

К.А. Мамонов, К.О. Метешкін, В.В. Гой, Р.С. В'яткін

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ РЕГІОНІВ

Визначена необхідність застосування методів і моделей математичного моделювання чинників, що впливають на функціонування складних систем територіального розвитку використання земель регіонів. Досягнута мета щодо теоретико-методичного обґрунтування математичного моделювання чинників, які впливають на функціонування складних систем територіального розвитку використання земель регіонів.

Ключові слова: територіальний розвиток використання земель, математичні методи, моделювання, складні системи, критерії адекватності, просторові, чинники, інтегральний показник.

Постановка проблеми

Забезпечення територіального розвитку використання є важливим регіональним завданням. За останні роки спостерігається гальмування та уповільнення або зниження основних показників регіонального розвитку.

Зокрема, спостерігається уповільнення валового регіонального продукту, основних показників діяльності сфер, кількості населення регіонів. На цей процес впливають внутрішні та зовнішні диспропорції й вплив наслідків агресії РФ. У таких умовах важливого значення набуває забезпечення територіального розвитку використання земель на регіональному рівні як складної системи, що враховує вплив просторових, містобудівних, екологічних, інвестиційних чинників.

Для вирішення представленого актуального завдання необхідною умовою є використання сучасного інструментарію математичного моделювання чинників, що впливають на функціонування складних систем територіального розвитку використання земель регіонів. Це дозволить сформувати кількісну основу прийняття рішень у сфері землекористування, підвищити ефективність використання земель, розробити та впровадити моніторингові дії із застосуванням геоінформаційних систем.

Отже, тема дослідження щодо визначення напрямів математичного моделювання чинників, що впливають на функціонування складних територіальних систем є актуальними і своєчасним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Теоретичний базис територіального розвитку

визначається категоріальних апаратом відносно розвитку [1–2].

Слід вказати на виокремлення особливостей розвитку земельних відносин, враховуючи функціональні та просторові напрями їх реалізації [3–5].

На напрямках здійснення земельних відносин наголошується у роботі вчених [6].

Для забезпечення територіального розвитку особливого значення мають стейкхолдерні відносини та управлінські аспекти здійснення земельних відносин [7–9].

Територіальний розвиток використання земель регіонів залежить від формування та моделювання процесів забезпечення земельних відносин, для реалізації яких застосовується сучасний геоінформаційний інструментарій [10–11].

У контексті використання нерухомості визначаються територіальні аспекти, які впливають на формування та виокремлення відповідних чинників [12].

На напрямках оцінки та формування кількісної основи зосереджена увага у розробках [13–15].

У системі територіального розвитку реалізується факторний підхід, спрямований на виокремлення чинників [16–18].

Узагальнення результатів математичного моделювання здійснюється для формування кількісної основи геопросторового забезпечення, на важливість якого вказують науковці [19–22].

Таким чином, у результаті систематизації теоретико-методичних положень, запропоновано визначення територіального розвитку використання земель регіонів, що характеризується як сукупність просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних факторів, взаємодія яких призводить до досягнення якісного нового стану земельних

відносин порівняно із минулим, враховуючи соціальні, інституційні, управлінські особливості та рівень взаємодії стейкхолдерів, що функціонують у сфері використання земель регіонів.

Мета та завдання статті

Метою дослідження є теоретико-методичне обґрунтування математичного моделювання чинників, що впливають на функціонування складних територіальних систем.

Вирішені завдання:

- систематизація теоретичних положень щодо визначення територіального розвитку;
- визначення відповідних чинників;
- обґрунтування напрямів математичного моделювання чинників територіального розвитку.

Виклад основного матеріалу

Теоретичні положення щодо напрямів розробки та реалізації математичного моделювання чинників використання земель представлено у роботах [23–24].

Враховуючи визначення та структурні компоненти територіального розвитку, розроблені напрями здійснення математичного моделювання відповідних чинників:

- формування інформаційно-аналітичного забезпечення територіального розвитку;
- характеристика чинників, що впливають на забезпечення територіального розвитку;
- виокремлення та відбір відповідних чинників;
- побудова багаторівневої системи показників оцінки;
- оцінка локальних чинників;
- побудова системних моделей оцінки просторових, містобудівних, екологічних, інвестиційних чинників;
- визначення узагальнюючих показників;
- побудова узагальнюючої моделі;
- визначення вагових коефіцієнтів із застосуванням методу аналізу ієрархій;
- оцінка інтегрального показника рівня використання земель регіонів;
- побудова кореляційної матриці;
- оцінка коефіцієнту детермінації;
- побудова лінійних однофакторних моделей впливу просторових, містобудівних, екологічних, інвестиційних факторів на узагальнюючий показник;
- оцінка показників адекватності моделей;
- інтерпретація отриманих результатів.

Характеризуючи напрями здійснення математичного моделювання встановлено, що інформаційно-аналітичне забезпечення формується на основі узагальнення теоретико-методичних положень, нормативно-правового забезпечення,

даних Інтернет-ресурсів.

Визначені чинники територіального розвитку, побудована багаторівнева система показників, яка складається із локального, системного й інтегрального рівнів у розрізі просторових, містобудівних, екологічних й інвестиційних показників.

Характеризуючи представлену систему чинників, побудуємо математичну модель, яка визначає формування та взаємодію факторів:

$$\{F_1, F_2, F_3, F_4\} \subset F, \quad (1)$$

де F – інтегральний показник територіального розвитку використання земель регіонів, відн. од.;

F_1, F_2, F_3, F_4 – системні чинники територіального розвитку використання земель регіонів, відн. од.

На локальному рівні багаторівневої системи для оцінки чинників використовуються експертні та аналітичні методи. На системному рівні застосовуються моделі середньої геометричної для визначення системних показників. Інтегральна модель оцінки узагальнюючого показника наступна:

$$F = k_1 * F_1 + k_2 * F_2 + k_3 * F_3 + k_4 * F_4, \quad (2)$$

де k_1, k_2, k_3, k_4 – вагові коефіцієнти, що визначають взаємний та вплив системних чинників на узагальнюючий показник, відн. од.

Вагові коефіцієнти визначаються на основі методу аналізу ієрархій, узагальнюючи модель оцінки представлена нижче:

$$k_i = \frac{K_i}{\sum_{i=0}^n K_b}, \quad (3)$$

де K_i – власний вектор кожного системного показника, відн. од.

Для побудови кореляційної матриці визначається коефіцієнти кореляції (R) [25]:

$$R = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}, \quad (4)$$

де n – кількість спостережень, од.;

x – незалежна змінна, відн. од.;

y – залежна змінна, відн. од.

Коефіцієнт детермінації (D) оцінюється наступною моделлю:

$$D = R^2. \quad (5)$$

Представлені показники оцінюються для встановлення впливу системних чинників на узагальнюючий показник рівня забезпечення територіального розвитку. Їх значення варіюються від 0 до 1.

Критеріями, що визначають достовірність та значимість встановлених зв'язків у математичній моделі є: t-критерій Стюдента й F-критерій Фішера.

t-критерій Стюдента оцінюється за моделлю:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \quad (6)$$

де M_1, M_2 - значення середніх арифметичних показників використання земель, од.;

m_1, m_2 - значення статистичних помилок середніх арифметичних показників, од. [26].

t-критерій Стюдента визначає доцільність встановлених зв'язків між показниками використання земель. На основі критерію Стюдента визначаються фактичні значення, які порівнюються із відповідними нормативними значеннями, що представлені у розроблених таблицях. У випадках, коли фактичні значення t-критерію Стюдента перевищують його нормативні значення, то встановлені зв'язки є доцільними і продовжується дослідження зв'язків. У протилежному випадку зв'язки між показниками використання земель є нестійкими та недоцільними. У такому випадку модель вважається неадекватною [22].

F-критерій Фішера оцінюється за моделлю:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{(n - m - 1)}{m}, \quad (7)$$

де n - кількість спостережень щодо показників використання земель, од.

Цей критерій визначає рівень суттєвості та значимості встановлених зв'язків між показниками.

Для оцінки рівня однорідності розподілу залишків застосовуються моделі Гольдфельда-Кванда, Глейсера, за критерієм μ . Для перевірки на автокореляцію залишків застосовується критерій Дарбіна-Уотсона (DW), який визначається за моделлю:

$$DW = \frac{\sum (e_i - e_{i-1})^2}{\sum e_i^2}, \quad (8)$$

де e_i, e_{i-1} - залишки показників використання земель, відн. од.

Перевірка на мультиколінеарність здійснюється за коефіцієнтами кореляції для встановлення залежності між незалежними показниками.

Інтерпретація отриманих результатів полягає у визначенні напрямів та особливостей встановлених зв'язків на основі застосування інструментарію

математичного моделювання.

Література

1. Позорелов Ю. С. Категорія розвитку та її експлейнарний базис / Ю. С. Позорелов // Теоретичні та прикладні питання економіки : збірник наукових праць. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2012. – Випуск 27. – Т. 1. – С. 30–34.
2. Пономаренко В. С. Стратегія розвитку підприємства в умовах кризи / В. С. Пономаренко, О. М. Тридід, М. О. Кизим. – Харків: ВД «ІНЖЕК», 2003. – 328 с.
3. Мосіюк І. П. Земельний ресурсний потенціал аграрного виробництва та раціонального природокористування України / І. П. Мосіюк, С. І. Мосіюк // Науковий Вісник НУБіП України. Сер.: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес. – 2011. – Вип. 163, ч. 3. – С. 259–261.
4. Сіра Е. О. Земельна реформа в Україні та її наслідки для розвитку агросфери / Е. О. Сіра // Науковий Вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.14. – С. 152–157.
5. Богіра М. О. Проблеми у землекористуванні, зумовлені проведенням земельної реформи в Україні, та шляхи їх подолання / М. О. Богіра, М. О. Ступень // Землевпорядний вісник. – 2012. – № 3. – С. 16–18.
6. Пінчук О. В. Реформування земельних відносин та управління землекористуванням в нових умовах ринкових перетворень / О. В. Пінчук, В. Ф. Пінчук, І. І. Сидоренко // Економіка і регіон. – 2015. – № 2. – С. 100–106.
7. Боклаг В. А. Інтегровані земельно-інформаційні системи як механізм удосконалення управління земельними ресурсами / В. А. Боклаг // Актуальні проблеми державного управління. – 2009. – № 1 (35). – Режим доступу : http://www.nbuv.gov.ua/portal/Soc_Gum/Apdu/2009_1/index.html, вільний (дата звернення: 30.09.2024).
8. Кулинич П. Ф. Визначення цільового призначення земельних ділянок при видачі селянам державних актів на право власності на землю / П. Ф. Кулинич // Приватизація землі: закон, практика, проблеми. – 2004. – № 4. – С. 9–16.
9. Бистряков І. К. Тенденції та доміанти розвитку земельних відносин в Україні в контексті екологічно орієнтованого землекористування / І. К. Бистряков // Досвід та перспективи розвитку міст України: Збірник наук. праць. – 2010. – Вип. 19. – С. 23–30.
10. Мамонов К. А. Застосування ВЕБ геоінформаційних систем для розподілу та використання земель / К. А. Мамонов // Комунальне господарство міст. – 2016. – Вип. 132. – С. 132–135.
11. Мамонов К. А. Геоінформаційні технології для транспортної галузі міського будівництва / К. А. Мамонов, К. І. Вяткін, С. Г. Нестеренко // Збірник наукових праць. Сучасні технології та методи розрахунку у будівництві. – 2017. – Вип. 6. – С. 56–63.
12. Територіальний розвиток та регіональна політика в Україні / НАН України. ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долишнього НАН України»; наук. редактор В. С. Кравців. – Львів, 2015. – 246 с.
13. Мамонов К. А. Розробка стейкхолдерно-орієнтованого підходу до оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст / К. А. Мамонов, К. О. Метешкін, М. О. Грек // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 3. – С. 160–164.
14. Мамонов К. А. Визначення містобудівних факторів, які впливають на використання земель міст / К. А. Мамонов, К. О. Метешкін, М. О. Грек // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2017. – Вип. 169. – С. 174–182.

15. Мамонов К. А. Актуальність та основні напрями розвитку підземної нерухомості в Україні / К. А. Мамонов // Технології оцінки та моніторингу використання нерухомості міських агломерацій: монографія / за заг. ред. Мамонова К.А. – Х.: ФОП Панов А.М., 2015. – С. 39–60.
16. Дудкіна О. Планування території: аспекти збалансованого розвитку регіонів / О. Дудкіна // Українська наука: минуле, сучасне, майбутнє. – 2014. – Вип. 19. – ч. 1. – С. 42–50. – Режим доступу: <http://dspace.tneu.edu.ua/bitstream/316497/5513/1/Дудкіна%20О..pdf>, вільний (дата звернення: 09.10.2024).
17. Шкодовський Ю. М. Екологічна реабілітація урбаністичного середовища як механізм державного регулювання розвитку територій / Ю. М. Шкодовський. – Режим доступу: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/db/2011-1/doc/7/07.pdf>, вільний (дата звернення: 29.09.2024).
18. Дехтяренко Ю. Ф. Регулювання земельних відносин у місті / Ю. Ф. Дехтяренко. – К.: Основи, 1997. – 139 с.
19. Goodchild M. F. Geographical information science / M. F. Goodchild // International Journal of Geographical Information Systems. – 1992. – 6 (1). – P. 31–45.
20. Mamonov K. The main conceptual provisions of the territorial development of the regional land use / K. Mamonov, O. Kanivets, K. Viatkin, O. Voronkov // Geodesy and cartography. Polish Academy of Sciences. – 2021. – Vol. 70. – № 2. – DOI: <https://doi.org/10.24425/gac.2021.136682>, вільний (дата звернення: 30.09.2024).
21. Valdaliso J. M. Strategies for shaping territorial competitiveness / J. M. Valdaliso, J. R. Wilson // Routledge, London. – 2015. – С. 95.
22. Li G. Regional competition, environmental decentralization, and target selection of local governments / G. Li, F. Guob, D. Dic // Science of The Total Environment. – 2020. – vol. 755. – part 1. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142536>, вільний (дата звернення: 26.09.2024).
23. Mamonov K. Economic and mathematical modeling of the development of construction enterprises, taking into account the peculiarities of the formation of intelligent economic systems / K. Mamonov, A. Bieliatynskiy, V. Goi, L. Kovalenko, S. Haidenko // Roads and bridges. – 2023. – Issue 28. – PP. 38–46. – Режим доступу: <http://dorogimosti.org.ua/en/economic-and-mathematical-modeling-of-the-development-of-construction-enterprises-taking-into-account-the-peculiarities-of-the-formation-of-intelligent-economic-systems>, вільний (дата звернення: 30.09.2024).
24. Mamonov K. Methods of mathematical modeling for assessment of the level of land use of objects of the nature and preserve fund of the regions / K. Mamonov, R. Vyatkin, E. Shterndok, A. Shterndok // The scientific heritage. – 2023. – №128. – Рр. 28–32. – DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10468008>, вільний (дата звернення: 24.09.2024).
25. Коефіцієнт кореляції (визначення, формула). – Режим доступу: URL: <https://uk.mcfairstbanks.com/2166-correlation-coefficient>, вільний (дата звернення: 30.09.2024).
26. Величко В. А. Теоретико-методологічні засади формування та реалізації стейкхолдерно-орієнтованої стратегії управління підприємств / В. А. Величко // дис....д-ра екон. наук: 08.00.04. – Харківський технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – 2022. – 627 с.

References

1. Pogorelov, Yu. S. (2012) Category of development and its ex-pleinary basis. Theoretical and applied issues of economics:

- a collection of scientific papers. 27(1), 30–34.
2. Ponomarenko, V. S., Tridid, O. M. & Kyzim, M. O. (2003) Enterprise development strategy in crisis conditions: Kharkiv, VD "INZHEK".
3. Mosiyuk, I. P. & Mosiyuk, S. I. (2011) Land resource potential of agrarian production and rational nature management of Ukraine. Scientific Bulletin of NUBiP of Ukraine. 163(3), 259–261.
4. Syra, E. O. (2013) Land reform in Ukraine and its consequences for the development of the agricultural sector. Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine. 23.14, 152–157.
5. Bogira, M. O. & Stupen, M. O. (2012) Problems in land use caused by land reform in Ukraine and ways to overcome them. Land management gazetteer. 3, 16–18.
6. Pinchuk, O. V., Pinchuk, V. F. & Sydorenko, I. I. (2015) Reforming land relations and land use management in new conditions of market transformations. Economy and the region. 2, 100–106.
7. Boklag, V. A. (2009) Integrated land information systems as a mechanism for improving land resource management. Actual problems of state administration. 1(35). http://www.nbuv.gov.ua/portal/Soc_Gum/Apdu/2009_1/index.html
8. Kulynych, P. F. (2004) Determining the intended purpose of land plots when issuing state deeds to the peasants for land ownership. Privatization of land: law, practice, problems. 4, 9–16.
9. Bystryakov, I. K. (2010) Tendencies and dominants of the development of land relations in Ukraine in the context of ecologically oriented land use. Experience and prospects of the development of Ukrainian cities. 19, 23–30.
10. Mamonov, K. A. (2016) Application of WEB geoinformation systems for the distribution and use of land. Communal management of cities. 132, 132–135.
11. Mamonov, K. A., Vyatkin, K. I. & Nesterenko, S. G. (2017) Geoinformation technologies for the transport industry of urban construction. Collection of scientific papers. Modern technologies and calculation methods in construction. 6, 56–63.
12. Kravtsiv, V. S. (eds.) (2015) Territorial development and regional policy in Ukraine: Lviv, DU "Institute of Regional Research named after M. I. Dolishny NAS of Ukraine".
13. Mamonov, K. A., Meteshkin, K. O. & Grek, M. O. (2017) Development of a stakeholder-oriented approach to the assessment of the impact of urban planning factors on the use of urban land. Bulletin of the Khmelnytskyi National University. 3, 160–164.
14. Mamonov, K. A., Meteshkin, K. O. & Grek, M. O. (2017) Determination of urban planning factors that affect the use of land in cities. Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport. 169, 174–182.
15. Mamonov, K. A. (2015) Actuality and main directions of development of underground real estate in Ukraine. Technologies of assessment and monitoring of the use of real estate in urban agglomerations: monograph. Kh.: FOP Panov A.M.
16. Dudkina, O. (2015) Territorial planning: aspects of balanced regional development. Ukrainian science: past, present, future. 19(1), 42–50. <http://dspace.tneu.edu.ua/bitstream/316497/5513/1/Дудкіна%20О..pdf>
17. Shkodovsky, Yu. M. Ecological rehabilitation of the urban environment as a mechanism of state regulation of territorial development. <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/db/2011-1/doc/7/07.pdf>
18. Dekhtyarenko, Yu. F. (1997) Regulation of land relations in the city. K.: Osnovy.
19. Goodchild, M. F. (1992) Geographical information science. International Journal of Geographical Information Systems. 6 (1),

31–45.

20. Mamonov, K., Kanivets, O., Viatkin, K. & Voronkov, O. (2021) The main conceptual provisions of the territorial development of the regional land use. *Geodesy and cartography. Polish Academy of Sciences*. 70(2). <https://doi.org/10.24425/gac.2021.136682>

21. Valdaliso, J. M., & Wilson, J. R. (2005) *Strategies for shaping territorial competitiveness*. Routledge, London.

22. Li, G., Guob, F. & Dic, D. (2020) Regional competition, environmental decentralization, and target selection of local governments. *Science of The Total Environment*. 755(1) <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142536>

23. Mamonov, K., Bieliatynskyi, A., Goi, V., Kovalenko, L. & Haidenko, S. (2023) Economic and mathematical modeling of the development of construction enterprises, taking into account the peculiarities of the formation of intelligent economic systems. *Roads and bridges*. 28, 38–46. <http://doroqimosti.org.ua/en/economic-and-mathematical-modeling-of-the-development-of-construction-enterprises-taking-into-account-the-peculiarities-of-the-formation-of-intelligent-economic-systems>

24. Mamonov, K., Vyatkin, R., Shterndok, E. & Shterndok, A. (2023) Methods of mathematical modeling for assessment of the level of land use of objects of the nature and preserve fund of the regions. *The scientific heritage*. 128, 28–32. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10468008>

25. Correlation coefficient (definition, formula). URL: <https://uk.mcfairbanks.com/2166-correlation-coefficient>

26. Velychko, V. A. (2022) Theoretical and methodological principles of formation and implementation of a stakeholder-oriented management strategy of construction enterprises: thesis...doctor of economics. Sciences: 08.00.04. Kharkiv: Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А. В. Бубела, Національний транспортний університет, Україна.

Автор: МАМОНОВ Костянтин Анатолійович
доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Е-mail – kostia.mamonov2017@gmail.com

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

Автор: МЕТЕШКІН Костянтин Олександрович
доктор технічних наук, професор, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Е-mail – meteshkin@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1170-2062>

Автор: ГОЙ Василь Васильович
кандидат економічних наук, докторант кафедри економіки та маркетингу

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Е-mail – vasssgoi@gmail.com

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

Автор: В'ЯТКІН Роман Сергійович
доктор філософії, асистент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Е-mail – viatkinr@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8807-9988>

MATHEMATICAL MODELING OF FACTORS AFFECTING THE FUNCTIONING OF COMPLEX SYSTEMS OF TERRITORIAL DEVELOPMENT OF LAND USE IN REGIONS

K. Mamonov, K. Meteshkin, V. Goi, R. Viatkin

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The necessity of applying methods and models of mathematical modeling of factors affecting the functioning of complex systems of territorial development of land use in regions is determined. It has been proven that the mathematical modeling toolkit is an important element of forming a quantitative basis for the formation and use of factors of territorial development, creating conditions for characterizing their changes in the following investigated periods. The presented toolkit provides opportunities for the development of solutions to increase the efficiency of land use.

The research achieved the goal of theoretical and methodological substantiation of mathematical modeling of factors that affect the functioning of complex systems of territorial development of land use in regions. The set tasks were solved: systematization of theoretical provisions regarding the determination of the territorial development of land use in the regions; determination of factors for ensuring the territorial development of land use in the regions; substantiation of directions for mathematical modeling of factors influencing the territorial development of land use in regions.

As a result of the systematization of theoretical and methodological provisions, a definition of the territorial development of land use in regions is proposed, which is characterized as a set of spatial, urban planning, investment and environmental factors, the interaction of which leads to the achievement of a qualitatively new state of land relations compared to the past, taking into account social, institutional, management features and the level of interaction of stakeholders operating in the field of regional land use.

To ensure territorial development, a mathematical modeling toolkit is used, the use of which allows you to form a quantitative basis for decision-making in the field of land relations. The necessity of applying a set of criteria for the adequacy of the developed mathematical models of the influence of spatial, urban planning, environmental and investment factors on the integral indicator of the level of provision of the territorial development of land use has been established.

Keywords: territorial development of land use, mathematical methods, modeling, complex systems, adequacy criteria, spatial, factors, integral indicator.