

УДК 528.4:332.3
UDC 528.4:332.3

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-157-165

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧИННИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ЗЕМЕЛЬ РЕГІОНІВ**

MATHEMATICAL MODELING OF FACTORS OF EFFICIENCY OF LAND USE OF REGIONS



Штерндок Ернест Сергійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: shterndok@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-1107-7401>



Мамонов Костянтин Анатолійович, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-0797-2609>



Гой Василь Васильович, кандидат економічних наук, докторант кафедри економіки та маркетингу, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: vasssgoi@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1822-4478>



Радзінська Юлія Борисівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: radzinskayayb@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1661-7975>

Анотація. Доведено, що формування сучасної системи земельних відносин спрямовано на зростання ефективності використання земель на регіональному рівні. На процес землекористування впливають сукупність чинників: функціональні, економічні, просторові, екологічні, інвестиційні, стейкхолдерні. У цьому контексті важливого значення має формування кількісної основи для

прийняття рішень шляхом застосування інструментарію математичного моделювання, який включає сукупність напрямів, методів і моделей. У процесі математичного моделювання чинниками ефективності використання земель регіонів здійснюється їх оцінка та визначення інтегрального показника.

Узагальнені та систематизовані теоретичні підходи до визначення й використання математичного моделювання у системі землекористування, що надало створити умови для розробки відповідної теоретико-методологічної основи й напрямів реалізації.

Досягнута мета щодо визначення практичних аспектів математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів. Для досягнення поставленої мети вирішені завдання: оцінені чинники ефективності використання земель регіонів; визначено інтегральний показник оцінки рівня ефективності використання земель регіонів; запропоновані напрями математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів.

Запропоновані напрями математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів: формування інформаційно-аналітичного забезпечення рівня ефективності використання земель регіонів; оцінка чинників рівня ефективності використання земель; визначення інтегрального показника рівня ефективності використання земель регіонів; розробка математичних моделей впливу чинників на інтегральний показник; визначення критеріїв адекватності математичних моделей; інтерпретація отриманих результатів.

У результаті дослідження визначені чинники та інтегральний показник рівня ефективності використання земель регіонів. У більшості регіонів відбувається посередній рівень ефективності використання земель. Встановлено, що зниження ефективності використання земель відбувається у регіонах, де відбуваються бойові дії або окупація територій, або у прифронтових областях. Доведено високий рівень впливу функціональних, економічних, просторових, екологічних, інвестиційних чинників на інтегральний показник. Знижується значення стейкхолдерних показників у системі землекористування. Отже, сформована кількісна основа для прийняття рішень щодо забезпечення ефективності використання земель на регіональному рівні.

Ключові слова: ефективність, використання земель, регіони, оцінка, земельні відносини, математичного моделювання, чинники.

Вступ. Формування сучасної системи земельних відносин спрямовано на зростання ефективності використання земель на регіональному рівні. На процес землекористування впливають сукупність чинників: функціональні, економічні, просторові, екологічні, інвестиційні, стейкхолдерні. У цьому контексті важливого значення має формування кількісної основи для прийняття рішень шляхом застосування інструментарію математичного моделювання, який включає сукупність напрямів, методів і моделей. У процесі математичного моделювання чинниками ефективності використання земель регіонів здійснюється їх оцінка та визначення інтегрального показника.

Проблемними питаннями залишаються формування інформаційно-аналітичного забезпечення для математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів. Особливого значення має повнота та достовірність отриманої інформації. Важливим питанням є практичні аспекти застосування інструментарію математичного моделювання із використання критеріїв адекватності. На основі результатів математичного моделювання розробляються науково обґрунтовані рекомендації для забезпечення ефективності використання земель регіонів.

Таким чином, тема дослідження щодо математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів є актуальною.

Огляд існуючих теоретичних розробок. Математичне моделювання характеризується як один з основних методів дослідження систем. Він передбачає створення концептуальної моделі об'єкта дослідження, її формалізацію та перетворення у математичну або комп'ютерну модель, перевірку адекватності й подальше дослідження отриманої моделі за допомогою аналітичних або чисельних методів і сучасних комп'ютерних технологій [1].

Математичне моделювання є процесом застосування математики до практичної задачі з метою її розуміння [2]. На сутнісних характеристиках математичного моделювання зосереджується увага у роботах [3–7].

Функціональні аспекти здійснення математичного моделювання систем виокремлені у розробках [8, 9]. У цьому контексті математичне моделювання комплекс дій, спрямований на одержання інформації про об'єкт або про процеси, що протікають у ньому шляхом відтворення за допомогою математичної моделі явищ, що відбуваються, зі збереженням їх логічної структури, взаємозв'язків і розташування у часі [10, 11].

Для здійснення математичного моделювання виокремлюються чинники, що впливають на процеси регіонального розвитку, що дозволяє визначити тенденції їх змін у контексті розробки й реалізації науково обґрунтованих рекомендацій [12].

Особливості формування кількісної основи шляхом застосування інструментарію математичного моделювання у системі земельних відносин територіальних громад представлені у роботах [13–15].

На напрямах та особливостях здійснення математичного моделювання у системі територіального розвитку використання земель зосереджена увага у роботах [16–19].

Таким чином, узагальнені та систематизовані теоретичні підходи до визначення й використання математичного моделювання у системі землекористування, що надало створити умови для розробки відповідної теоретико-методологічної основи й напрямів реалізації.

Метою дослідження є визначення практичних аспектів математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів. Для досягнення поставленої мети вирішуються завдання:

- оцінити чинники ефективності використання земель регіонів;
- визначити інтегральний показник оцінки рівня ефективності використання земель регіонів;
- запропонувати напрями математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів.

Виклад основного матеріалу. Для математичного моделювання здійснена оцінка чинників ефективності використання земель регіонів. Представлена оцінка здійснюється відповідно наступних факторів: функціональні, економічні, просторові, екологічні, інвестиційні, стейкхолдерні. Результати визначення представлених чинників висвітлені на рис. 1 – 6.

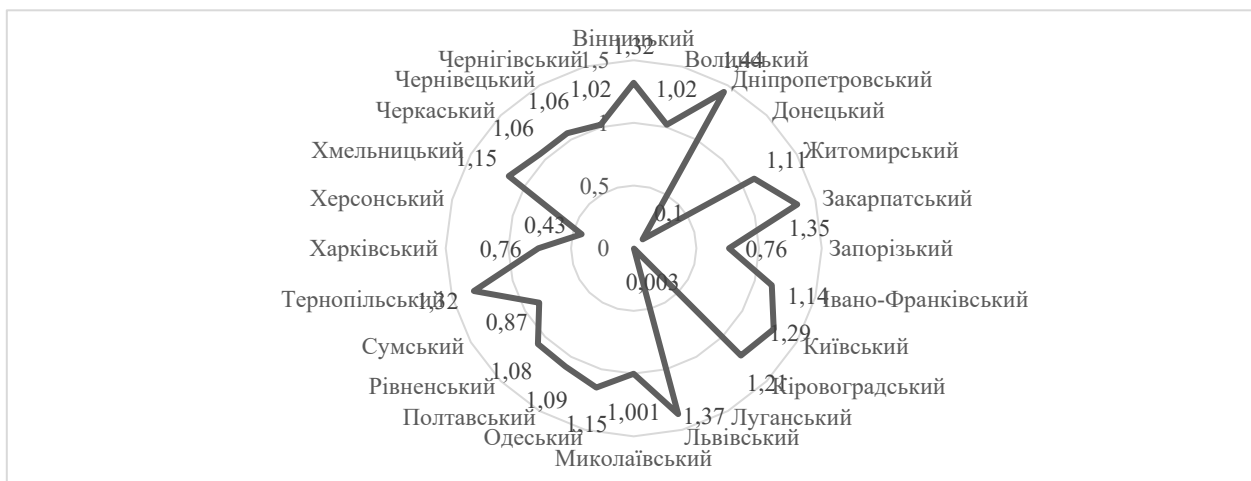


Рисунок 1 – Результати оцінки функціональних чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 1 – Results assessment of functional factors of efficiency of land use of regions, units

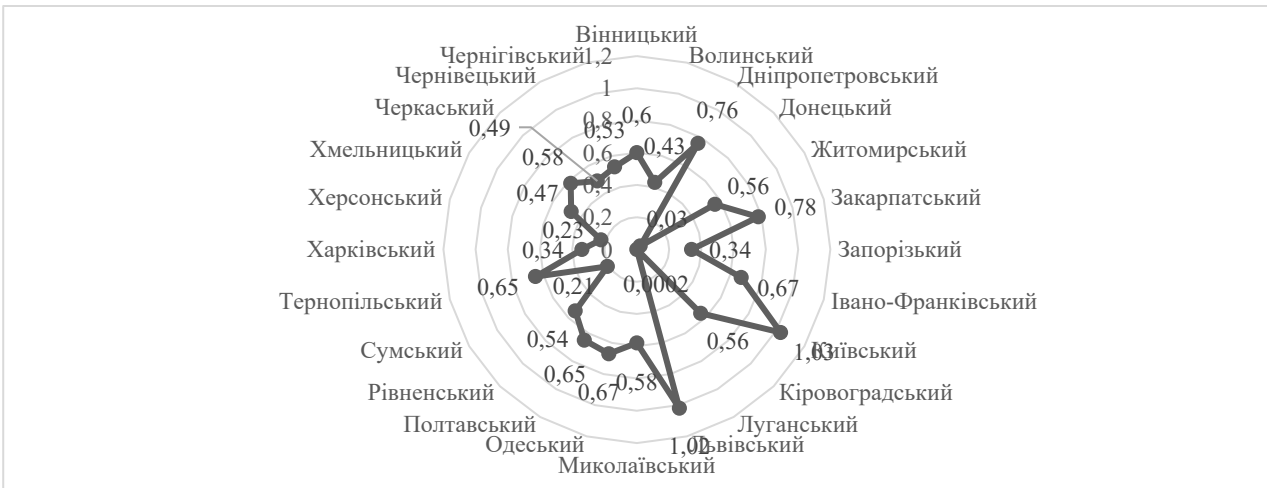


Рисунок 2 – Результати оцінки економічних чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 2 – Results assessment of economic factors of efficiency of land use of regions, units



Рисунок 3 – Результати оцінки просторових чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 3 – The results of the evaluation of spatial factors of efficiency of land use of regions, units

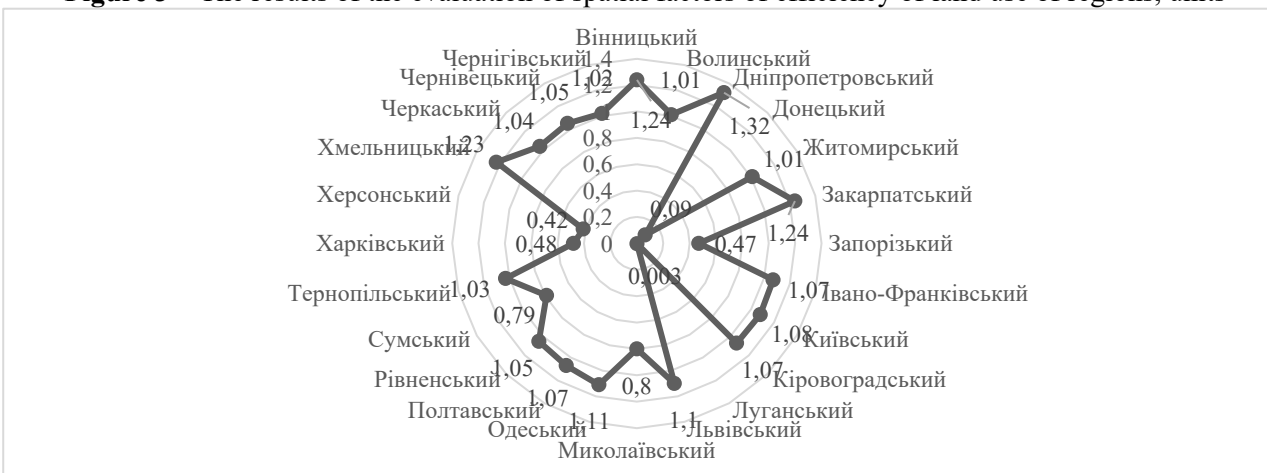


Рисунок 4 – Результати оцінки екологічних чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 4 – Results assessment of environmental factors of land use efficiency, units



Рисунок 5 – Результати оцінки інвестиційних чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 5 – Results assessment of investment factors of efficiency of land use of regions, units



Рисунок 6 – Результати оцінки стейкхолдерних чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 6 – Results assessment of stakeholder efficiency of land use of regions, units

Результати оцінки інтегрального показника оцінки рівня ефективності використання земель регіонів визначені на рис. 7.

Запропоновані напрями математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів:

- формування інформаційно-аналітичного забезпечення рівня ефективності використання земель регіонів;
- оцінка чинників рівня ефективності використання земель;
- визначення інтегрального показника рівня ефективності використання земель регіонів;
- розробка математичних моделей впливу чинників на інтегральний показник;
- визначення критеріїв адекватності математичних моделей;
- інтерпретація отриманих результатів.

Результати математичного моделювання представлені у табл. 1.

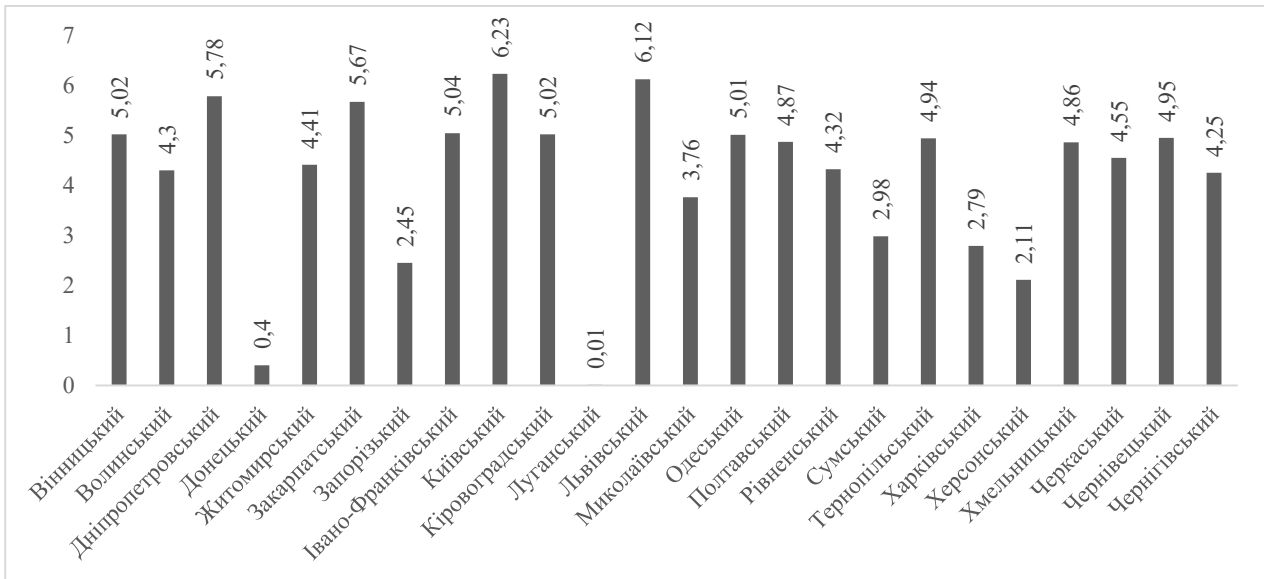


Рисунок 7 – Результати оцінки інтегрального показника оцінки рівня ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 7 – The results of an integral assessment of the level of efficiency of land use of regions, units

Таблиця 1 – Результати математичного моделювання впливу чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Table 1 – Results of mathematical modeling of the impact of the factors of efficiency of land use of regions, units

Математична модель	R^2
$y = 4,256 * x_1 + 0,11$	0,943
$y = 5,903 * x_2 + 1,03$	0,863
$y = 4,377 * x_3 + 0,39$	0,892
$y = 4,347 * x_4 + 0,21$	0,911
$y = 5,639 * x_5 + 1,07$	0,862
$y = 4,874 * x_6 + 2,65$	0,321

y – інтегральний показник рівня використання земель регіонів, відн. од.; $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ – функціональні, економічні, просторові, екологічні, інвестиційні, стейкхолдерні чинники, відн. од.; R^2 – коефіцієнт детермінації, відн. од.

Критерії адекватності математичних моделей (F, t – критерії, критерії перевірки на гомо або гетероскедастичність, критерій Дарбіна-Уотсона) свідчать про повноту та достовірність встановлених зв'язків між чинниками рівнями ефективності використання земель регіонів.

Висновки. Таким чином, у результаті дослідження визначені чинники та інтегральний показник рівня ефективності використання земель регіонів. У більшості регіонів відбувається посередній рівень ефективності використання земель. Встановлено, що зниження ефективності використання земель відбувається у регіонах, де відбуваються бойові дії або окупація територій, або у прифронтових областях. Доведено високий рівень впливу функціональних, економічних, просторових, екологічних, інвестиційних чинників на інтегральний показник. Знижується значення стейкхолдерних показників у системі землекористування. Отже, сформована кількісна основа для прийняття рішень щодо забезпечення ефективності використання земель на регіональному рівні.

Перелік посилань

1. Семенова І. Ю. Математичні моделі МСС: навчальний підручник. Київ, 2014. 82 с.
2. Niss M., Blum W., Galbraith P. Introduction. Modelling and Applications in Mathematics Education. New ICM Study Series, 2007. vol 10. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1_1
3. Станжицький О. М., Таран Є. Ю., Гординський Л. Д. Основи математичного моделювання. Київський університет, 2006. 96 с.
4. Blum W. Anwendungsbezüge im Mathematik-unterricht –Trends und Perspektiven. Trends und Perspektiven. Schriftenreihe Didaktik der Mathematik. 1996. № (23). Pp. 15–38.
5. Borromeo Ferri R. On the influence of mathematical thinking styles on learners' modelling behavior. Journal für Mathematik-Didaktik, 2010. № 31(1). Pp. 86–95.
6. Kutluca T., Kaya D. Mathematical modelling: A retrospective overview. Journal of Computer and Education Research, 2023. №11 (21). Pp. 240–274. <https://doi.org/10.18009/jcer.1242785>
7. Maaß K. What are modelling competencies? ZDM, 2006. № 38(2). Pp. 113–142.
8. Кваско М. З., Ладієва Л. Р., Піргач М. С. Математичне моделювання та ідентифікація одно- і багатовимірних систем: навч. посіб. К.: НТУУ «КПІ», 2006, 308 с.
9. Жученко А. І., Ладієва Л. Р., Піргач М. С., Жураковський Я. Ю. Математичне моделювання процесів і систем: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 351 с.
10. Burrows C. R. Fluid power – progress in a key technology. JSME International Journal, Series B, 1994. 701 p.
11. Матвійчук В. А., Веселовська Н. Р., Шаргородський С. А. Математичне моделювання новітніх технологічних систем: Монографія. Вінниця, 2021. 193 с.
12. Головачов В. В. Математичне моделювання регіонального розвитку. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2022. № 202. С. 48 – 61. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/273621>
13. Канівець О. М., Мамонов К. А., Лю Чан. Розробка методу інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад. Комунальне господарство міст. Серія: Інженерні науки і архітектура. 2022. Том 4. Вип. 171. С. 87–91.
14. Канівець О. М. Формування моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад: дис.. канд. техн. наук. Харків, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2023. 243 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/63882/1/Дисертація%20Канівець%20О.М.pdf>
15. Штерндок Е. С. Моделювання впливу просторових факторів на оцінку та використання земель мегаполісу: дис...канд. техн. наук: 05.24.04. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2017. 246 с.
16. Мамонов К. А., Метешкін К. О., Гой В. В., В'яткін Р. С. Математичне моделювання чинників, що впливають на функціонування складних систем територіального розвитку використання земель регіонів. Комунальне господарство міст. Серія: Інженерні науки і архітектура. 2024. Том 6. Вип. 187. С. 180–184. URL: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6404/632>
17. Мамонов К. А., Пілічева М. О., Фролов В. О., В'яткін Р. С., Войтенко О. Р. Математичне моделювання показників геопросторового розвитку територіальних громад. Український журнал прикладної економіки та техніки. 2024. Том 9. № 3. С. 287–292. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-3-50>
18. Mamonov K., Holovachov V., Horb O., Palamar A. Integrated Method for Assessing Information Support of Real Estate Cadastre at Regional Level. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», Oct 2024, Volume 2024, p. 1–5. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2024510086>
19. Mamonov K., Velychko V., Holovachov V., Kovalenko L. Theoretical and methodological provisions regarding the development and implementation of an integral method for assessing the level of information support of the multipurpose real estate cadastre at the regional level. Ukrainian Metrological Journal. 2023. № 2. Pp. 40–51.

MATHEMATICAL MODELING OF FACTORS OF EFFICIENCY OF LAND USE OF REGIONS

Shterndok Ernest, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: shterndok@ukr.net, tel. +380934289234, <https://orcid.org/0000-0003-1107-7401>

Mamonov Kostiantyn, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, <http://orcid.org/0000-0002-0797-2609>

Goi Vasyly, PhD (Candidate of Economic Science), Doctoral Candidate at the Department of Economics and Marketing, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine, e-mail: vasssgoi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1822-4478>

Radzinska Yuliia, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: radzinskayayb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1661-7975>

Summary. It is proved that the formation of a modern system of land relations is aimed at increasing the efficiency of land use at the regional level. The process of land use is influenced by the set of factors: functional, economic, spatial, environmental, investment, stakeholder. In this context, the formation of a quantitative basis for decision -making is important through the use of mathematical modeling tools, which includes a set of directions, methods and models. In the process of mathematical modeling, the factors of efficiency of land use of regions are evaluated and determining the integral indicator.

Generalized and systematized theoretical approaches to the definition and use of mathematical modeling in the land use system, which gave to create conditions for the development of a corresponding theoretical and methodological basis and areas of implementation.

The goal has been achieved to identify the practical aspects of mathematical modeling of factors of efficiency of land use of regions. To achieve this goal, the tasks are solved: assessed factors of efactivity of land use of regions; The integral indicator of the level of efficiency of land use of regions is determined; The directions of mathematical modeling of factors of efficiency of land use of regions are proposed. Proposed directions of mathematical modeling of factors of efficiency of land use of regions: formation of information and analytical construction of the level of efficiency of land use of region; assessment of factors of the level of efficiency of land use; determining the integral indicator of the level of efficiency of land use of regions; development of mathematical models of influence of factors on the integral indicator; determination of criteria for adequacy of mathematical models; Interpretation of the results.

As a result of the study, the factors and integral indicator of the level of efficiency of land use of the regions are determined. In most regions, there is a mediocre level of land use efficiency. It is established that the efficiency of land use occurs in the regions where hostilities or occupation of territories or in the frontal areas. A high level of influence of functional, economic, spatial, environmental, investment factors on an integral indicator has been proven. The value of stakehold indicators in the land use system is reduced. Therefore, a quantitative basis for making decisions to ensure the efficiency of land use at the regional level.

Keywords: efficiency, land use, regions, valuation, land relations, mathematical modeling, factors.

References

1. Semenova, I. Yu. (2014) Mathematical models of MSC: a textbook. Kyiv, 82 p.
2. Niss, M., Blum, W., Galbraith, P. (2007) Introduction. Modelling and Applications in Mathematics Education. New ICMI Study Series, Vol. 10. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1_1
3. Stanzhitsky, O. M., Taran, E. Yu., Gordynsky, L. D. (2006) Fundamentals of mathematical modeling. Kyiv University, 96 p.

4. Blum, W. (1996) Anwendungsbezüge im Mathematik-unterricht –Trends und Perspektiven. Trends und Perspektiven. Schriftenreihe Didaktik der Mathematik. № (23). Pp. 15–38.
5. Borromeo, Ferri R. (2010) On the influence of mathematical thinking styles on learners' modelling behavior. Journal für Mathematik-Didaktik. № 31(1). Pp. 86–95.
6. Kutluca, T., Kaya, D. (2023) Mathematical modelling: A retrospective overview. Journal of Computer and Education Research. №11 (21). Pp. 240-274. <https://doi.org/10.18009/jcer.1242785>
7. Maaß, K. (2006) What are modelling competencies? ZDM. № 38(2). Pp. 113–142.
8. Kvasko, M. Z., Ladiyeva, L. R., Pirgach, M. S. (2006) Mathematical modeling and identification of one- and multidimensional systems: textbook a manual. K.: NTUU «KPI», 308 p.
9. Zhuchenko, A. I., Ladiyeva, L. R., Pirgach, M. S., Zhurakovsky, Ya. Yu. (2021) Mathematical modeling of processes and systems: textbook. a manual. Kyiv: KPI them. Igor Sikorsky, 351 p.
10. Burrows, C. R. (1994) Fluid power – progress in a key technology. JSME International Journal, Series B, 701 p.
11. Matviychuk, V. A., Veselovskaya, N. R., Shargorod, S. A. (2021) Mathematical modeling of the latest technological systems: monograph. Vinnitsa, 193 p.
12. Golovachev, V. V. (2022) Mathematical modeling of regional development. Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport. № 202. pp. 48–61. <http://csw.kart.edu.ua/article/view/273621> [in Ukrainian].
13. Kanivets, O. M., Mamonov, K. A., Liu, Chan (2022) Development of the method of integral evaluation of land use of united territorial communities. Communal management of cities. Series: Engineering Sciences and Architecture. Volume 4. Iss. 171. P. 87–91.
14. Kanivets, O. M. (2023) Formation of monitoring the use of land of united territorial communities: dis. Techn. Sciences. Kharkiv, Kharkiv National University of Urban Economy named after OM Beketov, 243 p. <https://eprints.kname.edu.ua/63882/1/Дисертація%20Канівець%20О.М.pdf> [in Ukrainian].
15. Sterndok, E. S. (2017) Modeling the influence of spatial factors on the valuation and use of the land of the metropolis: disk... Cand. Techn. Sciences: 05.24.04. Kharkiv: OM Beketov Kharkiv National University of City Economy, 246 p.
16. Mamonov, K. A., Meteshkin, K. O., Goi, V. V., Viatkin, R. S. (2024) Mathematical modeling of factors that influence the functioning of complex systems of territorial development of land use of regions. Communal management of cities. Series: Engineering Sciences and Architecture. Volume 6. Iss. 187. P. 180-184. <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6404/632> [in Ukrainian].
17. Mamonov, K. A., Pilicheva, M. A., Frolov, V. O., Viatkin, R. S., Voitenko, O. R. (2024) Mathematical modeling of indicators of geospatial development of territorial communities. Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology. Volume 9. № 3. P. 287–292. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-3-50> [in Ukrainian].
18. Mamonov, K., Holovachov, V., Horb, O., Palamar, A. (2024) Integrated Method for Assessing Information Support of Real Estate Cadastre at Regional Level. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», Volume 2024, p. 1–5. <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2024510086> [in Ukrainian].
19. Mamonov, K., Velychko, V., Holovachov, V., Kovalenko, L. (2023) Theoretical and methodological provisions regarding the development and implementation of an integral method for assessing the level of information support of the multipurpose real estate cadastre at the regional level. Ukrainian Metrological Journal. № 2. Pp. 40–51.