

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-26>

УДК 336.4

ОЦІНЮВАННЯ ДОХОДІВ МІСЦЕВИХ БЮДЖЕТІВ LOCAL BUDGET REVENUE ASSESSMENT

Прокопович Леонід Борисович

кандидат економічних наук, доцент,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2561-8862>

Prokopovich Leonid

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Стаття присвячена проблемі підвищення достовірності оцінювання рівня доходів місцевих бюджетів. У роботі був проаналізований характер існуючої залежності рівня доходів місцевих бюджетів України від джерел їх надходження. Був побудований комплекс лінійних та нелінійних однофакторних моделей. Також була побудована група лінійних двохфакторних моделей. Порівняння показало, що кращою виявилася лінійна двохфакторна модель. Для раніше відібраних комбінацій факторів був застосований метод машинного вчення – випадковий ліс. Модель, отримана в результаті вживання алгоритму випадкового лісу, виявилася гіршою, ніж лінійна двохфакторна регресійна модель. Розроблену лінійну двохфакторну модель можна використовувати для оцінювання рівня доходів місцевих бюджетів України і прогнозування впливу на його величину різних джерел фінансування.

Ключові слова: місцевий бюджет, доходи, регресія, випадковий ліс, машинне вчення.

The article is devoted to the urgent problem of increasing the reliability of assessing the level of income of local budgets. The work analyzed the nature of the existing dependence of the level of income of local budgets of Ukraine on the sources of their receipt. As factors affecting the amount of income of the local budget, the following were considered: tax revenues, non-tax revenues, income from capital transactions, trust funds and official transfers. The construction of a correlation matrix made it possible to identify a high level of dependence between local budget income and non-tax revenues together with targeted funds. The remaining sources of funding have a strong or medium impact on the income level of the local budget. A complex of linear and nonlinear one-factor regression models was built. A group of linear two-factor models were also built. The analysis of p-values made it possible to exclude models from further consideration in which internal parameters turned out to be insignificant. As a result of the study of the coefficient of determination, Fisher's test and the average absolute percent of error, a model was selected. The comparison showed that the best was the linear two-factor model for factors: tax revenues and official transfers. For previously selected combinations of factors, the machine learning method was used – a random forest. Machine learning-derived models were expected to have higher characteristics than the early regression models obtained. The best machine learning model obtained was a model with the same combination of factors as the best linear two-factor model. However, when comparing the values of the coefficient of determination and the average absolute percent of error, the model obtained as a result of applying the random forest algorithm turned out to be worse than the linear two-factor regression model. The developed linear two-factor model can be used to assess the level of income of local budgets of Ukraine and predict the impact on its size of various sources of financing. It is proposed to use other methods of machine learning with a teacher when building future models.

Keywords: local budget, revenue, regression, random forest, machine learning.

Постановка проблеми. Трендом останніх років у державному управлінні є процеси децентралізації. Реформи у напрямку децентралізованого управління державою призвели до збільшення повноважень місцевих громад як у прийнятті ними рішень, так і у наповненні ними своїх бюджетів. Тобто децентралізація відобразилася і на місцевих бюджетах. Із збільшенням повноважень зростає відпо-

відальність за надходженнями та видатками місцевих бюджетів. А значить, підвищується увага до контролю, аналізу та прогнозування рівня його доходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми децентралізації місцевих бюджетів присвятили свої роботи низька дослідників, серед яких можна згадати: Татарин Н.Б., Войтович В.В. [3], Черновська М.М. [4],

Шулюк Б.С. [6]. Безпосередньо питанням оцінки та прогнозування доходів місцевих бюджетів України присвячені праці Західна О.Р., Петришин Х.Р. [1], Кульчицький М.І., Пазовська Л.Е. [2], Чуркіна І.Є., Бобошко Л.І. [5]. Незважаючи на здобутки які отримали в своїх дослідженнях вказані фахівці, не вирішеною залишається проблема достовірності оцінювання рівня доходів місцевих бюджетів. Основна частина дослідників під час оцінки рівня доходів місцевих бюджетів не застосовує статистичні методи, обмежуючись співставленням показників різних періодів.

Метою дослідження є підвищення достовірності оцінювання рівня доходів місцевих бюджетів України.

Виклад основного матеріалу. В якості початкових даних для проведення дослідження були використані показники які наведені у табл. 2 публікації авторів Західна О.Р., Петришин Х.Р. [1, с. 84]. Де наведена інформація про динаміку величини обсягів доходів місцевих бюджетів України (Y) та інформація про джерела надходжень. В якості факторів досліджувалися: X1 – податкові надходження, X2 – неподаткові надходження, X3 – доходи від операцій з капіталом, X4 – цільові фонди, X5 – офіційні трансферти. Відповідно до вказаних початкових даних, розглянемо побудову моделі прогнозування рівня доходів місцевих бюджетів (Y).

З метою відбору факторів, для побудови моделі була побудована кореляційна матриця (див. табл. 1).

Таблиця 1

Кореляційна матриця

	Y	X1	X2	X3	X4	X5
Y	1,00	0,90	0,94	0,65	0,95	0,84
X1	0,90	1,00	0,76	0,88	0,87	0,53
X2	0,94	0,76	1,00	0,49	0,88	0,90
X3	0,65	0,88	0,49	1,00	0,53	0,17
X4	0,95	0,87	0,88	0,53	1,00	0,80
X5	0,84	0,53	0,90	0,17	0,80	1,00

За даними табл. 1 видно, що фактори X2 та X4 за шкалою Чеддока мають дуже сильний кореляційний зв'язок із залежною змінною (величина коефіцієнту Пірсона 0,94 та 0,95). Фактори X1 та X5 мають сильний зв'язок з Y (0,90 та 0,84), а фактор X3 має середній кореляційний зв'язок (0,65). Проте, між факторами також існує сильні кореляційні зв'язки, наприклад, між фактором X1 та X2, X3, X4. Це вказує на наявність мультиколінеарності

між факторами, що може ускладнити побудову багатофакторної моделі, наприклад, за факторами X1, X2, X4. Щоб підтвердити або спростувати наявність мультиколінеарності були розраховані зворотні матриці від матриць парних кореляцій. Зворотна матриця для факторів X1, X2, X4 наведена у табл. 2.

Таблиця 2

Зворотна матриця для факторів X1, X2, X4, R⁻¹

3,991222	0,045327	-3,49494
0,045327	4,348996	-3,85555
-3,49494	-3,85555	7,408847

Так як значення на головній діагоналі 4,35 і 7,41 більше 4,00 (див. табл. 2), то це підтвердило наявність мультиколінеарності між факторами. Також були проаналізовані інші комбінації факторів для побудови регресійної моделі. За результатами даного етапу дослідження прийнято рішення щодо побудови лінійних та нелінійних однофакторних регресійних моделей (див. формули 1-4) за факторами: X1; X2; X4; X5 та лінійних багатофакторних моделей (див. формули 5, 6) за факторами: X1, X5; X2, X3; X3 X4.

$$\hat{y} = a_0 + a_1 \times x + \varepsilon, \quad (1)$$

$$\hat{y} = a_1 \times x + \varepsilon, \quad (2)$$

$$\hat{y} = a_0 + a_1 \times \ln(x) + \varepsilon, \quad (3)$$

$$\hat{y} = a_0 + a_1 \times x + a_2 \times x^2 + \varepsilon, \quad (4)$$

$$\hat{y} = a_0 + a_1 \times x_1 + a_2 \times x_2 + \varepsilon, \quad (5)$$

$$\hat{y} = a_1 \times x_1 + a_2 \times x_2 + \varepsilon, \quad (6)$$

Параметри знайдених моделей наведені у табл. 3 (для однофакторних) та у табл. 4 (для багатофакторних).

Для оцінки значимості знайдених параметрів побудованих моделей був використаний розрахунок *p*-значень для кожного з внутрішніх параметрів моделі. Величини знайдених *p*-значень наведені у табл. 5, 6. За результатами аналізу величини *p*-значень для параметрів моделей для подальшого дослідження були відкинуті моделі де величина *p*-значення перевищувала 0,05, так як у даних моделей частина або всі знайдені параметри виявилися незначимими. Були відкинуті 7 однофакторних та 4 багатовакторних моделей.

Моделі які пройшли перевірку параметрів, з метою відбору найліпшої моделі, були згруповані у порівняльну таблицю (див. табл. 7). Як можна побачити серед однофакторних

Таблиця 3

Параметри однофакторних моделей

Параметр	Номер моделі			
	1	2	3	4
для фактору X1				
a_0	158,393	-	-796,472	-97,710
a_1	1,436	2,162	238,536	4,897
a_2	-	-	-	-0,010
для фактору X2				
a_0	-73,168	-	-851,892	159,046
a_1	22,060	18,991	413,924	-2,153
a_2	-	-	-	0,586
для фактору X4				
a_0	-172,478	-	791,523	-630,767
a_1	1104,222	797,953	578,036	2892,667
a_2	-	-	-	-1676,667
для фактору X5				
a_0	59,188	-	-1484,587	-112,261
a_1	1,725	1,983	359,191	3,437
a_2	-	-	-	-0,004

Таблиця 4

Параметри багатофакторних моделей

Параметр	Номер моделі	
	5	6
для факторів X1, X5		
a_0	17,405	-
a_1	1,011	1,022
a_2	1,035	1,100
для факторів X2, X3		
a_0	-94,081	-
a_1	19,220	15,792
a_2	42,343	36,437
для факторів X3X4		
a_0	-174,900	-
a_1	32,696	31,369
a_2	987,365	681,711

моделей перевірку попереднього етапу дослідження пройшли лінійні (див. формули 1, 2) та логарифмічні моделі (див. формула 3). У багатофакторних моделях перевірку пройшли лінійні регресійні моделі за факторами X1, X5.

Серед показниками, за якими відбувалося порівняння моделей які досліджуються є: коефіцієнт детермінації та критерій Фішера. В якості критерія якості моделі був використаний середній абсолютний відсоток помилки (MAPE).

Досліджуючи отримані величини коефіцієнту детермінації (див. табл. 7) можна побачити, що у 6 із 11 моделей він перевищує 0,95. Це може свідчити про високу точність апрок-

симації. За всіма моделями розрахунковий коефіцієнт Фішера перевищує табличні значення, що каже про статистичну значимість отриманих рівнянь регресії.

За результатами дослідження величини критерія якості найліпшою моделлю виявилася багатофакторна лінійна регресійна модель для факторів X1 (податкові надходження), X5 (офіційні трансферти). Дана модель (див. формулу 7) має високе значення коефіцієнту детермінації ($R^2=0,9998$) та найменший Середній абсолютний відсоток помилки (MAPE = 0,444%).

$$\hat{y} = 17,405 + 1,011 \times x_1 + 1,035 \times x_5 + \varepsilon, \quad (7)$$

Таблиця 5

p-значення				
Параметр	Номер моделі			
	1	2	3	4
для фактору X1				
a_0	0,04973905	-	0,011311153	0,442697
a_1	0,005260856	1,03092E-05	0,001805703	0,02787022
a_2	-	-	-	0,07324951
для фактору X2				
a_0	0,438618347	-	0,025688111	0,604920281
a_1	0,001996205	3,88692E-07	0,005196451	0,943078957
a_2	-	-	-	0,437052209
для фактору X4				
a_0	0,098475839	-	1,70244E-05	0,266684909
a_1	0,000817815	5,51353E-07	0,000565369	0,199757433
a_2	-	-	-	0,395093849
для фактору X5				
a_0	0,611569392	-	0,039730101	0,859459498
a_1	0,017459171	3,85826E-06	0,016184446	0,587707389
a_2	-	-	-	0,783054398

Таблиця 6

p-значення для багатфакторних моделей		
Параметр	Номер моделі	
	5	6
для факторів X1, X5		
a_0	0,006046984	-
a_1	1,8293E-07	6,98817E-07
a_2	4,59777E-07	3,08799E-07
для факторів X2, X3		
a_0	0,299298327	-
a_1	0,007458184	0,00189386
a_2	0,206975141	0,262299935
для факторів X3X4		
a_0	0,094883639	-
a_1	0,272023407	0,39808767
a_2	0,004538404	0,003459525

На наступному етапі було вирішено для обраних раніше комбінацій факторів застосувати методи машинного навчання з метою побудови регресійних моделей з більш високими характеристиками чим у моделей наведених у табл. 7. В якості методу був обраний один із ансамблевих методів – випадковий ліс. Даний метод заснований на використанні великої кількості слабких моделей (у нашому випадку бінарні дерева рішень) та усереднення їх результату на виході із моделі. Це один із популярніших методів серед методів машинного навчання. Для знаходження внутрішніх параметрів моделі була розроблена

програма на мові Python із використанням спеціальної бібліотеки для машинного навчання Scikit-learn. В якості гіперпараметрів моделі були використані: глибина дерева, рівень точності приросту інформативності, кількість неоднакових предикатів у вузлу дерева. Критерієм якості під час поділу вузла був використаний квадрат помилки. Порівняльна таблиця отриманих в наслідок машинного навчання моделей наведені у табл. 8.

Інформація табл. 8 показує, що найліпша модель виявилася також для факторів: податковий надходження, офіційні трансферти. Данна модель має високу точність апроксимації, що

Таблиця 7

Порівняння моделей

Фактор, номер моделі	Коефіцієнт детермінації, R ²	Критерій Фішера, F		Середній абсолютний відсоток помилки, MAPE
		розрахунковий	табличний	
Однофакторні моделі				
X1, 1	0,816457699	22,242	6,608	9,177
X1, 2	0,968057622	181,838	5,987	18,649
X1, 3	0,879104087	36,358	6,608	6,864
X2, 2	0,989260113	552,665	5,987	9,329
X2, 3	0,817332956	22,372	6,608	12,634
X4, 2	0,987934788	491,298	5,987	10,943
X4, 3	0,923496537	60,357	6,608	7,550
X5, 2	0,976954606	254,356	5,987	12,633
X5, 3	0,717291946	12,686	6,608	13,418
Багатофакторні моделі				
X1, X5, 5	0,999796805	9840,742	6,944	0,444
X1, X5, 6	0,999877638	20428,615	5,786	1,184

Таблиця 8

Порівняння багатофакторних моделей побудованих за допомогою випадкового лісу

Фактори моделі	Коефіцієнт детермінації, R ²	Критерій Фішера, F		Середній абсолютний відсоток помилки, MAPE
		розрахунковий	табличний	
X1, X5	0,971	67,987	5,786	5,0
X2, X3	0,941	31,894		7,0
X3, X4	0,917	22,206		8,7

підтверджує величини коефіцієнта детермінації ($R^2=0,971$) та середнього абсолютного відсотку помилки ($MAPE=5,0$). Критерій Фішера підтверджує статистичну значимість отриманої регресійної моделі ($67,987 > 5,786$).

Проте, порівнюючи отриману модель з моделлю за формулою 7 можна зробити висновок, що модель побудована за допомогою випадкового лісу виявилася гіршою чим багатофакторна лінійна регресійна модель. Це підтверджується порівнянням коефіцієнту детермінації та величинами MAPE моделей.

Висновки. Розроблені моделі прогнозування рівня доходів місцевих бюджетів України. Були запропоновані лінійні та нелі-

нійні однофакторній моделі, лінійні багатофакторні регресійні моделі. В якості альтернатив до вказаних моделей розроблені багатофакторні моделі за допомогою методу випадкового лісу. В наслідок порівняння запропонованих моделей була відібрана найліпша – багатофакторна лінійна регресійна модель, де в якості незалежних змінних використовуються податкові надходження та офіційні трансферти.

Перспективи подальших досліджень полягають у можливості підвищити якість оцінки рівня доходів місцевих бюджетів за рахунок застосування інших методів навчання з вчителем (наприклад, нейронних мереж).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- Західна О.Р., Петришин Х.Р. Бюджетна децентралізація: аналіз її впровадження в Україні та світі. *Молодий вчений*. 2022. № 4(104). С. 80–86. URL: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2022-4-104-18> (дата звернення: 05.06.2022).
- Кульчицький М.І., Пазовська Л.Е. Тенденції та проблеми формування доходів місцевих бюджетів в Україні. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2017. № 3(08). С. 296–301. URL: http://easterneurope-ebm.in.ua/journal/8_2017/56.pdf (дата звернення: 08.06.2022).
- Татарин Н.Б., Войтович В.В. Місцеві бюджети як фінансова база місцевого самоврядування. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2017. № 11. С. 159–162. URL: http://www.visnyk-ekonom.uzhnu.uz.ua/archive/11_2017ua/37.pdf (дата звернення: 08.06.2022).

4. Черновська М.М. Теоретичні підходи до визначення суті місцевих бюджетів та бюджетів місцевого самоврядування. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія»*. 2013. № 21. С. 202–205. URL: <https://ecj.oa.edu.ua/articles/2013/n21/43.pdf> (дата звернення: 08.06.2022).

5. Чуркіна І.Є., Бобошко Л.І. Роль місцевих бюджетів у зміцненні фінансової незалежності регіонів. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право*. 2014. № 5–6 (76–77). С. 141–149. URL: [http://zt.knute.edu.ua/files/2014/5-6\(76-77\)/uazt_2014_5-6_16.pdf](http://zt.knute.edu.ua/files/2014/5-6(76-77)/uazt_2014_5-6_16.pdf) (дата звернення: 08.06.2022).

6. Шулюк Б.С. Проблеми виконання місцевих бюджетів України. *Економіка і суспільство*. 2017. № 13. С. 1279–1282. URL: https://economyandsociety.in.ua/journals/13_ukr/213.pdf (дата звернення: 08.06.2022).

REFERENCES:

1. Zakhidna O.R., Petryshyn Kh.R. (2022) Biudzhethna detsentralizatsiia: analiz yii vprovadzhennia v Ukraini ta sviti [Budget decentralization: analysis of its implementation in Ukraine and the world]. *Molodyi vchenyi*, no. 4(104), pp. 80–86. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2022-4-104-18> (in Ukrainian)

2. Kulchytskyi M.I., Pazovska L.E. (2017) Tendentsii ta problemy formuvannia dokhodiv mistsevykh biudzhetyv v Ukraini [Tendencies and problems of local budget revenues formation in Ukraine]. *Skhidna Yevropa: ekonomika, biznes ta upravlinnia*, no. 3(08), pp. 296–301. Available at: http://easterneurope-ebm.in.ua/journal/8_2017/56.pdf (in Ukrainian)

3. Tataryn N.B., Vojtovych V.V. (2017) Mistsevi biudzhety yak finansova baza mistsevoho samovriaduvannia [Local budgets as a financial base of local self-government]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu*, no. 11, pp. 159–162. Available at: http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/11_2017ua/37.pdf (in Ukrainian)

4. Chernovska M.M. (2013) Teoretychni pidkhody do vyznachennia suti mistsevykh biudzhetyv ta biudzhetyv mistsevoho samovriaduvannia [Theoretical approaches to determining the essence of local budgets and local self-government budgets]. *Naukovi zapysky Natsionalnoho universytetu «Ostrozka akademiia»*, no. 21, pp. 202–205. Available at: <https://ecj.oa.edu.ua/articles/2013/n21/43.pdf> (in Ukrainian)

5. Churkina I.E., Boboshko L.I. (2014) Rol mistsevykh biudzhetyv u zmitsnenni finansovoi nezalezhnosti rehioniv [The role of local budgets in strengthening the financial independence of regions]. *Zovnishnia torhivlia: ekonomika, finansy, pravo*, no. 5–6 (76–77), pp. 141–149. Available at: [http://zt.knute.edu.ua/files/2014/5-6\(76-77\)/uazt_2014_5-6_16.pdf](http://zt.knute.edu.ua/files/2014/5-6(76-77)/uazt_2014_5-6_16.pdf) (in Ukrainian)

6. Shuliuk B.S. (2017) Problemy vykonannia mistsevykh biudzhetyv Ukrainy [Problems of implementation of local budgets of Ukraine]. *Ekonomika i suspilstvo*, no. 13, pp. 1279–1282. Available at: https://economyandsociety.in.ua/journals/13_ukr/213.pdf (in Ukrainian)