

УДК 332.1:330:34

DOI: 10.18524/2413-9998.2022.3(52).275787

Л. М. Зомчак,

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економічної кібернетики,
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, м. Львів, 79000, Україна
e-mail: lzomchak@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4959-3922>

М. І. Комар,

кандидат економічних наук,
доцент кафедри економічної кібернетики,
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, м. Львів, 79000, Україна

І. Ю. Карпа,

магістр,
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, м. Львів, 79000, Україна

ВЕКТОРНА АВТОРЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

У статті реалізовано векторну авторегресійну модель сталого розвитку Львівської області. Модель відображає три складові сталого розвитку: економічну, соціальну та екологічну, адже кожна з них описано регресійним рівнянням. У якості результуючої змінної для опису економічної складової сталого розвитку обрано валовий регіональний дохід Львівської області, як соціальну змінну використано наявний дохід на одну особу, а за екологічну складову відповідає показник витрат на охорону навколишнього середовища. Статистичні дані зібрано за 2000-2022 роки. Застосування моделі типу VAR дає змогу дослідити одночасний взаємний вплив трьох змінних, які описують сталий розвиток Львівщини. Модель відповідає вимогам адекватності, параметри моделі статистично значущі, лаг тривалістю один рік. Модель використана для прогнозування валового регіонального доходу, доходу на одну особу та витрат на охорону навколишнього середовища у Львівській області для наступних періодів.

Ключові слова: сталий розвиток, авторегресія, регіон, ВРП, дохід, прогноз.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Концепція сталого розвитку набула поширення у різних сферах та активно обговорюється впродовж останніх років. Як на глобальному, так і на регіональному рівні вона поєднує економічний, екологічний та соціальний підходи до ухвалення рішень з урахуванням необхідності мінімізації шкоди навколишньому середовищу та одночасного забезпечення соціально-економічного розвитку системи відповідного рівня. Очевидно, що регіональний сталий розвиток завжди буде сумісний із глобальним сталим розвитком, адже сталість системи забезпечується сталістю її складових. Необхідною умовою збалансованого сталого розвитку на рівні регіону є визначення детермінант, які його визначають, оцінювання їхніх критичних значень, прогнозування на майбутні періоди.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Проблеми сталого розвитку у різних їх аспектах викликають зацікавлення у науковців. Г. Бромен та К. Роберт [1] досліджували особливості стратегічного планування в контексті сталого розвитку. В. Бекермен [2] намагається відповісти на запитання, чи взагалі корисною є концепція сталого розвитку. С. Поланський та співавтори [3] досліджують роль та місце економічної складової у сталому розвитку, Т. Дентас та співавтори [4] звертаються до ще вужчої проблеми – ролі циркулярної економіки в досягненні цілей сталого розвитку, С. Сенгвен та М. Бхатія [5] досліджують вплив індустрії 4.0. на сталий розвиток. Також виділяють як проблему вплив окремих процесів та явищ на сталий розвиток, як у статті В. Сильвестре та Д. Тірка [6], яка присвячена впливу інновацій, чи С. Зекера [7] зі співавторами, які досліджують вплив інфраструктури на сталий розвиток.

В окремий напрямок можна виділити дослідження, присвячені кількісній оцінці, вимірюванню чи моделюванню сталого

розвитку. Так, Р. Костанза [8] та співавтори запропонували підхід до моделювання та вимірювання сталого розвитку, Й. Ші та співавтори [9] розробили інтегральний показник для оцінювання регіонального сталого розвитку, М. Гаралскі та Т. Тен [10] застосовують методи штучного інтелекту для вирішення цієї проблеми. Для моделювання на рівні регіону також застосовують кластерний аналіз (В. Бабенко та співавтори [11]), рейтингування (М. Вдовин та Т. Міщук [12]), показник ентропії (Х. Лянґ та співавтори [13]), просторові та панельні моделі (Л. Зомчак та Л. Коваль [14]), метод аналізу головних компонент (Ф. Тен та З. Лу [15]), інтегральні показники (М. Вдовин та О. Боднар [16]), регресійний аналіз (С. Йі, Е. Хіал-лі [17]) тощо.

Постановка завдання. Концепція сталого розвитку передбачає збалансований економічний, екологічний та соціальний розвиток. Кожна зі складових сталого розвитку може бути узагальнена відповідним статистичним показником, однак важливо дослідити взаємний вплив між усіма складовими. Застосування систем регресійних рівнянь дає змогу оцінити взаємний вплив кількох змінних, а авторегресійний підхід – ще й врахувати лагові залежності між змінними. Завдання дослідження полягає у визначенні основних детермінант сталого регіонального розвитку та дослідження взаємних залежностей між ними за допомогою векторного авторегресійного економетричного підходу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для побудови векторної авторегресійної моделі сталого розвитку для Львівської області обрано такі показники: валовий регіональний продукт, наявний дохід на одну особу та витрати на охорону природного середовища, дані за 2000-2020 роки по обраних показниках зібрано на сайті Головного управління статистики у Львівській області [18].

Першим кроком для побудови моделі є нормалізація та перевірка вхідних часових рядів на стаціонарність. Для

нормалізації прологарифмуємо вхідні дані і за допомогою розширеного тесту Діккі – Фуллера (ADF) перевіримо їх на стаціонарність.

Для початку перевіримо на стаціонарність валовий регіональний продукт (таблиця 1).

Таблиця 1

Перевірки часового ряду валового регіонального продукту на стаціонарність за тестом Діккі – Фуллера

		t-статистика	Ймовірність
Розширений тест Діккі – Фуллера (статистика)		-1,761476	0,3879
Критичні значення тесту	1%	-3,788030	
	5%	-3,012363	
	10%	-2,646119	

Джерело: розроблено авторами.

Як бачимо із рис. 1, ряд не є стаціонарним, адже значення критерію ADF більше, ніж критичне значення із рівнем значущості 1%. Тому потрібно перевірити на стаціонарність ще й перші і другі різниці кожного ряду. Значення критерію ADF для всіх вхідних часових рядів виявились меншими, ніж критичне значення із рівнем значущості 1% якраз для других різниць часових рядів, тому саме на їхній основі реалізовано модель.

На наступному етапі потрібно визначити лаг. Для цього припустимо, що максимальне його значення дорівнює 4. Застосуємо тест на максимальну довжину лагів – Lag Length Criteria. Результати тесту наведені у таблиці 2.

Бачимо з таблиці 2, що за 3 із 5 критеріїв оптимальним є лаг, що дорівнює одиниці.

Далі побудуємо графіки функцій імпульсних відгуків (рис. 1). Як бачимо із графіку 1, у другому періоді система не є стабільною, тому було коректно обрано лаг, що рівний одиниці.

Також побудуємо графіки декомпозицій дисперсії помилок (рис. 2).

Таблиця 2

Тест на максимальну довжину лагу VAR-моделі

Лаг	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	15,05	-	4,87e-05	-1,41	-1,27	-1,4
1	73,56	89,5*	1,47e-07*	-7,24	-6,65*	-7,18
2	75,7	2,51	3,76e-07	-6,43	-5,41	-6,33
3	82,0	5,18	7,45e-07	-6,12	-4,65	-5,97
4	106,23	11,41	3,16e07	-8,91*	-6,0	-7,72*

Джерело: розроблено авторами.

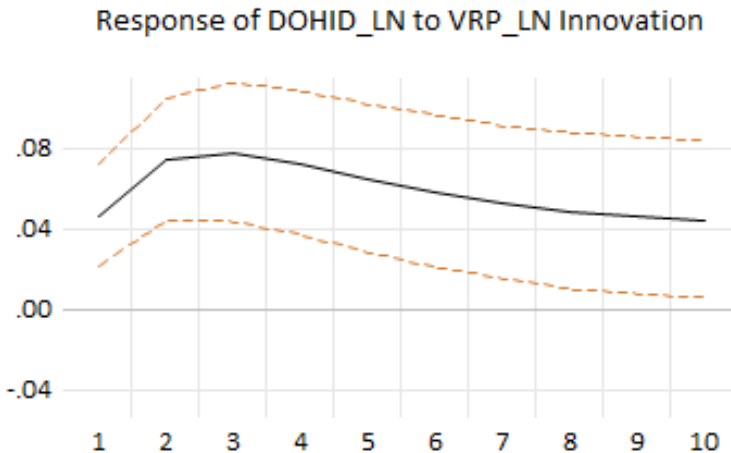


Рис. 1. Імпульсні відгуки (вплив зміни наявного доходу на одну особу на зміну ВРП)

Джерело: розроблено авторами.

Також із рисунку 2 видно, що у другому періоді відбуваються найбільш різкі реакції.

Після специфікації рівнянь можна переходити до оцінювання параметрів VAR-моделі.

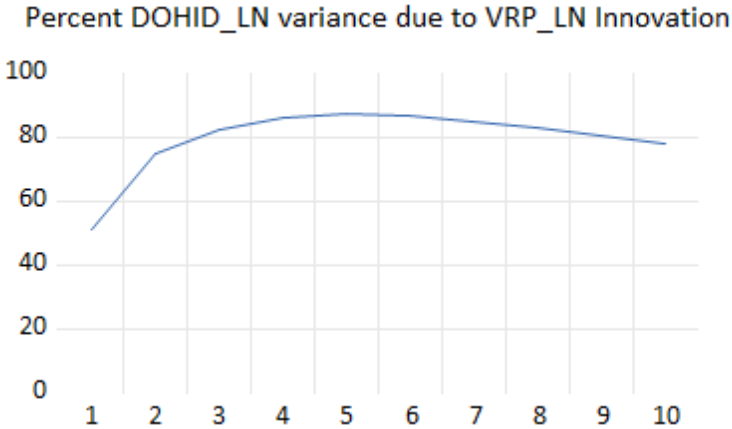


Рис. 2. Декомпозиція дисперсії помилок (вплив зміни наявного доходу на одну особу на зміну ВРП)

Джерело: розроблено авторами.

Рівняння VAR-моделі сталого розвитку Львівської області з параметрами набуде вигляду:

$$\begin{aligned}
 VRP_{LN} &= 1,1VRP_{LN(-1)} - 0,17DOHID_{LN(-1)} + \\
 &+ 0,061SEREDOV_{LN(-1)} - 0,09DOHID_{LN} \quad , \\
 DOHID_{LN} &= 1,06VRP_{LN(-1)} + 0,054DOHID_{LN(-1)} - \\
 &- 0,22SEREDOV_{LN(-1)} + 0,64 \quad , \\
 SEREDOV_{LN(-1)} &= -0,3VRP_{LN(-1)} + 0,33DOHID_{LN(-1)} + \\
 &+ 0,9SEREDOV_{LN(-1)} + 0,59 \quad ,
 \end{aligned}$$

де VRP_{LN} – прологарифмований валовий регіональний продукт, $VRP_{LN(-1)}$ – прологарифмований валовий регіональний продукт з лагом одиниця; $DOHID_{LN}$ та $DOHID_{LN(-1)}$ – прологарифмований дохід на одну особу в поточному та попередньому періодах; $SEREDOV_{LN(-1)}$ та $SEREDOV_{LN(-1)}$ – витрати на охорону природного середовища у поточному та попередньому періодах відповідно.

Відношення детермінації для рівняння ВРП становить 0,99, для рівняння доходу також 0,99, а для рівняння витрат на навколишнє середовище 0,98, тобто майже всю дисперсію відповідних результуючих змінних вдалося пояснити за допомогою рівнянь регресії. Перевірка рівнянь на адекватність за допомогою статистик Фішера підтвердила їх адекватність.

Фактичні та прогнозні значення показників сталого розвитку Львівської області наведено на рис. 3, а критерії якості прогнозу на рис. 4.

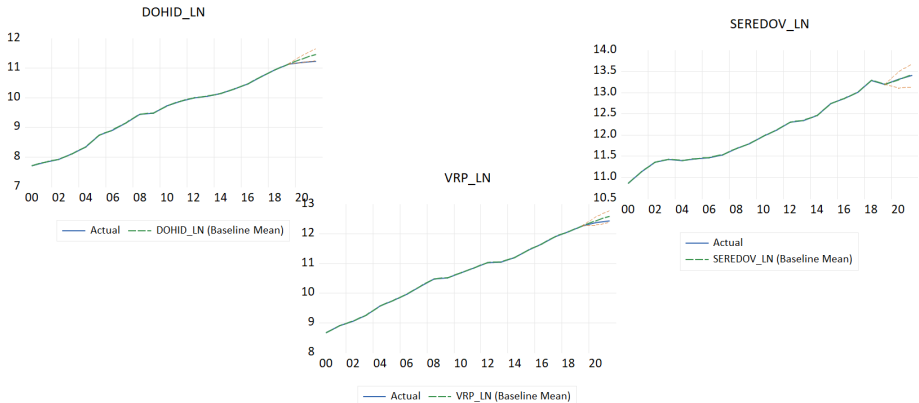


Рис. 3. Фактичні та прогнозні значення наявного доходу, витрат на охорону середовища та ВРП Львівської області

Джерело: розроблено авторами.

Як бачимо із графіків на рисунку 3, побудова модель дає більш оптимістичний прогноз динаміки розвитку ВРП та наявного доходу на одну особу у 2020 та 2021 роках, а от динаміка витрат на охорону природного середовища практично співпадає, але теж є більш оптимістична динаміка.

Variable	Inc. obs.	RMSE	MAE	MAPE	Theil
DOHID_LN	2	0.178248	0.166266	1.482060	0.007889
SEREDOV_LN	2	0.009867	0.009778	0.073140	0.000369
VRP_LN	2	0.116640	0.108177	0.870943	0.004680

RMSE: Root Mean Square Error
MAE: Mean Absolute Error
MAPE: Mean Absolute Percentage Error
Theil: Theil inequality coefficient

Рис. 4. Оцінки якості прогнозу показників сталого розвитку Львівської області

Джерело: розроблено авторами.

Висновки з проведеного дослідження. Теоретичне обґрунтування запропонованої векторної авторегресійної моделі сталого розвитку Львівської області базується на концепції трьох «стовпів» – економічного, екологічного та соціального, на які спирається сталий розвиток. Для кожної зі складових сталого розвитку підібрано відповідний показник, який її описує: економічні – валовий регіональний продукт, соціальна – наявний дохід на одну особу, екологічні – витрати на охорону природи. Оптимальний лаг для змінних одиниця. З використанням VAR-моделі підтверджено, що найбільший позитивний вплив на ВРП Львівщини має ВРП у попередньому періоді, на наявний дохід на одну особу також найбільше впливає ВРП у попередньому періоді,

а на витрати на охорону природи найбільше впливає обсяг цих витрат у попередньому періоду. Водночас збільшення доходів населення негативно впливає на ВРП, а збільшення витрат на охорону природи негативно впливає на дохід населення.

Зараз, на превеликий жаль, бачимо і розуміємо, що усі показники значно погіршуються через вплив воєнних дій, адже економіка у воєнному стані не здатна забезпечити надалі позитивну динаміку розвитку, майже, відсутній експорт, збільшується імпорт, через що й підвищується інфляція, також значно погіршується й екологічний чинник через велику забрудненість, а також й негативний вплив все це має й на соціальний чинник, адже скорочується чисельність населення, скорочуються робочі місця, знижується середня заробітна плата, велика кількість живе в жахливих умовах, без доступу до води та нормальної їжі. Незважаючи на те, що Львівщина не зазнала значних ушкоджень і їй навіть вдається перевиконувати планові показники, в умовах, коли потрібно відстоювати країну у війні, проблеми сталого розвитку відходять на інший план, але уже після перемоги України відбудова відбуватиметься на засадах сталого розвитку.

Список використаної літератури

1. Broman G. I., Robèrt K. H. A framework for strategic sustainable development. *Journal of cleaner production*. 2017. 140. 17–31.
2. Beckerman W. ‘Sustainable development’: is it a useful concept? *The Economics of Sustainability*. Routledge, 2017. 161–179.
3. Polasky S., Kling C. L., Levin S. A., Carpenter S. R., Daily G. C., Ehrlich P. R., Lubchenco J. Role of economics in analyzing the environment and sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2019. 116(12). 5233–5238.
4. Dantas T. E. T., de-Souza E. D., Destro I. R., Hammes G., Rodriguez C. M. T., Soares S. R. How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can

- contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*. 2021. 26, 213–227.
5. Sangwan S. R., Bhatia M. P. S. Sustainable development in industry 4.0. *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development*. 2020. 39–56.
 6. Silvestre B. S., Țircă D. M. Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *Journal of cleaner production*. 2019. 208. 325–332.
 7. Thacker S., Adshead D., Fay M., Hallegatte S., Harvey M., Meller H., Hall J. W. Infrastructure for sustainable development. *Nature Sustainability*. 2019. 2(4). 324–331.
 8. Costanza R., Daly L., Fioramonti L., Giovannini E., Kubiszewski I., Mortensen L. F., Wilkinson R. Modelling and measuring sustainable wellbeing in connection with the UN Sustainable Development Goals. *Ecological Economics*. 2016. 130. 350–355.
 9. Shi Y., Ge X., Yuan X., Wang Q., Kellett J., Li F., Ba K. An integrated indicator system and evaluation model for regional sustainable development. *Sustainability*. 2019. 11(7). 2183.
 10. Goralski M. A., Tan T. K. Artificial intelligence and sustainable development. *The International Journal of Management Education*. 2020. 18(1), 100330.
 11. Babenko V., Zomchak L., Nehrey M. Ecological and economic aspects of sustainable development of Ukrainian regions. *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences. 2021. 280. 02003.
 12. Вдовин М. Л., Міщук Т. Рейтингування регіонів України за показниками добробуту населення. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2022. № 1 (91). С. 3–9.
 13. Liang X., Si D., Zhang X. Regional sustainable development analysis based on information entropy – Sichuan Province as an example. *International journal of environmental research and public health*. 2017. 14(10). 1219.
 14. Зомчак Л., Коваль Л. Сталій розвиток регіонів України: просторово-панельний підхід. *Інфраструктура ринку*. 2022. Вип. 65. С. 211–215.
 15. Tan F., Lu Z. Assessing regional sustainable development through an integration of nonlinear principal component analysis and Gram Schmidt orthogonalization. *Ecological Indicators*. 2016. № 63. С. 71–81.
 16. Вдовин М. Л., Боднар О. В. Інтегральне оцінювання зовнішньоекономічної діяльності регіонів України. *Причорноморські економічні студії*. 2019. С. 217–224.

17. Yi S., Xiao-li A. Application of threshold regression analysis to study the impact of regional technological innovation level on sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. № 89. С. 27–32.
18. Головне управління статистики у Львівській області: веб-сайт. URL: <https://www.lv.ukrstat.gov.ua>.

Стаття надійшла 02.11.2022 р.

Larysa Zomchak,

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics,
Ivan Franko National University of Lviv
1, University St., Lviv, 79000, Ukraine
e-mail: lzomchak@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4959-3922>

Mariana Komar,

Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics,
Ivan Franko National University of Lviv
1, University St., Lviv, 79000, Ukraine

Iryna Karpa,

master's degree,
Ivan Franko National University of Lviv
1, University St., Lviv, 79000, Ukraine

VECTOR AUTOREGRESSIVE MODEL OF LVIV REGION SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The concept of sustainable development combines economic, ecological and social approaches to decision-making, taking into account the need to minimize damage to the environment and simultaneously ensure the socio-economic development of the system at the appropriate level. It is obvious that regional sustainable development will always be compatible with global sustainable development, because the sustainability of the system is ensured by the sustainability of its components. The article implements a vector autoregression model of sustainable development of the Lviv region. The model shows three components of sustainable development: economic, social and environmental, but the skin with them is described by a regression level. The gross regional income of the Lviv region was chosen as the outcome variable for describing the economic component of sustainable development, the available income per person was used as a social variable, and the indicator of environmental protection costs is responsible for the environmental component. Statistical data were collected for the years 2000-2022. The application of a VAR type model makes it possible to investigate the simultaneous mutual influence of three variables that describe the sustainable development of Lviv Oblast. The model meets the requirements of adequacy, the parameters of the model are statistically significant, the lag is one year long. The model was used to forecast gross regional income, income per person and expenses for environmental protection in the Lviv region for the following periods. The VAR model confirmed that the GRP in the previous period has the greatest

positive impact on the GRP of Lviv Oblast, the disposable income per person is also most affected by the GRP in the previous period, and the costs for nature protection are the largest amount of these costs in the previous period. At the same time, an increase in the population's income has a negative effect on GRP, and an increase in the costs of nature protection has a negative effect on the population's income. Despite the fact that Lviv region did not suffer significant damage and even manages to exceed the planned indicators, in the conditions when it is necessary to defend the country in the war, the problems of sustainable development are relegated to another plan, but after the victory of Ukraine, the reconstruction will take place on the basis of sustainable development.

Key words: sustainable development, autoregression, region, GRP, income, forecast.

References

1. Broman, G. I., & Robèrt, K. H. (2017). A framework for strategic sustainable development. *Journal of cleaner production*, 140, 17–31.
2. Beckerman, W. (2017). 'Sustainable development': is it a useful concept? In *The Economics of Sustainability* (pp. 161-179). Routledge.
3. Polasky, S., Kling, C. L., Levin, S. A., Carpenter, S. R., Daily, G. C., Ehrlich, P. R., ... & Lubchenco, J. (2019). Role of economics in analyzing the environment and sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(12), 5233–5238.
4. Dantas, T. E. T., de-Souza, E. D., Destro, I. R., Hammes, G., Rodriguez, C. M. T., & Soares, S. R. (2021). How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 213–227.
5. Sangwan, S. R., & Bhatia, M. P. S. (2020). Sustainable development in industry 4.0. *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development*, 39–56.
6. Silvestre, B. S., & Țîrcă, D. M. (2019). Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *Journal of cleaner production*, 208, 325–332.
7. Thacker, S., Adshead, D., Fay, M., Hallegatte, S., Harvey, M., Meller, H., ... & Hall, J. W. (2019). Infrastructure for sustainable development. *Nature Sustainability*, 2(4), 324–331.
8. Costanza, R., Daly, L., Fioramonti, L., Giovannini, E., Kubiszewski, I., Mortensen, L. F., ... & Wilkinson, R. (2016). Modelling and measuring sustainable wellbeing in connection with the UN Sustainable Development Goals. *Ecological Economics*, 130, 350–355.

9. Shi, Y., Ge, X., Yuan, X., Wang, Q., Kellett, J., Li, F., & Ba, K. (2019). An integrated indicator system and evaluation model for regional sustainable development. *Sustainability*, 11(7), 2183.
10. Goralski, M. A., & Tan, T. K. (2020). Artificial intelligence and sustainable development. *The International Journal of Management Education*, 18(1), 100330.
11. Babenko, V., Zomchak, L., & Nehrey, M. (2021). Ecological and economic aspects of sustainable development of Ukrainian regions. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 280, p. 02003). EDP Sciences.
12. Vdovyn, M., & Mishchul, T. (2022). Reytynhuvannya rehioniv Ukrayiny za pokaznykamy dobrobutu naselennya. *Visnyk Sums'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu*, (1 (91)), 3–9.
13. Liang, X., Si, D., & Zhang, X. (2017). Regional sustainable development analysis based on information entropy – Sichuan Province as an example. *International journal of environmental research and public health*, 14(10), 1219.
14. Zomchak L., Koval L. (2022) Stalyy rozvytokrehioniv Ukrayiny: prostorovo-panel'nyy pidkhid. *Infrastruktura rynku*, no. 65, 211–215.
15. Tan, F., & Lu, Z. (2016). Assessing regional sustainable development through an integration of nonlinear principal component analysis and Gram Schmidt orthogonalization. *Ecological Indicators*, 63, 71–81.
16. Vdovyn, M. L., & Bodnar, O. B. (2019). Intehral'ne otsynuyvannya zovnishn'oekonomichnoyi diyal'nosti rehioniv Ukrayiny. *Prychornomors'ki ekonomichni studiyi*, 217–224.
17. Yi, S., & Xiao-li, A. (2018). Application of threshold regression analysis to study the impact of regional technological innovation level on sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 27–32.
18. Main Statistical Office in Lviv Region. URL: <https://www.lv.ukrstat.gov.ua>.