних розрахунків, проте залишаються недостатньо надійними для автономного моделювання складних економічних систем без експертного нагляду» [10, с. 439]. Як один з варіантів поліпшення ситуації пропонується залучення спеціалізованого статистичного програмного забезпечення (R, Python).

На необхідність залучення програмного забезпечення та мов програмування для економетричних досліджень звертається також увага в роботі [11], причому мова йде не тільки про професійну діяльність, а й про освітній процес (формування відповідних компетентностей у майбутніх фахівців).

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження комп'ютерно орієнтованих методів та засобів побудови економетричних моделей.

Виклад основного матеріалу дослідження. З точки зору математики *економетрична модель* – це функція або система функцій, яка описує кореляційно-регресійний зв'язок між економічними показниками в досліджуваному процесі. В загальному вигляді функція в економетричній моделі має вигляд

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_m, u), \quad (1)$$

де Y – залежна змінна (показник, що досліджується); x_1, x_2, \dots, x_m – незалежні змінні (фактори, що визначають поведінку Y); u – випадкова складова зміни Y , яка не пояснюється незалежними змінними. Змінні x_1, x_2, \dots, x_m в функції (1) поєднуються певним набором постійних чисел (параметрів моделі), визначення яких і є задачею економетричного дослідження в конкретних випадках.

Відповідно до кількості факторів та аналітичного виду функції (1) виділяють одно- та багатофакторні, лінійні та нелінійні економетричні моделі. Однофакторні моделі є класичними, методика визначення коефіцієнтів лінійного регресійного рівняння описана практично в кожному підручнику з теорії ймовірностей та математичної статистики (наприклад, в [12]). Доцільність використання комп'ютерних засобів в цьому випадку зумовлена необхідністю виконання значного обсягу обчислень за відносно простими формулами. Для полегшення цієї роботи зазвичай використовують комп'ютерні засоби, серед яких особливого популярним є табличний процесор MS Excel, причому не тільки для однофакторних, а й для багатофакторних економетричних моделей (табл. 1).

Таблиця 1. Найпоширеніші підходи до побудови економетричних моделей

Тип моделі	Основні підходи та засоби MS Excel
Лінійна однофакторна модель	Побудова регресійної залежності з використанням стандартних функцій MS Excel (SLOPE, INTERCEPT, CORREL та ін.), верифікація за значенням R^2
Нелінійна однофакторна модель	Використання апарату ліній тренду для стандартного набору функцій, застосування ідеї методу найменших квадратів з визначенням коефіцієнтів за допомогою стандартного засобу <i>Пошук розв'язання</i> , верифікація за значенням R^2
Лінійна багатофакторна модель	1. Побудова регресійної залежності з використанням стандартної функції LINEST з виведенням стандартних значень помилок для коефіцієнтів та очікуваного значення залежної змінної, коефіцієнта детермінації, F-статистики та ін. Верифікація за значенням R^2 , F-статистикою і t-критерієм Стьюдента. 2. Використання спеціального набору інструментів MS Excel для статистичного аналізу <i>Data Analysis</i> (інструмент <i>Regression</i>)
Нелінійна багатофакторна модель	1. Лінеаризація функції, побудова і верифікація регресійної залежності з використанням стандартної функції LINEST, повернення до початкового виду функції. 2. В випадку експоненційної функції побудова регресійної залежності з використанням стандартної функції MS Excel LOGEST (аналогічно функції LINEST)

Джерело: складено авторами

Не зважаючи на велике різноманіття комп'ютерних засобів для побудови економетричних моделей, вирішення цієї задачі не можна вважати тривіальним. Особливо це стосується багатофакторних моделей і пов'язано з можливістю появи таких явищ, як мультиколінеарність, автокореляція залишків, гетероскедастичність [2-3, 8, 14]. Для дослідження таких явищ доцільно створювати окремі алгоритми та програмні засоби шляхом самостійного програмування.

В табл. 2 наведені основні етапи побудови багатофакторної економетричної моделі з перевіркою системи факторів на мультиколінеарність за методом Фаррара-Глобера.

Таблиця 2. Основні етапи побудови багатофакторної економетричної моделі

Етап	Основні підходи та розрахункові формули
1. Введення початкових даних	Завдання обсягу вибіркової сукупності n , кількості факторів m , значень залежної величини y_i та факторів x_{ik} ($i=1,2,\dots,n$; $k=1,2,\dots,m$); рівня значущості α
2. Первинна обробка даних	Визначення: вибірових середніх $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$; $\bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ik}$; середніх квадратичних відхилень $S_y^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \cdot \bar{y}^2 \right)$; $S_{x_k}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_{ik}^2 - n \cdot \bar{x}_k^2 \right)$; парних коефіцієнтів кореляції між факторами $r_{x_j x_k} = \frac{1}{(n-1) \cdot S_{x_j} \cdot S_{x_k}} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot x_{ik} - n \cdot \bar{x}_j \cdot \bar{x}_k \right)$
3. Перевірка системи факторів на мультиколінеарність	Формування кореляційної матриці $R = \begin{pmatrix} 1 & r_{x_1 x_2} & \dots & r_{x_1 x_m} \\ r_{x_2 x_1} & 1 & \dots & r_{x_2 x_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{x_m x_1} & r_{x_m x_2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$ і обчислення визначника $ R $; обчислення значення критерію $\chi^2 = - \left[n-1 - \frac{2 \cdot m + 5}{6} \right] \ln R $ і визначення табличного значення $\chi_{кр}^2 \left(\alpha, \frac{m(m-1)}{2} \right)$; при $\chi^2 \leq \chi_{кр}^2$ (система не мультиколінеарна) перехід до етапу 5.
4. Видалення мультиколінеарних факторів	Визначення елементів C_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, m$ оберненої матриці $C = R^{-1}$; обчислення $r_{ij} = \frac{-C_{ij}}{\sqrt{C_{ii} \cdot C_{jj}}}$; $t_{ij} = \frac{r_{ij} \cdot \sqrt{n-m}}{\sqrt{1-r_{ij}^2}}$; визначення табличного значення $t_{кр}(\alpha, n-m)$; при $t_{ij} > t_{кр}$ визнання чинників x_i , x_j мультиколінеарними; прийняття рішення про вилучення одного з факторів.

Продовження таблиці 2

<p>5. Визначення β - коефіцієнтів моделі і перевірка їх значущості</p>	<p>Формування кореляційної матриці R_l для l факторів, що залишилися в моделі ($l \leq m$); обчислення $C_l = R_l^{-1}$;</p> <p>обчислення $r_{ky} = \frac{1}{(n-1) \cdot S_{x_k} \cdot S_y} \cdot \left[\sum_{i=1}^n x_{ik} \cdot y_i - n \cdot \bar{x}_k \cdot \bar{y} \right]$ і β - коефіцієнтів:</p> $\begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_l \end{pmatrix} = R_l^{-1} \cdot \begin{pmatrix} r_{1y} \\ r_{2y} \\ \dots \\ r_{ly} \end{pmatrix};$ <p>визначення коефіцієнта детермінації D</p> $D = \beta_1 r_{1y} + \beta_2 r_{2y} + \dots + \beta_l r_{ly};$ <p>визначення табличного значення $t_{кр}(\alpha, n-l)$;</p> <p>обчислення $S_{\beta_k} = \frac{\sqrt{1-D}}{\sqrt{n-l}} \cdot \sqrt{C_{kk}}$, $t_k = \frac{ \beta_k }{S_{\beta_k}}$;</p> <p>при $t_k \leq t_{кр}(\alpha, n-l)$ фактор x_k видаляється з моделі. Якщо з моделі видалений хоча б один фактор, етап 5 повторюється, інакше переходимо до етапу 6.</p>
<p>6. Перевірка на адекватність моделі в цілому</p>	<p>Обчислення F-критерію $F_p = \frac{D}{1-D} \cdot \frac{n-l-1}{l}$;</p> <p>визначення табличного значення $F_{кр}(\alpha, l, n-l-1)$.</p> <p>При $F_p > F_{кр}$ модель визнається адекватною, в іншому разі – не адекватною (від неї потрібно відмовитися).</p>
<p>7. Прийняття остаточного рішення</p>	<p>Якщо модель адекватна, обчислюємо</p> $B_k = \beta_k \cdot \frac{S_y}{S_{x_k}} \quad (k = 1, 2, \dots, l); \quad B_0 = \bar{y} - \sum B_k \cdot \bar{x}_k$ і остаточно приймаємо модель $Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_l X_l$.

Джерело: складено авторами на основі [8, 14]

Алгоритм побудови багатфакторної моделі, описаний в табл. 2, реалізований у вигляді програми на мові C++ 17. Як середовище написання коду використовувався Visual Studio Code. Процес компіляції забезпечується системою автоматизації збирання CMake. Рендеринг і візуалізації виконані за допомогою бібліотек RayLib, ImGui та ImPlot. Загальний вигляд вікна програми наведений на рис. 1.

Відзначимо, що в процесі реалізації алгоритму використовуються критичні значення різних статистичних розподілів: χ^2 , Стюдента, Фішера. Автоматичне визначення значень цих критеріїв $\chi^2_{кр} \left(\alpha, \frac{m(m-1)}{2} \right)$ (етап 3); $t_{кр}(\alpha, n-m)$ (етап 4); $t_{кр}(\alpha, n-l)$ (етап 5); $F_{кр}(\alpha, l, n-l-1)$ (етап 6) для різного рівня значущості α і ступенів свободи забезпечується функціями бібліотеки Boost.Math.

Для роботи з матрицями використовується бібліотека Eigen.

Виведення інформації відбувається в 5 вікнах: *Введення даних*, *Тест Фаррара-Глобера*, *Повна модель регресії за всіма факторами*, *Модель регресії з ручним видаленням факторів*, *Модель регресії з автоматичним видаленням факторів*.

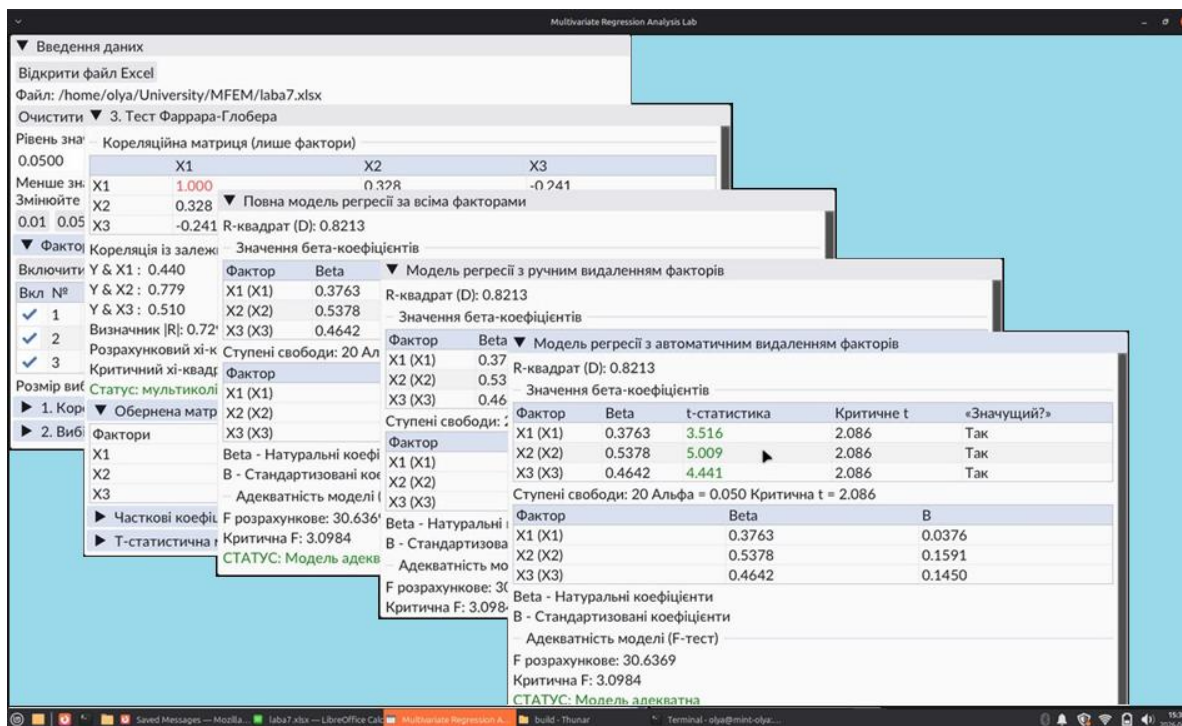


Рис. 1. Загальний вигляд програми побудови економетричної моделі
Джерело: власна розробка авторів

Для ілюстрації роботи програми на рис. 2, 3 наведені приклади одного з вікон для двох варіантів перебігу процесу: при наявності мультиколінеарності (рис. 2) і без мультиколінеарності (рис. 3).

▼ 3. Тест Фаррара-Глобера

– Кореляційна матриця (лише фактори)

	X1	X2	X3	X4	X5
X1	1.000	0.998	0.996	0.939	0.899
X2	0.998	1.000	0.998	0.950	0.916
X3	0.996	0.998	1.000	0.953	0.921
X4	0.939	0.950	0.953	1.000	0.927
X5	0.899	0.916	0.921	0.927	1.000

Кореляція із залежною змінною (Y):
 Y & X1 : 0.937
 Y & X2 : 0.946
 Y & X3 : 0.947
 Y & X4 : 0.965
 Y & X5 : 0.925
 Визначник |R|: 1.072714e-07
 Розрахунковий χ^2 -квадрат: 505.5090
 Критичний χ^2 -квадрат: 18.3070
Статус: мультиколінеарність ВИЯВЛЕНО
Даний алгоритм для побудови моделі не придатний

Рис. 2. Вікно «Тест Фаррара-Глобера» в разі наявності мультиколінеарності
Джерело: власна розробка авторів

▼ 3. Тест Фаррара-Глобера			
– Кореляційна матриця (лише фактори)			
	X1	X2	X3
X1	1.000	0.328	-0.241
X2	0.328	1.000	0.254
X3	-0.241	0.254	1.000
Кореляція із залежною змінною (Y):			
Y & X1 : 0.440			
Y & X2 : 0.779			
Y & X3 : 0.510			
Визначник R : 0.729978			
Розрахунковий χ^2 -квадрат: 6.6620			
Критичний χ^2 -квадрат: 7.8147			
Статус: мультиколінеарності немає			
▼ Обернена матриця кореляцій (C = R ⁻¹)			
Фактори	X1	X2	X3
X1	1.282	-0.533	0.444
X2	-0.533	1.290	-0.456
X3	0.444	-0.456	1.223
▼ Часткові коефіцієнти кореляції			
Фактори	X1	X2	X3
X1	1.000	0.414	-0.355
X2	0.414	1.000	0.363
X3	-0.355	0.363	1.000

Рис. 3. Вікно «Тест Фаррара-Глобера» в разі відсутності мультиколінеарності
Джерело: власна розробка авторів

Висновки. Виконане дослідження комп'ютерно орієнтованих методів та засобів побудови економетричних моделей. Розглянуті засоби табличного процесора MS Excel, які найчастіше використовуються при побудові лінійних і нелінійних, одно- та багатфакторних моделей.

Описаний алгоритм побудови лінійної багатфакторної економетричної моделі з перевіркою факторів на мультиколінеарність. Алгоритм передбачає вилучення мультиколінеарних факторів і виведення статистично обґрунтованої моделі або повідомлення про наявність мультиколінеарності і непридатність даного алгоритму для побудови моделі.

Для автоматичної реалізації алгоритму розроблена комп'ютерна програма. Програма написана на мові C++ 17. Як середовище написання коду використовувався Visual Studio Code. Процес компіляції забезпечується системою автоматизації збирання CMake. Рендеринг і візуалізації виконані за допомогою бібліотек: RayLib, ImGui та ImPlot. Програма також використовує бібліотеки Boost.Math для обчислення критичних значень і Eigen для роботи з матрицями.

Дослідження напрямків побудови моделі в разі непридатності розглянутого алгоритму потребує подальших досліджень.

Список використаної літератури

1. Толбатов Ю.А. Економетрика: підручник. Київ: Четверта Хвиля, 1997. 320 с.
2. Козьменко О.В., Кузьменко О.В. Економіко-математичні методи та моделі (економетрика): навч. посіб. Суми: Університетська книга, 2014. 406 с.
3. Гур'янова Л.С., Клебанова Т.С., Сергієнко О.А., Прокопович С.В. Економетрика: навч. посіб. Харків: ХНЕУ ім. С.Кузнеця, 2015. 384 с.

4. Чобіток В.І., Костін Ю.Д. Багатофакторні економетричні моделі при розробці стратегії підприємств в енергетичній галузі України. *Ефективна економіка*. 2025. № 5. С. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.5.3>).
5. Полотай О.І., Кухарська Н.П. Прогнозування індексу захищеності комп'ютерних мереж за допомогою економетричних моделей. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. №4(28). С. 365-372. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.28.810>
6. Бегун С.І., Хомюк Н.Л., Подзізей О.О. Економетричні методи та моделі в прийнятті управлінських рішень в умовах цифрової трансформації. *Економіка та суспільство*. 2024. №66. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-16>.
7. Васильєва Н.К., Мироненко О.А., Самарець Н.М., Чорна Н.О. Економетрика в електронних таблицях: навч. посіб. Дніпро: Біла К.О., 2017. 149 с.
8. Карімов Г.І. Моделювання та прогнозування в управлінні: навчальний посібник. Кам'янське: ДДТУ, 2018. 163 с.
9. Карімов І.К., Карімов Г.І., Задоя С.Б. Про один підхід до побудови виробничої функції Кобба-Дугласа. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2018. Випуск 2(33). С. 67-71. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.33.2018.201>
10. Сосновська Є.Р., Скіцько В.І. Розв'язання економетричних задач із застосуванням моделей генеративного штучного інтелекту: порівняльний аналіз ChatGPT та Gemini. *Проблеми економіки*. 2025. №4. С. 428-442. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2025-4-428-442>
11. Гевлич І.Г. Використання прикладних програм та навичок програмування при вирішенні економетричних задач. *Економіка і організація управління*. 2024. № 2(54). С. 69-79 DOI: <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.2.6>
12. Авраменко В.І., Карімов І.К. Теорія ймовірностей і математична статистика: навчальний посібник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. 245 с.
13. Карімов І.К., Карімов Г.І. Комп'ютерні технології в навчальному процесі технічного університету: монографія. Кам'янське: ДДТУ, 2020. 168 с.
14. Єрьоменко В.О., Алілуйко А.М., Березька К.М., Мартинюк О.М. Економетрика : навч. посіб. Тернопіль : Підручники і посібники, 2023. 168 с.

References

- [1] Tolbatov Yu.A. (1997). *Ekonometryka* [Econometrics]. Kyiv: Chetverta Khvyliya. (in Ukrainian)
- [2] Kozmenko O.V., Kuzmenko O.V. (2014). *Ekonomiko-matematychni metody ta modeli (ekonometryka)* [Economic and mathematical methods and models (econometrics)]. Sumy: Universytetska knyha. (in Ukrainian)
- [3] Hurianova L.S., Klebanova T.S., Serhiienko O.A., Prokopovych S.V. (2015). *Ekonometryka* [Econometrics]. Kharkiv: KhNEU im. S.Kuznetsia. (in Ukrainian)
- [4] Chobitok V.I., Kostin Yu.D. (2025). Bahatofaktorni ekonometrychni modeli pry rozrobtsi stratehii pidpriemstv v enerhetychnii haluzi Ukrainy [Multifactor econometric models in the development of the strategy of enterprises in the energy sector of Ukraine]. *Efektivna ekonomika [Effective economy]*, no. 5, pp. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.5.3>
- [5] Polotai O.I., Kukharska N.P. (2025). Prohnozuvannia indeksu zakhyshchenosti kompiuternykh merezh za dopomohoiu ekonometrychnykh modelei [Forecasting the security index of computer networks using econometric models]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika [Cybersecurity: Education, Science, Technology]*, no. 4(28), pp. 365-372. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.28.810>
- [6] Behun S.I., Khomiuk N.L., Podzizei O.O. (2024). Ekonometrychni metody ta modeli v pryiniatti upravlinskykh rishen v umovakh tsyfrovoyi transformatsii [Econometric methods and models in making management decisions in the conditions of digital transformation].

- Ekonomika ta suspilstvo [Economy and society]*, no. 66. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-16>
- [7] Vasylieva N.K., Myronenko O.A., Samarets N.M., Chorna N.O. (2017). *Ekonomyka v elektronnykh tablytsiakh [Econometrics in spreadsheets]*. Dnipro: Bila K.O. (in Ukrainian).
- [8] Karimov H.I. (2018) *Modeliuvannia ta prohnozuvannia v upravlinni [Modeling and forecasting in management]*. Kamianske: DDTU. (in Ukrainian)
- [9] Karimov I.K., Karimov H.I., Zadoia S.B. (2018). Pro odyn pidkhid do pobudovy vyrobnychoi funktsii Kobb-Duhlasa [On one approach to constructing the Cobb-Douglas production function]. *Zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu (tekhnichni nauky) [Collection of scientific papers of the Dnipro State Technical University (technical sciences)]*, Issue 2(33), pp. 67-71. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.33.2018.201>.
- [10] Sosnovska Ye.R., Skitsko V.I. (2025). Rozviazannia ekonometrychnykh zadach iz zastosuvanniam modelei heneratyvnoho shtuchnoho intelektu: porivnialnyi analiz ChatGPT ta Gemini [Solving econometric problems using generative artificial intelligence models: a comparative analysis of ChatGPT and Gemini]. *Problemy ekonomiky [Problems of Economics]*, no. 4, pp. 428-442. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2025-4-428-442>.
- [11] Hevlych I.H. (2024). Vykorystannia prykladnykh prohram ta navychok prohramuvannia pry vyrishenni ekonometrychnykh zadach [Using applied programs and programming skills when solving econometric problems]. *Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia [Economics and Management Organization]*, no. 2(54). pp. 69-79 DOI: <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.2.6>
- [12] Avramenko V.I., Karimov I.K. (2013). *Teoriia ymovirnostei i matematychna statystyka [Probability theory and mathematical statistics]*. Dniprodzerzhynsk: DDTU. (in Ukrainian)
- [13] Karimov I.K., Karimov, H.I. (2020). *Kompiuterni tekhnolohii v navchalnomu protsesi tekhnichnoho universytetu [Computer technologies in the educational process of a technical university]*. Kamianske: DDTU. (in Ukrainian)
- [14] Eremenko V.O., Aliluyko A.M., Berezka K.M., Martyniuk O.M. (2023). *Ekonomyka [Econometrics]*. Ternopil: Pidruchnyky i posibnyky. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 20.04.2026

Прийнята після рецензування 10.05.2026

Опублікована 28.05.2026