

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

К. А. Мамонов, В. В. Гой, В. С. Ковальчук

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ І МОДЕЛІ В СИСТЕМІ
ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського)
рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Мамонов К. А. Математичні методи і моделі в системі використання земель : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / К. А. Мамонов, В. В. Гой, В. С. Ковальчук ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 173 с.

Автори:

д-р екон. наук, проф. К. А. Мамонов,
канд. екон. наук В. В. Гой,
здобувач В. С. Ковальчук

Рецензент

С. Г. Нестеренко, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 1 від 16 серпня 2024 р.

© К. А. Мамонов, В. В. Гой, В. С. Ковальчук, 2025
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 Напрями та особливості математичного моделювання в системі використання земель	9
Тема 1 Предмет та завдання курсу «Математичні методи і моделі в системі використання земель».....	9
1.1 Концептуальні підходи до застосування математичних методів і моделей в системі використання земель	9
1.2 Мета, предмет та задачі курсу, актуальність застосування математичних методів і моделей	19
1.3 Основні поняття теорії і методів математичного моделювання	20
Тема 2 Види математичних методів та моделей, що застосовують у системі використання земель.....	25
2.1 Характеристика видів математичних методів і моделей у системі використання земель	25
2.2 Напрями та принципи оптимізаційного моделювання в проєктах просторового планування використання земель.....	28
Тема 3 Виокремлення та методи оцінки чинників, що впливають на використання земель.....	31
3.1 Напрями, ознаки та характеристики, за якими відбувається виокремлення чинників, що впливають на використання земель	31
3.2 Аналітичні й експертні методи оцінки показників використання земель	36
3.3 Багаторівнева система показників використання земель	42
Тема 4 Напрями математичного моделювання у системі використання земель.....	44
4.1 Визначення напрямів математичного моделювання у системі використання земель	44

4.2 Аналіз нормативно-правового забезпечення використання земель регіонів	47
4.3 Визначення земель як теоретична основа для формування інформаційно-аналітичного забезпечення	51
4.4 Формування інформаційно-аналітичного забезпечення на основі відбору чинників використання земель	55
Тема 5 Комплексний аналіз використання земель	58
5.1 Визначення напрямів здійснення комплексного аналізу використання земель	58
5.2 Методи і моделі здійснення комплексного аналізу. Шкала обґрунтування результатів застосування комплексного аналізу використання земель	61
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 Застосування математичних методів і моделей в системі використання земель.....	65
Тема 6 Напрями та особливості оцінки вагових коефіцієнтів для комплексного аналізу використання земель	65
6.1 Напрями оцінки вагових коефіцієнтів із застосування методу аналізу ієрархій	65
6.2 Особливості оцінки вагових коефіцієнтів для комплексного аналізу використання земель	72
Тема 7 Кореляційно-регресійний аналіз у системі використання земель....	74
7.1 Характеристика та інструментарій кореляційно-регресійного аналізу	74
7.2 Визначені напрями та особливості побудови лінійних парних кореляційно-регресійних моделей.....	77
Тема 8 Лінійні багатофакторні кореляційно-регресійні моделі	79
8.1 Напрями розробки лінійних багатофакторних кореляційно-регресійних моделей.....	80
8.2 Особливості розробки лінійних багатофакторних кореляційно-регресійних моделей.....	83

Тема 9 Критерії адекватності кореляційно-регресійних моделей.....	85
9.1 Критерії, що характеризують ступінь впливу чинників використання земель	85
9.2 Критерії, що визначають достовірність та значущість встановлених зв'язків у математичній моделі.....	87
9.3 Критерії перевірки на гомо- або гетескедастичність Дарбіна – Уотсона. Перевірка на мультиколінеарність.....	88
Тема 10 Нелінійні багатофакторні кореляційно-регресійні моделі	91
10.1 Напрями розробки нелінійних багатофакторних кореляційно- регресійних моделей.....	91
10.2 Особливості застосування нелінійних багатофакторних кореляційно-регресійних моделей.....	93
Тема 11 Інтерпретація отриманих результатів математичного моделювання на основі кореляційно-регресійного аналізу.....	95
11.1 Формування результатів математичного моделювання із застосуванням інструментарію кореляційно-регресійного аналізу	95
11.2 Розробка рекомендацій на основі результатів математичного моделювання	98
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 Формування кількісної основи ухвалення рішень у системі використання земель на основі результатів математичного моделювання.....	106
Тема 12 Типові оптимізаційні задачі, їхня класифікація.....	106
12.1 Концептуальні аспекти оптимізаційного моделювання. Ретроспективний аналіз.....	106
12.2 Типові оптимізаційні задачі.....	111
12.3 Класифікація оптимізаційних задач.....	113
Тема 13 Лінійні оптимізаційні задачі в системі використання земель.....	116
13.1 Завдання лінійного програмування та методи її розв'язання в системі використання земель.....	116
13.2 Аналіз лінійних моделей оптимізаційних задач.....	119

Тема 14 Нелінійні оптимізаційні задачі.....	122
14.1 Основні поняття, пов'язані з нелінійними зв'язками в системі використання земель.....	122
14.2 Методи розв'язання задач нелінійного програмування.....	127
Тема 15 Особливості комплексного аналізу в системі використання земель на регіональному та рівні територіальних громад.....	129
15.1 Особливості реалізації комплексного аналізу у системі використання земель на рівні територіальних громад.....	129
15.2 Напрями та особливості здійснення комплексного аналізу в системі використання земель на регіональному рівні.....	145
Тема 16 Напрями та особливості формування кількісної основи ухвалення рішень у системі використання земель на основі результатів математичного моделювання.....	157
16.1 Прогнозування показників використання земель як підґрунтя для формування кількісної основи ухвалення рішень.....	158
16.2 Визначення «точок зростання» інтегрального показника. Розробка заходів підвищення ефективності використання земель.....	160
Список джерел.....	167

ВСТУП

У сучасних умовах суспільно-економічного розвитку, децентралізації, активізації процесів цифрової трансформації та зростання вимог до просторового планування особливої важливості набувають питання ефективного використання земельних ресурсів. Земля виступає не лише як базовий елемент територіального устрою, а й як ключовий ресурс, що потребує раціонального, збалансованого та науково обґрунтованого підходу до управління. З огляду на багатофакторний характер землекористування, яке формується під впливом економічних, соціальних, екологічних, правових і технічних умов, важливим інструментом для його дослідження та вдосконалення стають математичні методи і моделі.

Навчальна дисципліна «Математичні методи і моделі в системі використання земель» орієнтована на підготовку здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 193 – Геодезія та землеустрій до роботи з кількісними інструментами аналізу землекористування. У межах курсу розглядаються теоретичні та прикладні основи побудови математичних моделей, що дають змогу описувати структуру, закономірності, динаміку та ефективність використання земельних ресурсів.

Структура курсу охоплює широке коло тем, починаючи з розкриття змісту дисципліни, її предметної сфери та основних завдань. Далі акцент зроблено на класифікації та характеристиці основних видів математичних методів та моделей, що застосовують у практиці землеустрою та територіального управління. В окремих темах розглядаються методики виокремлення факторів, які впливають на використання земель, а також напрями математичного моделювання цих процесів.

Особливу увагу приділено комплексному аналізу землекористування, побудові кореляційно-регресійних моделей (лінійних і нелінійних), оцінюванню вагових коефіцієнтів та перевірці адекватності побудованих моделей. Значна частина матеріалу присвячена застосуванню математичних

підходів для оптимізації управлінських рішень, що базуються на розв'язанні типових задач у межах як лінійного, так і нелінійного програмування.

Завершальні розділи дисципліни спрямовані на формування у студентів цілісного уявлення про можливості використання результатів математичного моделювання на практиці, як у межах ухвалення рішень на місцевому рівні, так і для оцінки просторових процесів на рівні регіонів. Розглядаються особливості формування кількісної інформаційної основи для обґрунтованого ухвалення управлінських рішень у системі використання земель, що є надзвичайно актуальним у контексті розвитку територіальних громад та реалізації державної земельної політики.

Таким чином, курс формує у здобувачів магістерського рівня ключові компетентності, необхідні для аналізу та вирішення складних задач просторового планування, землеустрою та управління земельними ресурсами з використанням сучасного математичного апарату.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 НАПРЯМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

ТЕМА 1 ПРЕДМЕТ ТА ЗАВДАННЯ КУРСУ «МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ І МОДЕЛІ В СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ»

Концептуальні підходи до застосування математичних методів і моделей в системі використання земель. Мета, предмет та завдання курсу, актуальність застосування математичних методів і моделей. Основні поняття теорії і методів математичного моделювання.

1.1 Концептуальні підходи до застосування математичних методів і моделей в системі використання земель

Математичні методи і моделі в системі використання земель – це дисципліна, в якій формується система знань з методології та інструментарію побудови і використання різних типів математичних моделей в системі використання земель. Теоретичним базисом математичних методів і моделей є системний аналіз, математичні закони, статистичні методи та ін.

Моделювання процесів в різних сферах діяльності людини здійснювалось ще з глибокої давнини. Методи моделювання використовували стародавні єгиптяни і греки в будівництві та архітектурі, технічному конструюванні. Намагання оцінити процеси здійснив грецький філософ Аристотель. Ретроспективний аналіз розвитку математичного моделювання свідчить про важливість і необхідність його використання в процесах використання земель, адаптуючи його до сучасних трансформаційних умов.

У загальному вигляді математичне моделювання здійснюють за такими етапами:

- виявлення проблемних аспектів і особливостей досліджуваного процесу, його аналіз, ідентифікація і визначення достатньої структури для моделювання, формування мети і задач моделювання;
- аналіз досліджуваних процесів, оцінка використаних ресурсів і потужностей, необхідних для здійснення процесу оцінки рівня використання земель;
- формування і обробка інформації щодо оцінки рівня використання земель;
- визначення чинників використання земель;
- оцінка чинників використання земель та узагальнюючого показника;
- встановлення зв'язків між чинниками використання земель;
- побудова математичних моделей на основі математичного інструментарію;
- визначення критеріїв адекватності математичних моделей;
- інтерпретація отриманих математичних моделей.

Використання земель є складною багатоаспектною сферою, що має багато зв'язків і потребує формування та використання кількісної основи для ухвалення обґрунтованих рішень. У цьому аспекті важливим інструментарієм є математичне моделювання, яке базується на відповідних методах і моделях [1-11].

Характеризуючи існуючі методи, визначено, що для оцінки ефективності відтворення та використання земель застосовують такі чинники:

- показники ефективності виробництва сільськогосподарської продукції (урожайність сільськогосподарських культур, вартість продукції у розрахунку на одиницю площі, продуктивність праці, трудомісткість та собівартість одиниці продукції, прибуток з 1 га посівної площі, рентабельність продукції, вихід кормових одиниць з 1 га посіву, витрати праці на виробництво 1 центнера кормових одиниць);
- показники відновлення земельного потенціалу (ефективність додаткових витрат на поліпшення продуктивних угідь, темпи витрат і

збереження гумусу, інтенсивність використання сільськогосподарських земель, коефіцієнт екологічної стабільності територій, коефіцієнт екологічного впливу угідь на навколишні землі);

- показники ефективності господарювання на сільськогосподарських землях (екологічні, структурні, технічні, економічні, соціальні) [12–31].

Розділяючи представлені напрями оцінки, заслуговують на увагу розробки [15–18] у яких фокусується увага на показниках екологічної стабільності територій та екологічного впливу угідь на навколишні землі. При цьому характеризуються коефіцієнти антропогенного навантаження.

Інтегральний метод до оцінки рівня використання земель застосовується у розробці [19], яка присвячена оцінці інтегрального показника, що базується на балах бонітету. Відповідний метод реалізується у роботах [20–23].

На вартісних характеристиках земель зосереджено увагу у розробці [32]. Запропоновано нормативну оцінку груп ґрантів здійснювати на основі таких показників:

- норматив капіталізованого рентного доходу відповідного сільськогосподарського угіддя природно-сільськогосподарського району Автономної Республіки Крим, області, м. Києва та Севастополя, гривень за гектар;

- бал бонітету агровиробничої групи ґрунтів відповідного сільськогосподарського угіддя природно-сільськогосподарського району.

Для окремої земельної ділянки визначаються такі показники:

- площа агровиробничої групи ґрунтів сільськогосподарського угіддя, гектарів;

- площа несільськогосподарських угідь (земель під господарськими шляхами і прогонами, полезахисними лісовими смугами та іншими захисними насадженнями, крім тих, що віднесені до земель лісогосподарського призначення, земель під господарськими будівлями і дворами, земель під інфраструктурою оптових ринків сільськогосподарської продукції, земель тимчасової консервації тощо), гектарів;

– норматив капіталізованого рентного доходу несільськогосподарських угідь на землях сільськогосподарського призначення, гривень за гектар [32].

Вартісний метод до оцінки рівня використання земель реалізується у розробці [32], у якій нормативну грошову оцінку квадратного метру земельної ділянки визначають шляхом застосування таких показників:

– витрати на освоєння та облаштування території в розрахунку на квадратний метр, грн.;

– норма прибутку;

– норма капіталізації;

– коефіцієнт, який характеризує функціональне використання земельної ділянки (під житлову та громадську забудову, для промисловості, транспорту тощо);

– коефіцієнт, який характеризує місцезнаходження земельної ділянки [32].

При використанні цього методу виокремлюють просторові характеристики земельної ділянки, зокрема:

– чисельність населення та адміністративний статус населеного пункту, його місце у системі розселення;

– розміщення в межах населених пунктів, розташованих у приміських зонах великих міст;

– розміщення в межах населених пунктів, що мають статус курортів;

– відстань до загальноміського центру населеного пункту, концентрованих місць праці, масового відпочинку населення;

– розташування в ядрі центру великих і найбільших міст та інших населених пунктів, що мають особливо важливе історичне значення, в приморській смузі населених пунктів;

– локальні фактори місцезнаходження земельної ділянки за територіально-планувальними, інженерно-геологічними, історико-культурними, природно-ландшафтними, санітарно-гігієнічними умовами та рівнем облаштування території [32].

У міжнародній практиці широко застосовують вартісний метод до оцінки рівня використання земель. У цьому контексті варто відзначити, що на вартість земель населених пунктів впливають такі групи факторів, як просторові (площа земельної ділянки, її місце розташування, розташування в плані населеного пункту, протяжність фронтальної лінії), інженерно-геологічні умови, економічні (дохід, який отримано з земельної ділянки, інвестиції з території), адміністративні, інституційні, нормативно-правові [15].

На думку фахівців, ціна земельних ділянок залежить від напрямів та особливостей її використання. На рівень використання земель впливають методи оцінки нерухомості [12, 33].

У результаті аналізу охарактеризовані вартісні методи, що застосовують для оцінки майна і впливають на рівень використання земель територіальних громад:

а) у межах витратного підходу:

- метод прямого відтворення (застосовують для проведення оцінки об'єкта, заміщення якого неможливе, а також у разі відповідності існуючого використання об'єкта оцінки його найбільш ефективному використанню [33]);

- метод заміщення (застосовують для визначення вартості заміщення об'єкта, що побудований, або будується, за типовим проєктом, або за умови економічної недоцільності відновлення об'єкта оцінки у його первісному вигляді. Під час використання методу заміщення для проведення оцінки земельних поліпшень вартість заміщення визначають на основі розрахунку поточної вартості витрат на створення земельних поліпшень, які подібні оцінюваним згідно з проєктно-кошторисною документацією, або за вартістю одиничного показника земельних поліпшень (площа, об'єм), що є подібними до оцінюваних [33];

- метод оцінки зносу земельних поліпшень (метод розбивки передбачає обґрунтування та визначення величини кожного виду зносу, що наявний в об'єкта оцінки, окремо. При цьому можна проводити такі оціночні процедури як величина фізичного зносу, яку розраховують за кожним конструктивним

елементом окремо або шляхом узагальненої оцінки, виходячи з фактичного фізичного (технічного) стану земельних поліпшень в цілому на дату оцінки. Фізичний знос можна визначати шляхом розрахунку необхідних витрат на усунення (створення, заміну) ознак фізичного зносу. Величину функціонального зносу розраховують, виходячи з наявних ознак невідповідності споживчих характеристик об'єкта оцінки сучасним вимогам щодо подібного нерухомого майна на ринку (відсутності певних споживчих характеристик або наявності надлишкових споживчих якостей земельних поліпшень). Функціональний знос можна визначати шляхом розрахунку необхідних витрат на усунення (створення, заміну) ознак функціонального зносу. Величину економічного зносу розраховують на основі порівняння прогнозованого доходу від найбільш ефективного використання подібного нерухомого майна на дату оцінки з прогнозованим доходом від найбільш ефективного використання об'єкта оцінки з урахуванням частки земельних поліпшень. Коефіцієнт сукупного зносу (придатності) визначають як добуток відповідних коефіцієнтів фізичного, функціонального та економічного зносу, що наявні в об'єкта оцінки [33]. Метод строку життя базується на обґрунтованому припущенні про залишковий строк економічного життя. При застосуванні цього методу всі наявні види зносу об'єкта оцінки вважають повністю врахованими [33]. Застосування інших методів, тобто інших оціночних процедур для визначення зносу (його окремих видів) можливе за умови окремого обґрунтування та розрахунку, що наводять у звіті про оцінку майна [33];

– у межах дохідного підходу: метод прямої капіталізації доходу (передбачає таку послідовність оціночних процедур: прогнозування валового доходу на основі результатів аналізу зібраної інформації про оренду подібного нерухомого майна з метою проведення аналізу умов оренди (розміру орендної плати та типових умов оренди) або інформації про використання подібного нерухомого майна; прогнозування операційних витрат та чистого операційного доходу (рентного доходу) (як правило за рік з дати оцінки) з урахуванням

вимог пунктів 12 і 17 Стандарту [33]; метод непрямої капіталізації доходу (дисконтування грошового потоку) (обґрунтування періоду прогнозування; прогнозування валового доходу, операційних витрат та чистого операційного доходу (рендного доходу) за роками, кварталами або місяцями в межах прогнозованого періоду та в порядку згідно з пунктами 12, 13 і 17 Стандарту; обґрунтування вибору оціночної процедури визначення ставки дисконту та її розрахунок; визначення поточної вартості грошового потоку як суми поточної вартості чистого операційного доходу (рендного доходу); прогнозування вартості реверсії та розрахунок її поточної вартості; визначення вартості об'єкта оцінки як суми поточної вартості грошового потоку та поточної вартості реверсії [33]; методи із застосуванням ставки капіталізації та ставки дисконту об'єктів оцінки (проводяться за такими оцінними процедурами: порівняння прогнозованого річного чистого операційного доходу (рендного доходу) та ціни продажу (ціни пропонування) щодо подібного нерухомого майна; аналіз альтернативних видів інвестування та визначення ризиків інвестування в об'єкт оцінки порівняно з інвестиціями з мінімальним ризиком, а також у разі наявності – інших додаткових ризиків інвестування, пов'язаних з об'єктом оцінки; інші оціночні процедури, які характеризують дохід на інвестований капітал та повернення інвестованого капіталу і обґрунтовані у звіті про оцінку майна [33]; метод визначення вартості реверсії (реалізується із застосуванням наступних процедур: щодо об'єктів оцінки, строк корисного використання яких необмежений протягом періоду прогнозування, – розрахунку ринкової вартості об'єкта оцінки на початок періоду, що настає за прогнозним; щодо об'єктів оцінки, строк корисного використання яких вичерпується на кінець періоду прогнозування, – розрахунку суми вартості ліквідації земельних поліпшень та ринкової вартості земельної ділянки (прав, пов'язаних із земельною ділянкою), визначених на кінець періоду прогнозування [15, 33];

б) у межах порівняльного підходу:

– метод узгодження отриманих величин вартостей об’єктів порівняння (застосовують у такій послідовності: за величинами вартостей об’єктів порівняння, що найчастіше зустрічаються; на основі визначення середньозваженої вартості; за вартістю об’єкта порівняння, яка зазнала найменших коригувань; на основі вартостей об’єктів порівняння, інформація про ціни продажу (ціни пропонування) та характеристики яких найбільш достовірні; із застосуванням інших оціночних процедур, що обґрунтовують у звіті про оцінку майна [33];

в) у межах підходу до оцінки окремих видів майна:

– метод аналізу найбільш ефективного використання земельної ділянки (ринкова вартість земельної ділянки (її частини), що не містить земельних поліпшень, земельної ділянки (її частини), що містить земельні поліпшення та розглядається як умовно вільна від земельних поліпшень, або земельної ділянки, що містить земельні поліпшення, найбільш ефективним використанням яких є ліквідація, визначають на підставі проведення аналізу найбільш ефективного використання. Найбільш ефективне використання земельної ділянки, яка містить земельні поліпшення і розглядається як умовно вільна від земельних поліпшень, може не збігатися з найбільш ефективним використанням земельної ділянки, що містить земельні поліпшення. У цьому разі визначення ринкової вартості земельної ділянки ґрунтується на припущенні про умовну зміну способу її використання з метою досягнення найбільш ефективного використання. При цьому можна враховувати витрати на відновлення такої земельної ділянки (без урахування витрат, пов’язаних з ліквідацією земельних поліпшень). Якщо при застосуванні такої процедури отриманий результат розрахунку становить від’ємну величину, ринкову вартість земельної ділянки приймають рівною одній гривні. У разі, коли найбільш ефективним використанням земельних поліпшень є їх ліквідація, і витрати, пов’язані з нею, перевищують вартість земельної ділянки, що містить земельні поліпшення, вартість таких земельних поліпшень дорівнює вартості ліквідації, визначеної з урахуванням вимог Національного стандарту № 1, а

ринкову вартість земельної ділянки визначають як умовно вільної від земельних поліпшень [33]. Метод аналізу інформації про розмір орендної плати та ціни продажу (ціни пропонування) подібних земельних ділянок (оцінку земельних ділянок проводять із застосуванням дохідного та (або) порівняльного підходів на підставі аналізу інформації про розмір орендної плати та ціни продажу (ціни пропонування) подібних земельних ділянок, у разі потреби – з урахуванням витрат на земельні поліпшення, що знаходяться у її межах, в порядку, визначеному абзацом першим пункту 6 Стандарту. У разі визначення ринкової вартості земельної ділянки при її найбільш ефективному використанні земельну ділянку розглядають як умовно вільну від земельних поліпшень. У разі визначення ринкової вартості земельної ділянки при її існуючому використанні земельну ділянку розглядають як умовно вільну від земельних поліпшень. За відсутності інформації про ціни продажу (ціни пропонування або розмір орендної плати) подібних земельних ділянок оцінка земельної ділянки ґрунтується на припущенні про умовну зміну характеру її використання на такий, що забезпечує отримання доходу від її найбільш ефективного використання [33]. Метод аналізу динаміки типового урожаю сільськогосподарських культур (відповідно до родючості ґрунтів у межах земельної ділянки, урожайності культур у розрізі відповідних агровиробничих груп ґрунтів) та цін його реалізації на ринку (для проведення оцінки земельних ділянок, що використовують як сільськогосподарські угіддя, валовий дохід для визначення рентного доходу розраховують на підставі аналізу динаміки типового урожаю сільськогосподарських культур (відповідно до родючості ґрунтів у межах земельної ділянки, урожайності культур у розрізі відповідних агровиробничих груп ґрунтів) та цін його реалізації на ринку. Витрати, що враховують під час розрахунку рентного доходу, включають виробничі витрати та прибуток виробника, що є типовими для регіонального ринку. Для проведення оцінки земельних ділянок, вкритих лісовою рослинністю та призначених для вирощування лісу, рентний дохід розраховують шляхом вирахування виробничих витрат та прибутку виробника за період обороту

рубки із валового доходу, що прогнозують від використання лісових ресурсів [33]. Метод оцінки земельних ділянок, які містять земельні поліпшення (вартість земельних ділянок, у межах яких розташовані природні та штучні замкнені водойми, які використовують для господарської діяльності, визначають в порядку, встановленому для проведення оцінки земельних ділянок, що містять земельні поліпшення [33]). Комбінований метод (вартість об'єктів незавершеного будівництва визначають із застосуванням витратного та порівняльного підходів, а також шляхом поєднання усіх методичних підходів. У разі поєднання методичних підходів вартість об'єкта незавершеного будівництва визначають як різницю між прогнозованою ринковою вартістю об'єкта оцінки за умови найбільш ефективного використання після завершення його будівництва і введення в експлуатацію та приведеними до поточної вартості витратами на завершення будівництва і введення цього об'єкта в експлуатацію [33]). Метод аналізу корисності об'єктів (вартість природних об'єктів нерухомого майна визначають на основі результатів аналізу їх корисності для власника (балансоутримувача, користувача) та з урахуванням обмежень, встановлених законодавством щодо використання цих об'єктів [33]). Документальний метод (у разі проведення оцінки земельних ділянок державної та комунальної власності та для цілей викупу земельних ділянок приватної власності у зв'язку із суспільною необхідністю до звіту про оцінку обов'язково додають витяг із затвердженого відповідним органом державної влади, відповідною радою або уповноваженим нею органом переліку земельних ділянок, що підлягають продажу на конкурентних засадах, або рішення відповідного органу державної влади, відповідної ради або уповноваженого ними органу про викуп земельної ділянки, а також технічний паспорт земельної ділянки, правовстановлюючі документи на земельні поліпшення, ситуаційний план і план земельної ділянки, виписка із земельно-облікових документів встановленого зразка [15, 33].

Розглянуті методи і моделі формують кількісну основу для визначення чинників використання земель. У цьому конспекті для оцінки узагальнюючого

показника та встановлення причинно-наслідкових зв'язків запропоновано застосування комплексного аналізу як сучасного інтегрованого інструментарію, що дозволяє визначити прогностичні зміни, розробити управлінські дії та побудувати геоінформаційну моніторингову систему.

1.2 Мета, предмет та задачі курсу, актуальність застосування математичних методів і моделей

У сучасних умовах, які характеризуються трансформаційними змінами, впливом внутрішніх і зовнішніх чинників, розбалансуванням стейкхолдерних зв'язків у сфері земельних відносин, наслідками військових дій, потребують переосмислення підходи до забезпечення ефективності використання земель та ухвалення обґрунтованих рішень. У цьому контексті особливого значення набуває формування та використання кількісної основи, що будують за допомогою математичних методів і моделей. Крім того, сформоване кількісне забезпечення дозволяє встановити причинно-наслідкові зв'язки між чинниками, які впливають на використання земель, визначити їх прогностичні значення для розробки геоінформаційних моніторингових карт як сучасного інструментарію реагування та попередження виникнення негативних явищ. Отже, застосування математичних методів і моделей у сфері використання земель, формування відповідного інтелектуального потенціалу на основі підготовки відповідних фахівців є актуальним і своєчасним завданням.

Метою викладання навчальної дисципліни «Математичні методи і моделі в системі використання земель» є ознайомлення здобувачів з математичними методами і моделями та застосуванням їх для розв'язання завдань щодо формування кількісної основи ухвалення рішень у сфері використання земель.

Для поставленої мети вирішують такі завдання:

- визначення напрямів та особливостей математичного моделювання в системі використання земель;

- характеристика інструментарію реалізації математичних методів і моделей;
- напрями та особливості формування інформаційно-аналітичного забезпечення для реалізації математичних методів і моделей в сфері використання земель;
- визначення напрямів та особливостей застосування комплексного методу оцінки рівня використання земель;
- напрями встановлення причинно-наслідкових зв'язків між чинниками використання земель;
- формування кількісної основи забезпечення прогностичних змін чинників використання земель;
- розробка заходів підвищення ефективності використання земель шляхом застосування математичних методів і моделей;
- забезпечення ухвалення рішень у системі використання земель на основі результатів математичного моделювання.

1.3 Основні поняття теорії і методів математичного моделювання

При моделюванні процесів землевпорядкування та оцінки нерухомості за допомогою математичних методів важливого значення набуває визначення моделі. Термін модель походить від латинської означає «зразок, норма, міра». По суті модель представляє собою аналогію, подібність явищ, процесів, об'єктів.

Таким чином, модель – це зображення об'єкта або системи в оригінальній або аналоговій формі, якими управляють і використовують для ухвалення управлінських рішень. Прикладом моделей можуть бути макети машин, споруд, механізмів та ін. Ці моделі засновані на прямій подібності об'єктів. В процесах оцінки нерухомості широко використовують моделі які побудовані на схожості поведінки системи. Виділяють наступні види моделей: фізичні, символні,

аналітичні, словесно-описові, математичні, імітаційні, формальні, функціональні, теоретичні.

Методом називають систематизовану сукупність кроків, які потрібно здійснити, щоб виконати певну задачу чи досягти певної мети.

З позиції теорії пізнання спостережувані в природі й суспільстві явища можна підрозділити на такі види:

- достовірні (визначені), які обов'язково відбудуться, якщо буде здійснена певна сукупність умов, і приймуть умови, які явно можна передбачити;

- неможливі, які явно не відбудуться в певних умовах;

- випадкові, які при сукупності умов можуть відбутися або не відбутися, в результаті випробувань можуть прийняти будь-яке значення, причому невідомо, яке саме;

- невизначені, про які нічого не можна сказати: відбудуться вони або не відбудуться, незалежно від створених умов.

Варто розрізняти випадкові події – факт і випадкові величини.

Як «подію» розуміють будь-яке (не обов'язково знаменне) явище. Подія – факт в кількісному і якісному відношенні може бути величиною невизначеною, оскільки про неї нічого не можна сказати з наперед відомою вірогідністю, а випадкова величина пов'язана з характером, змістом досліджуваного процесу.

Величину називають випадковою, якщо вона формується під впливом багатьох дрібних причин, не піддатливих до випробувань повному контролю і обліку, діючих відносно незалежно один від одного.

Математичне моделювання вивчає кількісні закони масових випадкових величин і явищ, але не ставить перед собою завдання передбачити, відбудеться одинична подія чи ні, – воно просто не в силах це зробити.

Одним з напрямів математичного моделювання є вивчення закономірностей масових однорідних випадкових подій. Випадкові величини підрозділяють на дискретні (переривчасті) та безперервні.

Дискретними називають випадкові величини, які приймають окремі, строго визначені, ізольовані, кінцеві чисельні значення з певною вірогідністю. При цьому число можливих значень дискретної випадкової величини може бути кінцевим і нескінченним.

Частіше зустрічаються безперервні випадкові величини, які можуть мати всі можливі значення у певному кінцевому або нескінченному проміжку. Очевидно, число можливих значень безперервної випадкової величини нескінченне. Оскільки точність вимірювання або обліку завжди обмежена, то практично всі випадкові величини є дискретними.

Значна частина математичного моделювання пов'язана з необхідністю досліджувати і описувати велику сукупність об'єктів. Звичайно цю сукупність називають генеральною. Якщо досліджувана сукупність об'єктів дуже численна або об'єкти вивчення проблемні, а також є інші причини, що не дозволяють вивчити всі об'єкти, то вдаються до вивчення якоїсь частини генеральної сукупності, що називають вибіркою.

Вибірка повинна бути представницькою або, як кажуть, репрезентативною. Якщо вибірка представляє не всю генеральну сукупність, а якусь її частину, то це називають зсувом вибірки. Зсув – одне з основних джерел помилок при використанні вибіркового методу.

У математичному моделюванні необхідно визначити вибірку, що складається з n однорідних одиниць (елементів). Число n називають обсягом вибірки. Одиницями вибірки можуть бути різні процеси і явища, що відбуваються у системі використання земель.

Числові значення, які приймає досліджувана ознака, називають варіантами. Зміну величини ознаки в статистичній сукупності називають варіацією.

Для того щоб визначити в зареєстрованих значеннях процесу будь-яку закономірність, їх треба призвести до доступного для аналізу вигляду, тобто впорядкувати, класифікувати, систематизувати, згрупувати. Процес

розчленовування досліджуваної сукупності на частини називають угрупованням.

Початковою базою для вивчення закономірностей тих чи інших явищ служать статистичні ряди розподілу, які будують за якісними і кількісними ознаками.

Якщо ряди є послідовністю чисел, що характеризують зміну показника в часі, то їх називають часовими, а якщо показують розподіл одиниць сукупності, що вивчають, по окремих групах, виділених за певною ознакою, то варіаційними.

Число, що показує, скільки разів зустрічається та або інша одиниця сукупності, що вивчається, називають її частотою m .

Варіаційний ряд або ряд розподілу є таблицею, у якій в порядку убутання або зростання перераховані можливі значення випадкової величини за вибіркою, що вивчається, з вказівкою їх частот.

Для оцінки застосовують моделі середніх арифметичних і геометричних. Крім середнього значення ознаки важливо знати характер варіації, тобто як тісно концентруються всі значення елементів сукупності навколо середньої. З теоретичного погляду самою відповідною мірою коливання ознаки слугує дисперсія (від латинського *disperse* – розсіяння), яка є квадратом відхилення дослідних даних від їх середнього значення за незгрупованими даними та за згрупованими даними.

Дисперсія випадкової величини в окремих випадках може мати нереальну розмірність. Для її усунення вводять середньоквадратичне відхилення, що розглядають у тих самих одиницях вимірювання.

Безрозмірним показником коливання випадкової величини є коефіцієнт варіації, який відображають у відсотках. Якщо дисперсія або коефіцієнт варіації великі, то це свідчить про значний розкид випадкової величини від її середнього значення. Випадкову величину характеризують двома основними параметрами:

– множиною її можливих значень;

– вірогідністю того, що вона прийме ті чи інші значення з цієї множини.

Вірогідність є одним з основних понять математичної статистики. Вона є математичним визначенням об'єктивної можливості відбуття або не відбуття випадкового явища. При вивченні рядів розподілу використовують не тільки абсолютні значення появи випадкової величини, але й відносні частоти.

Законом розподілу випадкової величини називають співвідношення, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини і відповідними їм ймовірностями.

При вибіркових обстеженнях припускають різного роду похибки, при цьому розрізняють грубі, систематичні та випадкові помилки.

Грубі помилки за абсолютними величинами значно відрізняються від всього ряду помилок і підлягають виключенню з ряду спостережень.

Систематичні помилки є наслідком впливу певних чинників, що спотворюють результати вимірювань за певним законом у відомому напрямі. Вони викликані зносом засобів вимірювання, їх неправильною установкою, дією зовнішнього середовища та ін.

Випадковими називають такі помилки, характер зміни яких не має видимої закономірності. Кожна подальша помилка за абсолютним значенням може бути більшою або меншою за попередню.

Аналіз випадкових похибок ґрунтується на теорії випадкових помилок, яка дає змогу з певною гарантійною вірогідністю обчислити дійсне значення шуканої величини.

Математичному моделюванню передують чітке уявлення суті задачі, що розв'язують, та аналіз її змісту. При цьому доцільно:

- вивчити літературу і узагальнити професійні знання про об'єкт дослідження;
- чітко сформулювати мету і завдання дослідження;
- визначити джерела, обсяг і методи отримання інформації;
- провести попередній якісний і кількісний математико-статистичний аналіз результатів спостережень.

При визначенні умов, що впливають на досліджуваний показник, варто дотримуватися апробованих принципів якісного аналізу:

- кожний чинник повинен бути теоретично обґрунтованим і змістовним, мати самостійне значення і не дублювати інші;
- вибіркові дані повинні мати точне кількісне вимірювання, бути однорідними і співставними у часі й просторі.

Об'єктивність математичного моделювання багато в чому залежить від показовості (репрезентативності) та однорідності вибірових даних. Заздалегідь обґрунтовують обсяг вибірки n або перевіряють достатність початкової інформації для отримання математико-статистичних моделей заданої точності та надійності.

Представлені напрями формують інформаційно-аналітичне забезпечення математичного моделювання процесів використання земель.

ТЕМА 2 ВИДИ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬ У СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

Характеристика видів математичних методів і моделей у системі використання земель. Напрями та принципи оптимізаційного моделювання в проєктах просторового планування використання земель.

2.1 Характеристика видів математичних методів і моделей у системі використання земель

Сучасні системи використання земель потребують участі широкого кола інженерного, технічного і управлінського персоналу. Гарантувати можливість ухвалення ефективних рішень, які б мали наукове обґрунтування ефективності застосування ресурсів, можна на підставі математичного моделювання. Математичне моделювання – це метод дослідження, який включає до себе етапи побудови моделі, її аналіз та інтерпретацію отриманих результатів.

Для якісної побудови математичної моделі необхідні навички з формалізації задачі, математичного опису вхідної інформації, оптимізації системи за допомогою сучасних інформаційних технологій. Високий рівень формалізації є неодмінною вимогою для абстрактних математичних моделей, які відображають реальні системи і процеси.

При виборі методів математичного моделювання розробнику необхідно покладатися на методи та прийоми, які вже пройшли апробацію і довели свою ефективність. Такі схеми мають назву типових математичних схем. Наведемо основні з них у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні типові математичні схеми та математичний апарат для їхньої реалізації

Основні типові математичні схеми	Математичний апарат для їхньої реалізації
Безперервно-детермінована	Диференціальні рівняння
Дискретно-детермінована	Кінцеві автомати
Дискретно-стохастична	Імовірнісні автомати
Безперервно-стохастична	Системи масового обслуговування, Імітаційне моделювання
Мережева	Мережі Петрі, Е-мережі
Універсальна (або комбінована)	Агрегативні моделі

Під час математичного моделювання залежно від необхідності застосування математичного апарату можна виокремити два розділи математики – класичну та прикладну.

Група методів класичної математики включає математичний аналіз (теорія границь, диференціальне та інтегральне числення) та теорію ймовірності.

Група методів прикладної математики включає:

- теорія множин;
- математична логіка;
- теорія графів;
- теорія ухвалення рішень;
- лінійне програмування;

- оптимізаційне програмування;
- теорія масового обслуговування;
- теорія надійності;
- теорія експертного оцінювання та низка інших методів та прийомів.

При математичному моделюванні сучасних систем методи класичної математики не є основними, група методів прикладної математики набагато ефективніша з широким спектром інструментарію, що зумовлює перевагу у виборі методів прикладної математики інженерами-розробниками.

На вибір методів математичного моделювання суттєвий вплив має ступень деталізації об'єкта, рівень відображення функціонування окремих елементів системи та вплив зовнішніх факторів на функціонування системи. Саме тому за рівнем деталізації систем і процесів зазвичай виокремлюють три основні рівні математичного моделювання:

- структурне моделювання, для реалізації якого застосовують теорію множин і алгоритмів, теорію графів, теорію масового обслуговування, метод статистичного моделювання;
- логічне моделювання, для реалізації якого застосовують алгебру логіки;
- кількісне моделювання, для реалізації якого застосовують системи нелінійних алгебраїчних або інтегрально-диференціальних рівнянь, функціональний аналіз, методи математичної статистики.

Повноту будь-якої математичної моделі можна охарактеризувати рівнем її подібності об'єкта у просторі та часі. Саме тому залежно від характеру досліджуваних процесів всі види моделей можна поділити на такі:

- детерміновані – ті, в яких повністю виключаються будь-які випадкові впливи;
- стохастичні – ті, в яких відображаються ймовірнісні процеси та оцінюють середні характеристики;
- статистичні – ті, в яких описується поведінка об'єкта у певний момент часу;
- динамічні – ті, в яких описується поведінка об'єкта за весь час;

- дискретні – ті, в яких описуються дискретні процеси;
- безперервні – ті, в яких описуються безперервні процеси;
- дискретно-безперервні – ті, в яких є необхідність моделювання і дискретних і безперервних процесів.

За формою подання об'єкта моделювання їх поділяють на уявні та реальні моделі. За умовами відсутності можливості у більшості випадків створити реальну модель, яка б функціонувала в заданому часовому інтервалі, уявне моделювання є основним способом моделювання об'єктів.

Уявне моделювання можна реалізувати на підставі таких схем:

- наочне моделювання, при якому на підставі спостережень створюють наочні моделі, в яких відображають явища і процеси реальних об'єктів;
- гіпотетичне моделювання, при якому висувають гіпотезу про перебіг процесів в реальному об'єкті, яка базується на рівні обізнаності дослідника;
- аналогове моделювання, при якому застосовують аналогії різних рівнів, зазвичай для відображення кожного аспекту функціонування об'єкта;
- макетування – найважливіший тип уявного моделювання, при якому в основу побудови уявних макетів покладено принципи причинно-наслідкових зв'язків між явищами і процесами в реальному об'єкті;
- символічне моделювання, при якому відбувається штучний процес відтворення реального об'єкта, який повністю відображає причинно-наслідкові зв'язки між явищами і процесами в реальному об'єкті, за допомогою систем знаків і символів.

2.2 Напрями та принципи оптимізаційного моделювання в проєктах просторового планування використання земель

Оптимізаційні задачі, при розв'язанні яких оперують з детермінованими математичними моделями, що повністю відображають поведінку об'єкта в різні часові проміжки, є найпоширенішими у теорії дослідження операцій. Задача однокритеріальної оптимізації (задача математичного програмування) полягає в

знаходженні такого значення змінних, при якому цільова функція прийматиме найбільше (або найменше) значення за певних умов.

Процес оптимізації обумовлює визначення таких показників, при яких би стан функціонування системи був оптимальним. При економіко-математичному моделюванні економічні показники є змінними цільової функції, а ресурсні обмеження та стан системи – параметрами задачі.

Ступень рівня розвитку і функціонування будь-якої економічної системи можна в більшості випадків виразити кількісними характеристиками, його математичний опис можна представити у вигляді цільової функції:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n; c_1, c_2, \dots, c_n). \quad (2.1)$$

Задача оптимізації (математичного програмування) полягає у знаходженні таких значень керованих змінних x_j ($j = \overline{1; n}$), при яких цільова функція набуває максимального (мінімального) значення:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max(\min). \quad (2.2)$$

Обмеження щодо значень величин x_j обумовлені внутрішніми та зовнішніми параметрами системи, які можна описати системою математичних рівнянь або нерівностей, що має вигляд:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} b \quad x_j \geq 0 \quad (j = \overline{1; n}). \quad (2.3)$$

Систему (2.3) називають системою обмежень або системою умов задачі, саме вона описує внутрішні процеси функціонування системи і процеси зовнішнього середовища, які мають вплив на функціонування системи. Для економічних систем значення змінних x_j мають бути невід'ємними.

Залежності (2.1)–(2.3) утворюють математичну модель системи, при побудові якої необхідно дотримуватися таких правил:

- модель має адекватно описувати систему;
- при побудові моделі необхідно враховувати лише ті фактори, які істотно впливають на її функціонування;
- модель має бути зрозумілою для користувача;

– модель має бути зручною для реалізації.

На підставі викладеного задачу лінійного програмування можна представити у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} F(X) &= \sum_{j=1}^n x_j \cdot c_j; \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j &\leq b_i, \quad i = \overline{1; s}; \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j &= b_i, \quad i = \overline{s+1; s+t}; \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j &\geq b_i, \quad i = \overline{s+t+1; m}; \\ x_j &\geq 0 \quad (j = \overline{1; n}) \end{aligned} \right\}. \quad (2.4)$$

Вектор $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$, який задовольняє системі обмежень (2.3) лінійного програмування називають розв'язком задачі лінійного програмування або оптимальним планом.

За видами оптимізаційних моделей задачі лінійного програмування поділяють на задачі параметричної та структурної оптимізації.

Задачу параметричної оптимізації в загальному випадку формують у вигляді (2.2)–(2.3). Параметрична оптимізація об'єднує широкий клас задач, які відрізняються постановкою та методами розв'язання. Так, наприклад, якщо існує декілька цільових функцій, необхідно розв'язувати задачу векторної оптимізації. У тому випадку, якщо кількість параметрів, які оптимізуються (x_j) перевищує одного, необхідно розв'язувати задачу багатокритеріальної оптимізації. Ці задачі математичного програмування об'єднують:

- задачі нелінійного програмування, якщо цільова функція нелінійна;
- задачі стохастичного програмування, якщо або параметри вектора $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ або цільова функція – випадкові;
- задачі динамічного програмування, якщо проводиться оптимізація багатокрокових процесів пошуку рішення;
- задачі дискретної оптимізації, якщо шукані параметри системи можуть приймати тільки дискретні значення.

Структурна оптимізація передбачає синтез оптимальної структури системи. Заміна складових структури системи та їх перетворення виконують за певними алгоритмами синтезу.

Прикладами найпростіших задач параметричної оптимізації є задачі лінійного програмування, в яких розв'язують екстремальні задачі з лінійним функціоналом та лінійними обмеженнями. Це класичні задачі використання сировини, зокрема задача про рюкзак, задача складання раціону, задача оптимального розкрою матеріалу, задача комівояжера, транспортна задача та ін. Схеми всіх цих класичних задач застосовувані при побудові задач лінійної оптимізації в проєктах просторового планування використання земель.

ТЕМА 3 ВИОКРЕМЛЕННЯ ТА МЕТОДИ ОЦІНКИ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

Напрями, ознаки та характеристики за якими відбувається виокремлення чинників, що впливають на використання земель. Аналітичні й експертні методи оцінки показників використання земель. Багаторівнева система показників використання земель.

3.1 Напрями, ознаки та характеристики, за якими відбувається виокремлення чинників, що впливають на використання земель

Формування напрямів оцінки у сфері використання земель залежить від чинників, що впливають на цей процес. Формування чинників здійснюють на основі узагальнення теоретичних положень, інформаційно-аналітичного та нормативно-правового забезпечення, офіційних даних інтернет-ресурсів, зокрема Державної служби статистики та Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру.

Для математичного моделювання виявлені наступні локальні просторові чинники використання земель регіонів, а саме рівні:

- доступу до геопросторових даних та метаданих;
- створення, функціонування та розвитку національної інфраструктури геопросторових даних;
- забезпечення моніторингу використання геопросторових даних;
- інформаційного забезпечення національної інфраструктури геопросторових даних;
- формування організаційно-технологічної основи функціонування національної інфраструктури геопросторових даних (національний геопортал; геопортали органів виконавчої влади; геопортали органів місцевого самоврядування; геопортали інших держателів даних);
- організації виробництва, оновлення, оброблення, зберігання, постачання та використання базових геопросторових даних;
- організації виробництва, оновлення та зберігання тематичних геопросторових даних та метаданих;
- використання, оброблення, оприлюднення та візуалізація геопросторових даних та метаданих;
- забезпечення умови поширення та використання геопросторових даних і геоінформаційних сервісів;
- формування та застосування сервісів доступу, пошуку, відображення та перегляду геопросторових даних та метаданих на геопорталах, що взаємодіють в інтернеті;
- забезпечення електронної інформаційної взаємодії та адміністрування між геопорталами;
- поінформованості суб'єктів господарювання, які мають у власності та/або в користуванні земельні ділянки щодо внесення до Державного земельного кадастру відомостей про земельні ділянки сертифікованими інженерами-землевпорядниками;
- поінформованості органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування, уповноважених розпоряджатися земельними ділянками державної чи комунальної власності щодо внесення до Державного земельного

кадастру відомостей про земельні ділянки сертифікованими інженерами-землевпорядниками;

- професійної підготовки та кадрового забезпечення у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності;

- саморегулювання у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності;

- державного управління у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності;

- забезпечення умов здійснення топографо-геодезичної і картографічної діяльності;

- технічного та технологічного забезпечення топографо-геодезичної і картографічної діяльності;

- формування картографо-геодезичного фонду;

- можливостей користування топографо-геодезичними і картографічними матеріалами та даними;

- фінансування топографо-геодезичної і картографічної діяльності;

- охорони геодезичних пунктів;

- державного геодезичного нагляду;

- відповідальності за порушення законодавства у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності;

- міжнародного співробітництва у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності;

- топографічне картографування території та розвиток національної системи картографування, створення та оновлення топографічних карт;

- встановлення, унормування, облік, реєстрація, використання та збереження географічних назв;

- створення та ведення Державного реєстру географічних назв;

- проведення робіт із демаркації державного кордону України.

Визначимо локальні функціональні чинники використання земель регіонів:

- забезпечення планування і забудови територій;
- формування законодавства у сфері містобудівної діяльності;
- ефективності управління у сфері містобудівної діяльності;
- забезпечення фінансування містобудівної діяльності;
- розроблення та реалізації програм комплексного відновлення території територіальної громади;
- розроблення і реалізації комплексних планів просторового розвитку території територіальної громади;
- генерального планування територій;
- зонування територій;
- ефективності функціонування архітектурно-містобудівних рад;
- громадського обговорення проєктів містобудівної документації на регіональному рівні;
- громадського обговорення проєктів програм комплексного відновлення на регіональному рівні;
- формування та використання містобудівного кадастру;
- формування та використання електронної системи у сфері будівництва;
- здійснення будівельної діяльності;
- забезпечення регулювання земельних відносин при здійсненні містобудівної діяльності;
- забезпечення регулювання забудови територій;
- забезпечення дозвільної документації;
- забезпечення ліцензування господарської діяльності з будівництва об'єктів;
- внесення змін до повідомлення або декларації про готовність об'єкта до експлуатації, скасування реєстрації декларації про готовність об'єкта до експлуатації або припинення права на початок виконання підготовчих або будівельних робіт, набутого на підставі поданого повідомлення;
- огляду, обстеження та паспортизації об'єктів;
- технічної інвентаризації об'єктів нерухомого майна;

- державного архітектурно-будівельного контролю та нагляду;
- забезпечення відповідальності за правопорушення у сфері містобудівної діяльності;
- містобудівного забезпечення;
- взаємодії із державними органами влади;
- регіональними органами влади;
- представниками територіальних громад;
- державними органами, що забезпечують регулювання та контроль за використанням нерухомості на регіональному рівні;
- громадськими організаціями, що забезпечують ефективність використання нерухомості;
- саморегулюючими організаціями, що забезпечують формування та реалізацію архітектурного, будівельного контролю, здійснення оцінної діяльності;
- ріелторами та іншими агентствами нерухомості;
- підрядниками;
- замовниками будівельної продукції;
- споживачами нерухомості;
- нотаріальними та іншими юридичними організаціями, що забезпечують супровід передачі прав на використання нерухомості;
- банківськими та іншими фінансовими установами;
- іншими громадськими організаціями;
- організаціями, що забезпечують інформаційну підтримку використання нерухомості на регіональному рівні;
- іншими організаціями, підприємствами, що функціонують у сфері використання нерухомості [35].

На використання земель на регіональному рівні можуть визначатись містобудівні, екологічні, інвестиційні та інші чинники.

3.2 Аналітичні й експертні методи оцінки показників використання земель

Наукові дослідження засвідчують широкий спектр можливостей застосування експертних методів у різних галузях, зокрема в маркетингових дослідженнях, управлінні ризиками, оцінюванні якості експертів, діагностиці кризових процесів, формуванні експертних груп та розробці рішень із використанням економіко-математичних моделей. Це питання висвітлено у працях О. В. Безпалька та О. Ф. Крайнюченка, О. С. Боднара, О. М. Величка та колективу авторів, Б. Є. Грабовецького, Г. М. Гнатієнка і В. Є. Снитюка, В. О. Занори, В. П. Новосада, О. Г. Корченка, Л. В. Кузьменко, В. В. Руденя і Т. Г. Гутора, Р. Г. Селіверстова, С. В. Теліна, Р. В. Юринця і І. З. Савраса, які обґрунтовують теоретичні засади, методологію та алгоритми експертного оцінювання, а також пропонують практичні рекомендації щодо їх ефективного впровадження у сфері ухвалення рішень [36–51]. Узагальнюючи теоретичні положення існуючих наукових розробок, експертні методи визначаються як методи, що базуються на думках експертів у сфері використання земель на регіональному рівні для оцінки просторових, функціональних, містобудівних інвестиційних, екологічних та інших чинників, що мають якісні ознаки та характеристики.

При застосуванні експертних методів особливе значення має формування експертної групи, яке здійснюють шляхом застосування кваліфікаційних параметрів експертів (E_{ki}):

- наявність профільної освіти (EP_1);
- наявність наукового ступеня або звання (EP_2);
- участь у проєктах щодо використання земель на регіональному рівні (EP_3);
- участь у проєктах щодо формування та застосування просторового, функціонального, містобудівного інвестиційного, екологічного забезпечення в сфері використання земель (EP_4);
- досвід роботи у сфері використання земель (EP_5);

- досвід роботи щодо застосування інструментарію формування інформаційного забезпечення використання земель (EP_6);
- можливості застосування міжнародного досвіду для забезпечення взаємодії із різними групами стейкхолдерів у сфері використання земель (EP_7);
- досвід забезпечення взаємодії із різними групами зацікавлених осіб у сфері використання земель (EP_8);
- досвід застосування сучасних систем адміністрування напрямів використання земель на регіональному рівні (EP_9);
- досвід роботи у органах державної влади, місцевого самоврядування, територіальних громад щодо управління земельними відносинами, формування та використання земель, здійснення її оцінки (EP_{10}) [35].

Варто зазначити, що для кваліфікаційних параметрів (EP_1 - EP_4) при наявності позитивної відповіді застосовують оцінку 5, у протилежному випадку – 0. Для інших кваліфікаційних характеристик застосовують шкалу від 0 до 10, залежно від досвіду, активності експерта, наявності та реалізації можливостей.

Для формування експертної групи у контексті проведення дослідження застосовують кваліфікаційні параметри 36 експертів. Результати оцінки представлених параметрів представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати оцінки кваліфікаційних параметрів експертів щодо визначення чинників використання земель на регіональному рівні, відн. од.

E_{ki}	E_{Pi}									
	EP_1	EP_2	EP_3	EP_4	EP_5	EP_6	EP_7	EP_8	EP_9	EP_{10}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ek_1	5	5	5	5	3	2	2	5	3	5
Ek_2	5	0	5	5	2	2	2	5	0	5
Ek_3	5	0	5	5	5	3	1	6	0	5
Ek_4	0	0	5	5	6	2	2	6	0	6
Ek_5	5	0	5	5	7	2	2	5	5	5
Ek_6	5	5	5	5	5	3	2	7	0	5
Ek_7	5	0	5	5	5	4	3	6	4	5

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ek_8	5	0	5	5	6	4	2	6	3	6
Ek_9	5	0	5	5	6	3	2	5	0	2
Ek_{10}	5	0	5	5	4	3	3	6	4	6
Ek_{11}	0	0	5	5	5	2	2	10	0	6
Ek_{12}	5	5	5	5	5	3	4	4	2	6
Ek_{13}	5	5	5	5	7	3	3	4	1	4
Ek_{14}	5	0	5	5	6	4	4	6	3	3
Ek_{15}	5	5	5	5	7	4	4	5	2	4
Ek_{16}	5	5	5	5	10	3	3	6	2	4
Ek_{17}	5	0	5	5	6	4	3	6	4	5
Ek_{18}	5	0	5	5	7	3	2	6	3	4
Ek_{19}	5	0	5	5	6	3	0	5	0	4
Ek_{20}	5	0	5	5	6	4	2	7	0	3
Ek_{21}	5	0	5	5	6	3	2	6	3	5
Ek_{22}	5	5	5	5	3	3	0	5	4	5
Ek_{23}	5	0	5	5	4	5	1	7	0	4
Ek_{24}	5	5	5	5	5	3	2	3	0	3
Ek_{25}	5	0	5	5	3	3	2	2	0	3
Ek_{26}	5	0	5	5	5	4	0	6	0	4
Ek_{27}	5	0	5	5	6	4	0	6	0	4
Ek_{28}	5	0	5	5	7	4	3	6	1	5
Ek_{29}	5	0	5	5	8	5	2	5	2	4
Ek_{30}	5	0	5	5	7	4	3	8	0	4
Ek_{31}	0	0	5	5	7	3	4	6	0	3
Ek_{32}	5	0	5	5	10	3	3	6	0	3
Ek_{33}	5	0	5	5	5	5	0	4	0	5
Ek_{34}	5	0	5	5	5	4	3	3	1	5
Ek_{35}	5	0	5	5	8	4	0	2	2	5
Ek_{36}	5	0	5	5	7	5	2	4	0	4

Для відбору експертів застосовують модель визначення середньої арифметичної за кожним із кваліфікаційних параметрів. Для включення експерта до експертної групи необхідно задоволення нерівності $\overline{EP}_i \geq 4$, тобто значенню, що відповідає середньому рівню. Результати відбору експертів подані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати відбору експертів щодо оцінки чинників використання земель на регіональному рівні, відн. од.

Ek_i	$\overline{EP}_i$	Результати відбору експертів
1	2	3
Ek_1	4	+
Ek_2	3,1	-
Ek_3	3,5	-
Ek_4	3,2	-
Ek_5	4,1	+
Ek_6	4,2	+
Ek_7	4,2	+
Ek_8	4,2	+
Ek_9	3,3	-
Ek_{10}	4,1	+
Ek_{11}	3,5	-
Ek_{12}	4,4	+
Ek_{13}	4,2	+
Ek_{14}	4,1	+
Ek_{15}	4,6	+
Ek_{16}	4,8	+
Ek_{17}	4,3	+
Ek_{18}	4	+
Ek_{19}	3,3	-
Ek_{20}	3,7	-
Ek_{21}	4	+
Ek_{22}	4	+
Ek_{23}	3,6	-
Ek_{24}	3,6	-
Ek_{25}	3,4	-
Ek_{26}	3,5	-
Ek_{27}	4,1	+
Ek_{28}	4,1	+
Ek_{29}	4,1	+
Ek_{30}	3,3	-
Ek_{31}	4	+
Ek_{32}	3,4	-
Ek_{33}	3,6	-
Ek_{34}	3,6	-
Ek_{35}	3,7	-
Ek_{35}	3,8	-

Як приклад, у результаті дослідження відібрано 19 експертів за вибраними кваліфікаційними параметрами. Нумерація відібраних експертів знаходиться у проміжку від 1 до 19.

Експертні методи застосовують для оцінки чинників використання нерухомості на регіональному рівні за напрямками:

- формування анкети для оцінки;
- визначення шкали оцінювання чинників;
- оцінка чинників відповідно запропонованої шкали та побудованої анкети;
- за результатами окремих експертних оцінок, визначення середньо арифметичних за кожним чинником;
- інтерпретація отриманих результатів;
- підтвердження достовірності отриманих оцінок на основі коефіцієнтів конкордації та критеріїв Пірсона.

Відповідно до визначених напрямів, формування анкети для оцінки здійснюють у розрізі експертів і виокремлених чинників. Результати побудови шкали оцінювання чинників представлено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Шкала оцінювання чинників на основі експертних оцінок, відн. од.

Значення експертних оцінок	Характеристика
0	відсутні параметри, що характеризують просторові, функціональні, інвестиційні, екологічні напрями використання нерухомості на регіональному рівні
1	низький рівень визначених параметрів
2	незначний
3	несуттєвий
4	помірно низький
5	помірний
6	помірно високий
7	значний
8	суттєвий
9	високий
10	абсолютний

Оцінку чинників відповідно запропонованої шкали та побудованої анкети здійснюють визначеними експертами. Отримують відповідні кількісні параметри і узагальнюючі значення чинників за моделлю середньоарифметичної.

Важливе значення має інтерпретація отриманих результатів, що полягає у визначенні напрямів та особливостей формування впливу просторових, функціональних, інвестиційних, екологічних чинників на використання земель на регіональному рівні.

Підтвердження достовірності отриманих оцінок здійснюють на основі коефіцієнту конкордації (W), який характеризує ступінь узгодженості думок експертів. Цей показник визначають за моделлю:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^n d_j^2}{\frac{1}{12}[m^2(n^3-n)-m\sum_{i=1}^m T_i]}, \quad (3.1)$$

де n – кількість факторів, од.;

m – кількість експертів, од.;

d_j – відхилення суми від середньої суми, відн. од.;

T_i – результати проміжних розрахунків, відн. од.

$$d_j = S_j - \frac{\sum_{j=1}^n S_j}{n}, \quad (3.2)$$

де S_j – сума рангів, відн. од.

$$S_j = \sum_{i=1}^m R_{ij}, \quad (3.3)$$

де R_{ij} – матриця оцінок факторів експертами, відн. од.

$$T_i = \sum_{l=1}^L (t_l^3 - t_l), \quad (3.4)$$

де L – кількість груп зв'язаних (однакових) рангів, од.;

t_l – кількість зв'язаних рангів в кожній групі, од. [52].

Значення коефіцієнту конкордації варіює від 0 до 1 і характеризує рівень узгодженості думок (чим ближче до 1, тим більше рівень узгодженості думок). Повноту та достовірність отриманих оцінок коефіцієнтів конкордації перевіряють критерієм Пірсона (χ_p^2), який визначають за такою моделлю:

$$\chi_p^2 = \frac{\sum_{j=1}^n d_j^2}{\frac{1}{12}[mn(m+1)-\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^m T_i]}. \quad (3.5)$$

Якщо розрахункове значення критерія Пірсона перевищує його табличне значення, то це підтверджує гіпотезу щодо повноти та достовірності результатів оцінки коефіцієнтів конкордації.

Аналітичні методи застосовують для оцінки просторових, функціональних, інвестиційних, екологічних чинників, що мають визначені кількісні складові та параметри (як правило визначених за даними Державної служби статистики України).

Для оцінки узагальнюючих групових показників (U_{RE_j}) застосовують модель середньогеометричної:

$$U_{RE_j} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n U_{RE_{ji}}}, \quad (3.6)$$

де $U_{RE_{ji}}$ – локальні просторові, функціональні, інвестиційні, екологічні чинники використання земель на регіональному рівні, відн. од.;

n – кількість локальних чинників використання земель на регіональному рівні, од.

j, i – номери і групи, що характеризують відношення чинників до просторового, функціонального, інвестиційного, екологічного забезпечення, од. [35].

3.3 Багаторівнева система показників використання земель

Багаторівневу систему показників використання земель формують на основі виокремлених показників на локальному, системному і регіональному рівнях. На рисунку 3.1 подана побудована багаторівнева система показників, де на локальному рівні визначені показники:

- $U_{RE_{11}} \dots U_{RE_{130}}$ – просторові;
- $U_{RE_{21}} \dots U_{RE_{242}}$ – функціональні;
- $U_{RE_{31}} \dots U_{RE_{318}}$ – інвестиційні;
- $U_{RE_{41}} \dots U_{RE_{419}}$ – екологічні.

Локальні просторові та функціональні чинники використання земель представлені у попередньому підрозділі. Встановлено, що більшість локальних просторових чинників оцінюють за експертними методами, лише показник питомої ваги земель сільськогосподарського призначення у їх загальному обсязі на регіональному рівні визначають із застосуванням аналітичного методу на основі даних Офіційного сайту Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру. Більшість локальних функціональних чинників оцінюють експертними методами, проте, порівняно із попередніми чинниками, значно більше показників визначають за аналітичними методами [35].

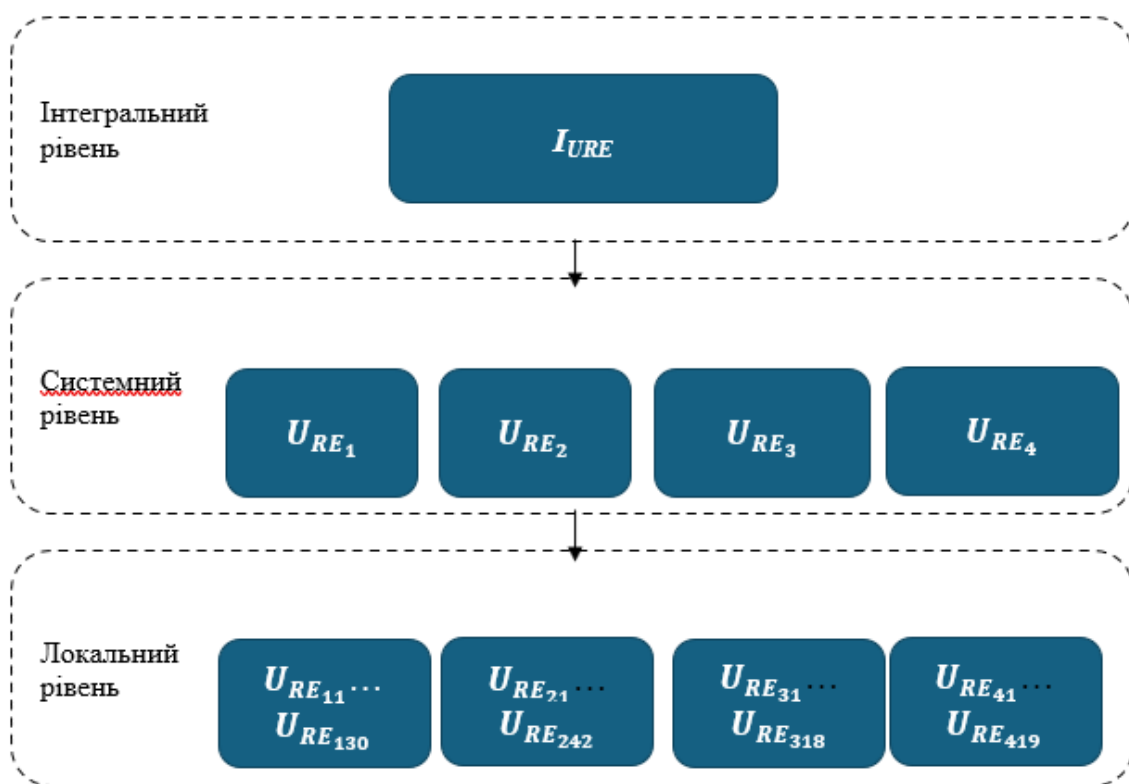


Рисунок 3.1 – Схема багаторівневої системи показників оцінки використання земель на регіональному рівні

Локальні інвестиційні показники визначають напрямками формування та реалізації вітчизняних і закордонних інвестицій, їх захисту, створення інвестиційної привабливості, більшість із яких оцінюють за експертними методами.

Визначення локальних екологічних чинників використання нерухомості на регіональному рівні здійснюють як експертними, так і аналітичними методами.

Системні показники використання нерухомості на регіональному рівні визначають за моделлю середньої геометричної. На інтегральному рівні будують відповідну інтегральну модель із врахуванням системних показників та вагових коефіцієнтів.

ТЕМА 4 НАПРЯМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

Визначення напрямів математичного моделювання у системі використання земель. Аналіз нормативно-правового забезпечення використання земель регіонів. Визначення земель як теоретична основа для формування інформаційно-аналітичного забезпечення. Формування інформаційно-аналітичного забезпечення на основі відбору чинників використання земель.

4.1 Визначення напрямів математичного моделювання у системі використання земель

Проведення математичного моделювання здійснюють шляхом застосування математичних методів і моделей на основі запропонованих напрямів:

- формування інформаційно-аналітичного забезпечення щодо процесів використання земель;
- визначення чинників, що впливають на формування земельних відносин;
- розробка кореляційної матриці для встановлення впливу чинників використання земель;

- побудова математичних моделей, що характеризують причинно-наслідкові зв'язки між чинниками;
- визначення критеріїв адекватності математичних моделей;
- інтерпретація отриманих результатів.

Для реалізації інструментарію математичного моделювання представлені напрями мають важливе значення. Окрім того, у цьому розділі сфокусуємо увагу на формуванні інформаційно-аналітичного забезпечення, що характеризує процеси використання земель.

Зокрема, інформаційно-аналітичне забезпечення відповідає певному рівню вірогідності. Термін «вірогідність» використовують у теорії ймовірності, у логіці, гносеології та праві й визначають як характеристику обґрунтованого, доказового, безперечного і як синонім істини.

Теорія вірогідності спрямована на вирішення проблеми визначення достовірності проведеного дослідження для подальшого використання його результатів. У цьому аспекті важливе значення має оцінка вірогідності інформації, яку використовують у дослідженні, і оцінка достовірності результатів дослідження.

Оцінка вірогідності інформації – це складане завдання. Варто зазначити, що, наприклад, експерт, який формулює висновки щодо питань землекористування, може помилятись або свідомо вводити в оману. Тому необхідно оцінювати не тільки подану інформацію, а і її джерела. У зв'язку з цим вводять такі терміни як авторизованість, авторитетність, інформативність та свідомість.

Авторизованість – це прив'язка наданих даних до певного джерела. Як джерело можуть бути використані посилання на сайт, теоретичні положення та ін.

Авторитетність – характеристика джерела даних. Якщо експерт не посилається на джерело, а говорить від першої особи, оцінюють авторитетність самого експерта.

Інформативність показує кількість нових даних у відповіді, які відносяться до питання.

Свідомість – показує, наскільки зрозуміло висвітлені питання.

При оцінці вірогідності результатів дослідження необхідно враховувати те, що вірогідним можна вважати результат, допустима похибка якого не виходить за різницю між розрахунковим значенням моделі і отриманим значенням.

Саме виникнення значної похибки результатів дослідження призводить до зниження вірогідності результатів моделювання. Загалом, похибка виникає у зв'язку з такими фактами:

- неадекватність моделі;
- помилки розрахунку показників і параметрів моделі;
- низька якість інформації, що використовують для моделювання.

Для визначення факту наявності або відсутності помилок, використовують спосіб, який полягає у порівнянні рішення з аналітичними рішеннями. Цей спосіб використовують при наявності значної кількості різних аналітичних рішень. Проте, екстраполювати результати оцінки одного порівняння на всі можливі рішення і параметри моделі достатньо загрозово, оскільки в кожному конкретному випадку можуть виникати відхилення, особливо при зміні параметрів.

Доволі часто використовують спосіб, коли для розрахунку одного параметра застосовують декілька способів. Цей спосіб дає можливість визначити похибки практично для всіх комбінацій параметрів моделі.

Крім того, інформаційно-аналітичне забезпечення формують шляхом узагальнення теоретичних положень щодо використання земель та систематизації нормативно-правового забезпечення.

4.2 Аналіз нормативно-правового забезпечення використання земель регіонів

Формування інформаційно-аналітичного забезпечення математичного моделювання щодо використання земель залежить від нормативно-правового забезпечення. На думку деяких авторів сформована система нормативно-правового забезпечення, зокрема у сфері регіонального розвитку, не має системного характеру. Крім того, не вирішені питання щодо формування та функціонування інституцій, розмежування їх повноважень для сталого розвитку регіонів, не розроблено систему реалізації регіональної політики в умовах сучасних трансформацій та створення нових громад (територіальних громад). У цьому контексті заслуговують на увагу новітні розробки.

У Законі України «Про стимулювання розвитку регіонів» [24] визначено, що стимулювання розвитку регіонів – це комплекс правових, організаційних, наукових, фінансових та інших заходів, спрямованих на досягнення сталого розвитку регіонів на основі поєднання економічних, соціальних та екологічних інтересів на загальнодержавному та регіональному рівнях, максимально ефективного використання потенціалу регіонів в інтересах їх жителів та держави в цілому.

У результаті характеристики основних положень Закону України «Про стимулювання розвитку регіонів» визначено, що для стимулювання розвитку основну увагу фокусують на засадах стимулювання розвитку регіонів, організації його державного стимулювання, визначенні депресивності територій та розробці напрямів її подолання, фінансування розвитку і організації контролю і звітності.

Формування державної регіональної політики базується на реалізації принципів, пріоритетів та напрямів реалізації, а саме: законності, співробітництва, паритетності, відкритості, субсидіарності, координації, унітарності, історичної спадкоємності, етнокультурного розвитку, сталого розвитку, об'єктивності.

У результаті аналізу основних положень Закону України «Про добровільне об'єднання територіальних громад» визначені напрями та особливості, які впливають на формування і функціонування територіальних громад [25].

Повноваження у сфері земельних відносин та охорони навколишнього середовища органів місцевого самоврядування характеризуються власними та делегованими напрямками. Вони дозволяють визначити контрольні, організаційні, інституціональні, технічні функції, що впливають на територіальний розвиток використання земель регіонів [26].

На основі аналізу визначено, що для характеристики напрямів та особливостей використання земель регіонів визначають їх категорії, запропоновані заходи забезпечення взаємодії щодо формування та використання [27, 28].

Визначено комплекс містобудівних факторів, що формують напрями та особливості використання земель у регіонах, серед яких виділяють такі:

- зональні фактори, що обумовлюють функціональну організацію територій згідно з планом зонування;
- функціонально-планувальні чинники, які визначають характер містобудівної діяльності в межах населених пунктів;
- структурно-планувальні та планувально-обмежувальні фактори, пов'язані з просторовою організацією забудови та встановленням містобудівних обмежень;
- аспекти інженерної підготовки, транспортного забезпечення та історико-архітектурного середовища, що враховують при розробці та реалізації генеральних планів і відповідних видів містобудівної документації. Вимоги до цих факторів детально регламентовані законодавством України [29].

Для використання земель регіонів визначаються напрями та особливості екологічного розвитку. При цьому визначаються:

– стан навколишнього природного середовища чи його об'єктів – землі, вод, надр, атмосферного повітря, рослинного і тваринного світу та рівні їх забруднення;

– біологічне різноманіття і його компоненти, включаючи генетично видозмінені організми та їх взаємодію із об'єктами навколишнього природного середовища;

– джерела, фактори, матеріали, речовини, продукцію, енергію, фізичні фактори (шум, вібрацію, електромагнітне випромінювання, радіацію), які впливають або можуть вплинути на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей;

– загрози виникнення і причини надзвичайних екологічних ситуацій, результати ліквідації цих явищ, рекомендації щодо заходів, спрямованих на зменшення їх негативного впливу на природні об'єкти та здоров'я людей;

– екологічні прогнози, плани і програми, заходи, в тому числі адміністративні, державну екологічну політику, законодавство про охорону навколишнього природного середовища;

– витрати, пов'язані із здійсненням природоохоронних заходів за рахунок фондів охорони навколишнього природного середовища, інших джерел фінансування, економічний аналіз, проведений у процесі ухвалення рішень з питань, що стосуються довкілля.

У результаті аналізу визначено, що для забезпечення поводження з відходами у контексті реалізації екологічних заходів для використання земель регіонів запропоновані напрями та виявлені такі особливості:

- напрями поводження з відходами;
- нормування у сфері поводження з відходами;
- державний облік і паспортизація відходів;
- ведення реєстру об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів;
- ведення реєстру місць видалення відходів;
- моніторинг місць утворення, зберігання та видалення відходів;

– функціональні фактори щодо зменшення або запобігання утворенню відходів [30].

Для забезпечення реалізації екологічних напрямів запропоновані заходи протидії надзвичайним ситуаціям у системі використання земель регіону, які включають:

- сповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій;
- інформування про виникнення та попередження надзвичайних ситуацій;
- укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту;
- заходи з евакуації;
- інженерний захист територій;
- радіаційний і хімічний захист населення і територій;
- медичний захист, забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення;
- біологічний захист населення, тварин і рослин;
- психологічний захист населення;
- заходи техногенної безпеки; заходи пожежної безпеки.

На використання земель регіонів впливає рівень їх інвестиційної привабливості. Для цього визначають напрями та особливості використання коштів, цільових банківських вкладів, паїв, акцій та інших цінних паперів (крім векселів), що застосовують у сфері земельних відносин, а також рухомого та нерухомого майна (будинків, споруд, устаткування та інших матеріальних цінностей), що знаходяться у розпорядженні органів регіональної влади. На інвестиційну привабливість так само впливають майнові права інтелектуальної власності, які використовують у сфері земельних відносин, сукупності технічних, технологічних, комерційних та інших знань, що оформлені у вигляді технічної документації, навички та виробничий досвід, необхідні для організації того чи іншого виду виробництва, але не запатентованих («ноу-хау»). Сюди також належать права користування землею, будинками, спорудами, обладнанням та інші майнові права, інші цінності, зокрема

капітальні інвестиції, що спрямовують на створення, реконструкцію і технічне переоснащення основних засобів, що застосовують у сфері земельних відносин.

Таким чином, у результаті систематизації існуючого нормативно-правового забезпечення щодо використання земель регіонів встановлено необхідність застосування системного підходу до його характеристик із врахуванням багатоаспектності та особливостей формування територіального розвитку і використання земель на регіональному рівні. Крім того, особливу увагу фокусують на факторах, що визначають напрями та оцінку територіального розвитку використання земель регіонів. Наприклад, базуючись на нормативно-правовому забезпеченні, запропоновано сформувати групи факторів: просторові, містобудівні, інвестиційні, екологічні та ін.

4.3 Визначення земель як теоретична основа для формування інформаційно-аналітичного забезпечення

В існуючих наукових розробках відсутні єдині підходи до визначення земель у контексті забезпечення територіального розвитку їх використання. Зокрема, окремі дослідники акцентують увагу на необхідності еколого-економічного переосмислення принципів землекористування в умовах ринкової трансформації, підкреслюючи важливість збалансування природоохоронних і господарських інтересів (Д. С. Добряк, Д. І. Бамбіндра). У працях А. Г. Мартина, С. О. Опипчука та О. М. Чумаченка розглянуто підходи до природно-сільськогосподарського районування України як бази для ефективного землекористування, а також проблеми охорони земель сільськогосподарського призначення на завершальному етапі земельної реформи (А. Г. Мартин, О. В. Шевченко). Зі свого боку, М. Г. Ступень та М. С. Богіра обґрунтовують шляхи вдосконалення використання сільськогосподарських угідь, а А. М. Третяк і Д. І. Бабміндра аналізують сучасний стан земельних ресурсів України та проблематику їхнього раціонального використання. При цьому важливе значення має підвищення

ефективності використання земель регіону, з врахуванням екологічних, економічних, природних та ландшафтних умов. Визначають відповідні напрями підвищення ефективності використання земель:

- регулювання режиму використання земель;
- забезпечення раціонального використання земель та їх охорона у системі територіального розвитку;
- формування системи екологічної безпеки використання земель регіону;
- забезпечення гарантів виконання прав на землю;
- удосконалення системи землекористування;
- збалансування просторових та містобудівних напрямів територіального розвитку використання земель регіону;
- підвищення інвестиційної привабливості земель;
- забезпечення взаємодії між різними групами зацікавлених осіб, що функціонують у системі земельних відносин регіону;
- формування напрямів раціональної обробки ґрунтів.

На нормативно-правових аспектах визначення земель акцентують увагу численні наукові дослідження, де розглядають організаційно-правові засади управління у сфері використання та охорони земель історико-культурного призначення (О. Бевз), механізми інвентаризації як інструменту підвищення ефективності управління майном територіальних громад (Г. В. Висоцька), а також питання правового регулювання земельних відносин на рівні місцевого самоврядування (М. В. Воскобійник). Окремі автори аналізують міжнародний досвід охорони ґрунтів (Н. С. Гавриш), правові основи відповідальності за порушення вимог екологічного законодавства (М. В. Краснова) та особливості правового оформлення земельних ділянок залежно від їх цільового призначення (К. Настечко). У працях Н. А. Робінсона представлено порівняльний аналіз підходів до правового регулювання природокористування в США, а О. М. Сонін і В. С. Циплухіна досліджують розвиток земельного законодавства України та механізми взаємодії органів публічної влади в управлінні земельними ресурсами. Крім того, М. І. Росенко розглядає трансформаційні

процеси в межах муніципально-територіальної реформи. У сукупності ці дослідження також охоплюють інфраструктурні та інформаційні аспекти, що забезпечують ефективне використання земельних ресурсів.

Характеризуючи понятійний апарат щодо визначення земель, у ряді наукових досліджень реалізовано системний підхід, що передбачає виділення економічних, соціальних, технічних та організаційних характеристик земель як об'єкта управління. Зокрема, землю розглядають не лише як природний ресурс, але і як багатофункціональну категорію, що формується під впливом множинних факторів, які зумовлюють територіальний розвиток регіонів (М. Г. Ігнатенко, В. О. Макєєв, Г. П. Лактіонова, В. Я. Месель-Веселяк, М. М. Федоров).

У цьому контексті вагомими є також роботи, присвячені розвитку містобудівного кадастру та геоінформаційних систем, які забезпечують інтеграцію просторово-географічних, функціональних, містобудівних, екологічних і цільових характеристик земельних ділянок, що розглядаються у тісному взаємозв'язку з об'єктами нерухомості (Ю. Палеха, Т. Нечаєва, В. Смілка, А. В. Олещенко, І. В. Соломаха, І. Петрович, Л. Петрович, В. Д. Сидоренко, А. Ю. Паламар). Подібні дослідження наголошують на важливості кадастрового обліку, грошової оцінки, методології управління землекористуванням у великих містах, а також на ролі системного адміністрування земельних ресурсів у формуванні сучасної політики сталого просторового розвитку (О. С. Петраковська, М. В. Трегуб, Ю. Є. Трегуб, А. М. Третьак, Н. А. Третьак, В. Д. Шипулін, I. Williamson, S. Enemark, A. Rajabifard та ін.).

Такий міждисциплінарний підхід, який поєднує правові, економічні, географічні та інформаційні засади, дозволяє врахувати трансформаційні процеси у сфері земельних відносин. У цьому аспекті особлива увага приділяється взаємодії просторових, містобудівних, екологічних та інвестиційних чинників, що забезпечує формування цілісного підходу до управління земельними ресурсами в умовах децентралізації та сталого

розвитку. Використання системного підходу об'єднує сучасні теоретико-методологічні підходи та практики, спрямовані на розробку комплексного інструментарію щодо оцінки територіального розвитку використання земель регіонів. Варто зазначити, що реалізація представленого підходу та визначення землі як системної категорії дозволяє також нівелювати методологічні й інституційні протиріччя, пов'язані із різноаспектним тлумаченням представленого поняття та створенням різних державних органів, що забезпечують виконання єдиних функцій, спрямованих на формування, розподіл, оцінку та використання земель і вносять певний дисбаланс у системі земельних відносин.

На противагу системному підходу, що розглядає землю як багатofакторну категорію, деякі дослідники пропонують інтерпретувати землю з позицій окремих її складових та функціональних характеристик.

Зокрема, землю трактують як засіб виробництва, що є базовим елементом у створенні матеріальних благ, з огляду на її роль у аграрному секторі, економіці природокористування та в межах класичних економічних теорій.

Інші автори підкреслюють її значення як просторової характеристики територіального розвитку, тобто основи планування, зонування, кадастрової організації та регіонального управління, в контексті правових норм і геоінформаційного забезпечення.

Також землю розглядають як об'єкт майнових відносин, що передбачає необхідність ведення обліку, оцінки, регламентації прав власності та оренди, а ще – як об'єкт інтегрування економічних та екологічних характеристик, що є предметом аналізу в межах концепцій сталого розвитку, природного капіталу та екологічної ренти.

Окремі науковці трактують землю як об'єкт соціальних відносин, надаючи їй значення в контексті забезпечення екологічної та територіальної безпеки, формування справедливих механізмів доступу до ресурсів.

У межах класичних теоретичних засад землю розглядають і як природний ресурс, що бере участь у процесах виробництва поряд з капіталом і працею, а

також як сукупність ресурсів, що об'єднує ґрунти, водні, мінеральні та інші складові, необхідні для життєдіяльності суспільства.

Земля виконує також функцію фактора містобудівного розвитку, оскільки саме від неї залежить структура забудови, формування прилеглих територій та реалізація планувальних рішень.

Крім того, її визначають як фактор, що впливає на екологічний стан регіонів, з огляду на її здатність накопичувати забруднення, підтримувати або руйнувати екосистеми та бути індикатором геоекологічного балансу.

Нарешті, у низці досліджень землю розглядають як фактор інвестиційної привабливості регіонів, що формує основу для оцінки потенціалу розвитку, рівня ризиків та перспектив довгострокового капіталовкладення.

Таким чином, на основі дослідження і систематизації наукових положень визначено, що земля є багатоаспектною категорією, формування категоріального апарату якої базується на застосуванні системного підходу, нормативно-правовому забезпеченні, враховуючи просторові, містобудівні, екологічні та інвестиційні та інші характеристики, що впливає на територіальний розвиток регіонів. Це дозволило узагальнити теоретичні положення до формування інформаційно-аналітичного забезпечення математичного моделювання, враховуючи напрями та особливості використання земель.

4.4 Формування інформаційно-аналітичного забезпечення на основі відбору чинників використання земель

Відбір вхідних факторів (F_i), що використовують для формування інформаційно-аналітичного забезпечення математичного моделювання чинників використання земель регіонів та створення підґрунтя для ухвалення рішень, здійснюють на основі узагальнення та систематизації теоретичних положень, нормативно-правового забезпечення, міжнародного та вітчизняного досвіду. У результаті визначені наступні вхідні фактори: F_1 – просторові; F_2 –

містобудівні; F_3 – інвестиційні; F_4 – екологічні; F_5 – політичні; F_6 – соціальні; F_7 – демографічні; F_8 – інтелектуальні; F_9 – інформаційні; F_{10} – економічні; F_{11} – регіональні; F_{12} – локальні (місцеві).

Результати застосування методу експертних оцінок щодо визначення факторів, які включають до інформаційно-аналітичного забезпечення представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати застосування методу експертних оцінок щодо визначення факторів, які включають для інформаційно-аналітичного забезпечення, відн. од.

n_{ti}	F_i											
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}
n_{t1}	6	5	5	5	4	3	3	3	3	1	1	1
n_{t2}	5	5	5	5	3	3	2	3	3	1	1	2
n_{t3}	5	5	6	6	3	4	2	2	3	2	1	2
n_{t4}	6	5	5	5	3	4	1	3	3	1	1	3
n_{t5}	7	6	5	5	4	4	4	2	3	2	2	3
n_{t6}	5	6	6	6	5	3	5	2	3	1	1	2
n_{t7}	6	5	6	5	5	3	5	3	1	2	1	1
n_{t8}	6	5	6	5	4	5	2	3	3	2	1	1
n_{t9}	8	7	5	5	4	4	2	3	3	2	2	1
n_{t10}	7	6	5	6	4	4	2	2	3	2	1	2
n_{t11}	7	6	5	5	3	3	2	2	2	1	1	3
n_{t12}	9	5	7	6	3	3	1	3	2	1	3	4
n_{t13}	6	5	6	6	4	2	3	4	2	2	2	3
n_{t14}	5	7	6	5	5	2	3	4	3	1	1	3
n_{t15}	5	5	5	5	4	5	2	2	2	2	1	3
n_{t16}	5	5	5	5	4	4	3	2	2	2	1	2
n_{t17}	6	5	7	6	4	3	4	2	1	2	2	3
n_{t18}	6	5	6	5	5	4	3	3	2	1	3	2
n_{t19}	7	7	6	5	4	3	3	2	2	2	2	2
n_{t20}	6	8	5	6	4	4	3	2	3	2	1	1
Середнє значення	6,15	5,65	5,6	5,35	3,95	3,5	2,75	2,6	2,45	1,6	1,45	2,2

Таким чином, у результаті експертного аналізу визначено, що найбільші середні значення мали фактори: F_1 – просторові; F_2 – містобудівні; F_3 – інвестиційні; F_4 – екологічні.

Для ухвалення рішення щодо відбору факторів побудована відповідна шкала (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Шкала значень експертних оцінок, що застосовуються для відбору факторів використання земель, відн. од.

Значення	Характеристика
0	фактор не впливає на використання земель регіонів – не включається у систему оцінки
0,01–4	фактор не має суттєвого впливу на використання земель регіонів – не включається у систему оцінки
4,01–7	фактор суттєво впливає на використання земель регіонів – включається у систему оцінки
7,01–9,99	фактор має важливе значення для формування та реалізації використання земель – включається у систему оцінки
10	фактор визначається абсолютним впливом на формування та реалізацію використання земель – включається у систему оцінки

Отже, для побудови інформаційно-аналітичного забезпечення використовуються фактори: F_1 – просторові; F_2 – містобудівні; F_3 – інвестиційні; F_4 – екологічні.

Для оцінки узгодженості результатів експертних оцінок щодо відбору факторів територіального розвитку використання земель регіонів, яка знаходиться у функціональній залежності від рівня достовірності, визначено коефіцієнт конкордації, який дорівнює 0,64. Це свідчить про помірний рівень узгодженості думок експертів, що дозволяє застосовувати результати відбору факторів у контексті побудови інформаційно-аналітичного забезпечення використання земель.

ТЕМА 5 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

Визначення напрямів здійснення комплексного аналізу використання земель. Методи і моделі здійснення комплексного аналізу. Шкала обґрунтування результатів застосування комплексного аналізу використання земель.

5.1 Визначення напрямів здійснення комплексного аналізу використання земель

Комплексний аналіз базується на застосуванні комплексу взаємопов'язаних показників, що характеризують екологічний стан (структуру земельних ресурсів, структуру посівних площ, темпи відновлення родючості ґрунтів, інтенсивність ерозійних процесів, вміст шкідливих речовин, ступінь зрошуваності, міліорованості, рівень витрат на вирішення екологічних питань), рівень забудови територій, рівень інвестиційної привабливості земель, економічні натуральні й вартісні, соціальні, пов'язані із рівнем виконання соціальних питань, що впливають на рівень використання земель.

У межах комплексного підходу вирішують наступні питання:

- формування територій і встановлення меж населених пунктів;
- розмежування земель державної та комунальної власності;
- інвентаризація земель несільськогосподарського призначення;
- встановлення меж прибережних захисних смуг водних об'єктів;
- виділення територій рекреаційного, природно-заповідного та інших особливо цінних земель;
- визначення меж прибудинкових територій;
- ведення державного земельного кадастру;
- складання проєктів землеустрою, що забезпечують еколого-економічне обґрунтування сівозмін і впорядкування угідь;
- заходи з охорони земель щодо збереження, відтворення та забезпечення раціонального використання земельних ресурсів».

Комплексний підхід передбачає забезпечення взаємодії державних, регіональних та місцевих органів влади, враховуючи комплексний характер кадастрових даних [93].

Враховуючи теоретичні положення щодо комплексного аналізу використання земель запропоновані відповідні напрями його розробки й реалізації. Сутність цього інструментарію полягає у застосуванні результатів геофакторного аналізу, сукупності інтегрального, аналітичного, експертного методів та методів аналізу ієрархій, нейронних мереж, визначення середньої геометричної величини, квазіметричних моделей, що дозволяє оцінити рівень використання земель регіону, враховуючи просторові, містобудівні, інвестиційні та екологічні чинники.

Реалізація комплексного аналізу до інтегральної оцінки використання земель регіонів базується на принципах:

- наукової обґрунтованості: характеризується визначенням рівня використання земель, що базується на науково-методичних розробках, нормативно-правовому забезпеченні;

- комплексності: включає сукупність показників, які поєднують просторові, містобудівні, інвестиційні та екологічні чинники і визначається взаємопов'язаними діями, спрямованими на визначення рівня використання земель регіонів;

- системності: визначається багаторівневою системою просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних показників, які створюють оцінне підґрунтя рівня використання земель регіонів;

- цілісності: характеризується створенням єдиної системи оцінки рівня використання земель регіонів, що дозволяє отримати інтегральний показник для ухвалення обґрунтованих рішень;

- цілеорієнтованості: визначається орієнтованість на досягнення цілей, спрямованих на забезпечення рівня використання земель регіонів, враховуючи комплекс просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних чинників;

- структурованості: характеризується чіткою структурою показників, які визначаються на різних рівнях;

–розвитку: визначається розробкою заходів, що забезпечують використання земель регіонів на основі встановлених його рівнів;

–адекватності: характеризується визначенням відповідних рівнів використання земель, що відображає напрями та особливості впливу та змін, що відбуваються у просторовому, містобудівному, інвестиційному та екологічному забезпеченні.

Розробка та реалізація методологічного підходу до інтегральної оцінки використання земель регіонів включає сукупність взаємопов'язаних етапів:

– формування інформаційно-аналітичного забезпечення використання земель.

Проведення геофакторного аналізу для формування комплексу просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних факторів, що впливають на використання земель регіону на основі існуючих науково-методичних розробок та нормативно-правового забезпечення; побудова багаторівневої системи факторів; відбору факторів, що мають найбільший вплив використання земель регіону шляхом застосування методу експертних оцінок.

Формування багаторівневої системи показників шляхом застосування квазіметричних моделей переходу від запропонованих факторів до відповідних просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних показників, враховуючи значення коефіцієнтів оцінки.

Оцінка системи просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних показників третього рівня на основі застосування аналітичного методу та методу експертних оцінок.

Визначення просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних показників другого рівня шляхом побудови математичних моделей на основі методу оцінки середньої геометричної величини.

Побудова математичної моделі визначення інтегральних просторового, містобудівного, інвестиційного, екологічного показників використання земель регіонів.

Визначення вагових коефіцієнтів, що характеризують важливість просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних показників у системі використання земель регіонів на основі застосування методу аналізу ієрархій.

Визначення інтегральних просторового, містобудівного, інвестиційного, екологічного показників використання земель регіонів.

Оцінка інтегрального показника використання земель регіонів.

Розробка та обґрунтування шкали рівнів використання земель регіонів.

Інтерпретація отриманих результатів.

Побудова кореляційної матриці для встановлення зв'язків між чинниками використання земель шляхом застосування коефіцієнтів кореляції.

Розробка математичних моделей впливу чинників на інтегральний показник використання земель.

Визначення критеріїв адекватності математичних моделей.

Інтерпретація отриманих результатів.

5.2 Методи і моделі здійснення комплексного аналізу. Шкала обґрунтування результатів застосування комплексного аналізу використання земель

Для здійснення комплексного аналізу застосовуються відповідні методи і моделі. Характеризуючи представлену у попередньому розділі систему факторів, побудуємо математичну модель, яка визначає формування та взаємодію факторів на 1-му рівні:

$$\{F_1, F_2, F_3, F_4\} \subset F, \quad (5.1)$$

де F – узагальнюючий фактор використання земель регіонів.

Визначимо підмножину просторових факторів 2-го рівня:

$$(f_{jy}^i) \subset F_1, \quad i = 2, \quad j = 1, y = \overline{1,5}. \quad (5.2)$$

У моделі верхній індекс i визначає рівень системи факторів, нижній j – порядковий номер підмножини факторів, y – порядковий номер фактору в їх підмножині.

Отже, просторовий інтегральний фактор (F_1) складається із системних факторів: територіальних (f_{211}); функціональних (f_{212}); соціальних (f_{213}); політичних (f_{214}); рівня картографічного та геодезичного забезпечення використання земель регіонів (f_{215}) ($f_{11}^2, \dots, f_{15}^2$) $\in F_1$).

Підмножину містобудівних факторів визначають за виразом:

$$(f_{jy}^i) \subset F_2, \quad i = 2, \quad j = 2, y = \overline{1,12}. \quad (5.3)$$

Містобудівні фактори (F_2) формують із факторів: зональних (f_{221}), функціонально-планувальних (f_{222}), структурно-планувальних (f_{223}), планувально-обмежувальних (f_{224}), інженерної підготовки та обладнання територій (f_{225}), транспортного забезпечення (f_{226}), історико-архітектурних (f_{227}), функціонування будівельної сфери у регіонах (f_{228}), рівня забудови територій (f_{229}); щільності забудови територій (f_{2210}), рівня застосування просторової інформації у містобудуванні (f_{2211}), рівня формування кадастрової інформації у сфері використання земель регіонів для містобудування:

$$(f_{212}) (f_{21}^2, \dots, f_{212}^2) \in F_2). \quad (5.4)$$

Підмножину інвестиційних факторів визначають за виразом:

$$(f_{jy}^i) \subset F_3, \quad i = 2, \quad j = 3, y = \overline{1,12}. \quad (5.5)$$

Інвестиційні фактори (F_3) визначають наступними факторами: оцінними (f_{231}), рівнем використання коштів, майна та майнових прав (f_{232}), інтелектуальними (f_{233}), стейкхолдерними (f_{234}), інноваційними (f_{235}), територіального розвитку регіонів (f_{236}), залучення іноземних інвестицій у сферу земельних відносин регіону (f_{237}), державно-приватного партнерства (f_{238}), рівня здійснення інвестиційної діяльності в сфері використання земель регіону вітчизняними інвесторами (f_{239}), рівня формування спеціальних економічних зон для забезпечення інвестування у сферу використання земель регіонів (f_{2310}), рівня забезпечення спеціального режиму інноваційної діяльності технологічних парків у сфері використання земель регіонів (f_{2311}), реалізації інвестиційних проєктів у сфері використання земель регіонів за принципом «єдиного вікна»:

$$(f_{2312}) (f_{31}^2, \dots, f_{312}^2) \in F_3). \quad (5.6)$$

Підмножину екологічних факторів визначають за виразом:

$$(f_{jy}^i) \subset F_4, \quad i = 2, \quad j = 4, y = \overline{1,15}. \quad (5.7)$$

Екологічні фактори (F_4) складаються із факторів: екологічного розвитку (f_{241}), рівня поводження з відходами (f_{242}), рівня нормування та обліку поводження з відходами (f_{243}), функціональних факторів щодо зменшення або запобігання утворенню відходів (f_{244}), рівня сповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій (f_{245}), рівня інформування про виникнення та попередження надзвичайних ситуацій (f_{246}), рівня укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту (f_{247}), рівня реалізації заходів з евакуації (f_{248}), рівня інженерного захисту територій (f_{249}), рівня радіаційного і хімічного захисту населення і територій (f_{2410}), рівня медичного захисту, забезпечення санітарного та епідемічного добробуту населення (f_{2411}), рівня біологічного захисту населення, тварин і рослин (f_{2412}), рівня психологічного захисту населення (f_{2413}), рівня технологічної безпеки (f_{2414}), рівня пожежної безпеки

$$(f_{2415}) (f_{41}^2, \dots, f_{415}^2) \in F_4. \quad (5.8)$$

Для застосування комплексного аналізу використовують геофакторний аналіз використання земель, який спрямований на обґрунтування та відбір чинників.

Запропонована модель, що визначає багаторівневу систему показників, що використовують для інтегральної оцінки використання земель регіонів, враховуючи напрями територіального розвитку має вигляд:

$$M = \langle T_1, T_2, T_3, T_4, \Omega \rangle, \quad (5.9)$$

де T_1 – інтегральний просторовий показник;

T_2 – інтегральний містобудівний показник;

T_3 – інтегральний інвестиційний показник;

T_4 – інтегральний екологічний показник;

Ω – множина відношень, що характеризують зв'язок між інтегральними просторовим, містобудівним інвестиційним та екологічним показниками, $\Omega = \{\omega p\}; p = \overline{1, \Psi}$.

Враховуючи визначені чинники будують інтегральну модель для оцінки узагальнюючих показників. Наприклад, для просторового показника вона має вигляд:

$$T_1 = \langle t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15} \rangle, \quad (5.10)$$

де $t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}$ – показники, що визначають територіальні, функціональні, соціальні, політичні напрями і особливості використання земель регіону, рівень їх картографічного та геодезичного забезпечення.

Для визначення системного показника використання земель застосовується метод і модель середньої геометричної.

Інтегральна модель оцінки рівня використання земель, враховуючи попередні результати оцінки, має вигляд:

$$I_T = \sum_{i=0}^n T_i * k_{vt_i}, \quad (5.11)$$

де I_T – інтегральний показник рівня використання земель, відн. од.;

k_{vt_i} – ваговий коефіцієнт взаємного впливу та впливу чинників на інтегральний показник, відн. од.

Розробку та обґрунтування шкали рівнів використання земель регіонів формують відповідно шкали Т. Сааті, значення інтегрального показника в якій варіює від 0 до 10 і вище (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Шкала рівнів використання земель регіонів (розроблено за даними шкали Т. Сааті), відн. од.

Значення	Рівень використання земель
0	відсутній
0,001–0,111	незначний
0,112–0,143	низький
0,144–0,2	несуттєвий
0,201–0,333	помірно несуттєвий
0,334–1	помірний
1,001–3	суттєвий
3,001–5	високий
5,001–7	значний
7,001–10 і більше	абсолютний

Для встановлення причинно-наслідкових зв'язків застосовують метод кореляційно-регресійного аналізу та моделі, побудовані у результаті математичного моделювання.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

ТЕМА 6 НАПРЯМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

Напрями оцінки вагових коефіцієнтів із застосування методу аналізу ієрархій. Особливості оцінки вагових коефіцієнтів для комплексного аналізу використання земель.

6.1 Напрями оцінки вагових коефіцієнтів із застосування методу аналізу ієрархій

Вагові коефіцієнти оцінюють на основі застосування методу аналізу ієрархій, напрями використання якого представлені у [8]. Відповідно до представлених напрямів розглянемо етапи визначення вагових коефіцієнтів:

- сформовані експерти для визначення взаємного впливу показників використання земель регіонів (формування експертної групи та застосування експертних методів представлено у попередніх розділах);
- визначені просторові, містобудівні, інвестиційні, екологічні показники $(t_{1i}, t_{2i}, t_{3i}, t_{4i})$;
- здійснення попарного порівняння впливу показників шляхом застосування методу експертного аналізу;
- попарне порівняння показників використання земель за шкалою Т. Сааті (табл. 6.1) та побудова відповідних загальних матриць.

Таблиця 6.1 – Шкала Т. Сааті для попарного порівняння показників територіального розвитку використання земель [8]

Значення	Рівень впливу показників використання земель
0,111	відсутній
0,143	незначний
0,2	низький
0,333	несуттєвий
1	помірний
3	суттєвий
5	високий
7	значний
9	абсолютний

Загальні матриці:

$$A_{T_1} = \begin{bmatrix} 1 & t_{11}/t_{12} & t_{11}/t_{13} & t_{11}/t_{14} & t_{11}/t_{15} \\ t_{12}/t_{11} & 1 & t_{12}/t_{13} & t_{12}/t_{14} & t_{12}/t_{15} \\ t_{13}/t_{11} & t_{13}/t_{12} & 1 & t_{13}/t_{14} & t_{13}/t_{15} \\ t_{14}/t_{11} & t_{14}/t_{12} & t_{14}/t_{13} & 1 & t_{14}/t_{15} \\ t_{15}/t_{11} & t_{15}/t_{12} & t_{15}/t_{13} & t_{15}/t_{14} & 1 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

$$A_{T_2} = \begin{bmatrix} 1 & & t_{21}/t_{212} \\ & \text{---} & \\ t_{212}/t_{21} & & 1 \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

$$A_{T_3} = \begin{bmatrix} 1 & & t_{31}/t_{312} \\ & \text{---} & \\ t_{312}/t_{31} & & 1 \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

$$A_{T_4} = \begin{bmatrix} & 1 & & & t_{41}/t_{415} \\ & & & & \\ & & & & \\ t_{411}/t_{41} & & & & \\ & & & & 1 \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

Оцінка компонентів власного вектору K_{t_i} для просторових показників:

– територіальні:

$$K_{t_{11}} = \sqrt[5]{1 * (t_{11}/t_{12}) * (t_{11}/t_{13}) * (t_{11}/t_{14}) * (t_{11}/t_{15})} ; \quad (6.5)$$

– функціональні:

$$K_{t_{12}} = \sqrt[5]{(t_{12}/t_{11}) * 1 * (t_{12}/t_{13}) * (t_{12}/t_{14}) * (t_{12}/t_{15})} ; \quad (6.6)$$

– соціальні:

$$K_{t_{13}} = \sqrt[5]{(t_{13}/t_{11}) * t_{13}/t_{12} * 1 * (t_{13}/t_{14}) * (t_{14}/t_{15})} ; \quad (6.7)$$

– політичні:

$$K_{t_{14}} = \sqrt[5]{(t_{14}/t_{11}) * t_{14}/t_{12} * (t_{14}/t_{13}) * 1 * (t_{14}/t_{15})} ; \quad (6.8)$$

– рівня картографічного та геодезичного забезпечення:

$$K_{t_{15}} = \sqrt[5]{(t_{15}/t_{11}) * t_{15}/t_{12} * (t_{15}/t_{13}) * (t_{15}/t_{14}) * 1} ; \quad (6.9)$$

– для містобудівних показників:

– зональні:

$$K_{t_{21}} = \sqrt[12]{1 * (t_{21}/t_{22}) * ... * (t_{21}/t_{212})} ; \quad (6.10)$$

– функціонально-планувальні:

$$K_{t_{22}} = \sqrt[12]{(t_{22}/t_{21}) * 1 * (t_{22}/t_{23}) * ... * (t_{22}/t_{212})} ; \quad (6.11)$$

– структурно-планувальні:

$$K_{t_{23}} = \sqrt[12]{(t_{23}/t_{21}) * (t_{23}/t_{22}) * 1 * ... * (t_{23}/t_{212})} ; \quad (6.12)$$

– планувально-обмежувальні:

$$K_{t_{24}} = \sqrt[12]{\left(t_{24}/t_{21}\right) * \dots * \left(t_{24}/t_{23}\right) * 1 * \left(t_{24}/t_{25}\right) * \dots * \left(t_{24}/t_{212}\right)}; \quad (6.13)$$

– інженерної підготовки та обладнання територій:

$$K_{t_{25}} = \sqrt[12]{\left(t_{25}/t_{21}\right) * \dots * \left(t_{25}/t_{24}\right) * 1 * \left(t_{25}/t_{26}\right) * \dots * \left(t_{25}/t_{212}\right)}; \quad (6.14)$$

– транспортного забезпечення:

$$K_{t_{26}} = \sqrt[12]{\left(t_{26}/t_{21}\right) * \dots * \left(t_{26}/t_{25}\right) * 1 * \left(t_{26}/t_{26}\right) * \dots * \left(t_{26}/t_{212}\right)}; \quad (6.15)$$

– історико-культурні:

$$K_{t_{27}} = \sqrt[12]{\left(t_{27}/t_{21}\right) * \dots * \left(t_{27}/t_{26}\right) * 1 * \left(t_{27}/t_{28}\right) * \dots * \left(t_{27}/t_{212}\right)}; \quad (6.16)$$

– функціонування будівельної галузі:

$$K_{t_{28}} = \sqrt[12]{\left(t_{28}/t_{21}\right) * \dots * \left(t_{28}/t_{27}\right) * 1 * \left(t_{28}/t_{29}\right) * \dots * \left(t_{28}/t_{212}\right)}; \quad (6.17)$$

– рівня забудови територій:

$$K_{t_{29}} = \sqrt[12]{\left(t_{29}/t_{21}\right) * \dots * \left(t_{29}/t_{28}\right) * 1 * \left(t_{29}/t_{210}\right) * \dots * \left(t_{29}/t_{212}\right)}; \quad (6.18)$$

– щільності забудови територій:

$$K_{t_{210}} = \sqrt[12]{\left(t_{210}/t_{21}\right) * \dots * \left(t_{210}/t_{29}\right) * 1 * \left(t_{210}/t_{211}\right) * \left(t_{210}/t_{212}\right)}; \quad (6.19)$$

– застосування просторової інформації у містобудуванні:

$$K_{t_{211}} = \sqrt[12]{\left(t_{211}/t_{21}\right) * \dots * \left(t_{211}/t_{210}\right) * 1 * \left(t_{211}/t_{212}\right)}; \quad (6.20)$$

– формування кадастрової інформації у сфері використання земель регіонів для містобудування:

$$K_{t_{212}} = \sqrt[12]{\left(t_{211}/t_{21}\right) * \dots * \left(t_{211}/t_{211}\right) * 1}; \quad (6.21)$$

– для інвестиційних показників:

– оцінні:

$$K_{t_{31}} = \sqrt[12]{1 * \left(t_{31}/t_{32}\right) * \dots * \left(t_{31}/t_{312}\right)}; \quad (6.22)$$

– рівня використання коштів, майна та майнових прав:

$$K_{t_{32}} = \sqrt[12]{\left(t_{32}/t_{31}\right) * 1 * \left(t_{32}/t_{33}\right) * \dots * \left(t_{32}/t_{312}\right)}; \quad (6.23)$$

– інтелектуальні:

$$K_{t_{33}} = \sqrt[12]{\left(t_{33}/t_{31}\right) * \left(t_{33}/t_{32}\right) * 1 * \left(t_{33}/t_{34}\right) * \dots * \left(t_{33}/t_{312}\right)}; \quad (6.24)$$

– стейкхолдерні:

$$K_{t_{34}} = \sqrt[12]{\left(t_{34}/t_{31}\right) * \dots * \left(t_{34}/t_{33}\right) * 1 * \left(t_{34}/t_{35}\right) * \dots * \left(t_{34}/t_{312}\right)}; \quad (6.25)$$

– інноваційні:

$$K_{t_{35}} = \sqrt[12]{\left(t_{35}/t_{31}\right) * \dots * \left(t_{35}/t_{34}\right) * 1 * \left(t_{35}/t_{36}\right) * \dots * \left(t_{35}/t_{312}\right)}; \quad (6.26)$$

– напрями територіального розвитку регіонів:

$$K_{t_{36}} = \sqrt[12]{\left(t_{36}/t_{31}\right) * \dots * \left(t_{36}/t_{35}\right) * 1 * \left(t_{36}/t_{37}\right) * \dots * \left(t_{36}/t_{312}\right)}; \quad (6.27)$$

– залучення іноземних інвестицій у сферу земельних відносин регіону:

$$K_{t_{37}} = \sqrt[12]{\left(t_{37}/t_{31}\right) * \dots * \left(t_{37}/t_{36}\right) * 1 * \left(t_{37}/t_{38}\right) * \dots * \left(t_{37}/t_{312}\right)}; \quad (6.28)$$

– державно-приватного партнерства:

$$K_{t_{38}} = \sqrt[12]{\left(t_{38}/t_{31}\right) * \dots * \left(t_{38}/t_{37}\right) * 1 * \left(t_{38}/t_{39}\right) * \dots * \left(t_{38}/t_{312}\right)}; \quad (6.29)$$

– рівня здійснення інвестиційної діяльності в сфері використання земель регіону вітчизняними інвесторами:

$$K_{t_{39}} = \sqrt[12]{\left(t_{39}/t_{31}\right) * \dots * \left(t_{39}/t_{38}\right) * 1 * \left(t_{39}/t_{310}\right) * \dots * \left(t_{39}/t_{312}\right)}; \quad (6.30)$$

– формування спеціальних економічних зон для забезпечення інвестування у сферу використання земель регіонів:

$$K_{t_{310}} = \sqrt[12]{\left(t_{310}/t_{31}\right) * \dots * \left(t_{310}/t_{39}\right) * 1 * \left(t_{310}/t_{311}\right) * \left(t_{310}/t_{312}\right)}; \quad (6.31)$$

– забезпечення спеціального режиму інноваційної діяльності технологічних парків у сфері використання земель регіонів:

$$K_{t_{311}} = \sqrt[12]{\left(t_{311}/t_{31}\right) * \dots * \left(t_{311}/t_{310}\right) * 1 * \left(t_{311}/t_{312}\right)}; \quad (6.32)$$

– реалізації інвестиційних проєктів у сфері використання земель регіонів за принципом “єдиного вікна”:

$$K_{t_{312}} = \sqrt[12]{\left(t_{312}/t_{31}\right) * \dots * \left(t_{312}/t_{311}\right) * 1}; \quad (6.33)$$

– для екологічних показників:

– екологічного розвитку:

$$K_{t_{41}} = \sqrt[15]{1 * \left(t_{41}/t_{42}\right) * \dots * \left(t_{41}/t_{415}\right)}; \quad (6.34)$$

– рівень поводження з відходами:

$$K_{t_{42}} = \sqrt[15]{\left(t_{42}/t_{41}\right) * 1 * \left(t_{42}/t_{43}\right) * \dots * \left(t_{42}/t_{315}\right)}; \quad (6.35)$$

– нормування та облік поводження з відходами:

$$K_{t_{43}} = \sqrt[15]{\left(t_{43}/t_{41}\right) * \left(t_{43}/t_{42}\right) * 1 * \left(t_{43}/t_{44}\right) * \dots * \left(t_{43}/t_{415}\right)}; \quad (6.36)$$

– характеризують функціональні напрями зменшення або запобігання утворенню відходів:

$$K_{t_{44}} = \sqrt[15]{\left(t_{44}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{44}/t_{43}\right) * 1 * \left(t_{44}/t_{45}\right) * \dots * \left(t_{44}/t_{415}\right)}; \quad (6.37)$$

– характеризують напрями та особливості оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій:

$$K_{t_{45}} = \sqrt[15]{\left(t_{45}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{45}/t_{44}\right) * 1 * \left(t_{45}/t_{46}\right) * \dots * \left(t_{45}/t_{415}\right)}; \quad (6.38)$$

– інформування про виникнення та попередження надзвичайних ситуацій:

$$K_{t_{46}} = \sqrt[15]{\left(t_{46}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{46}/t_{45}\right) * 1 * \left(t_{46}/t_{47}\right) * \dots * \left(t_{46}/t_{415}\right)}; \quad (6.39)$$

– укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту:

$$K_{t_{47}} = \sqrt[15]{\left(t_{47}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{47}/t_{46}\right) * 1 * \left(t_{47}/t_{48}\right) * \dots * \left(t_{47}/t_{415}\right)}; \quad (6.40)$$

– реалізації заходів з евакуації:

$$K_{t_{48}} = \sqrt[15]{\left(t_{48}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{48}/t_{47}\right) * 1 * \left(t_{48}/t_{49}\right) * \dots * \left(t_{48}/t_{415}\right)}; \quad (6.41)$$

– інженерного захисту територій:

$$K_{t_{49}} = \sqrt[15]{\left(t_{49}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{48}/t_{48}\right) * 1 * \left(t_{48}/t_{410}\right) * \dots * \left(t_{48}/t_{415}\right)}; \quad (6.42)$$

– радіаційного і хімічного захисту населення і територій:

$$K_{t_{410}} = \sqrt[15]{\left(t_{410}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{410}/t_{49}\right) * 1 * \left(t_{410}/t_{411}\right) * \dots * \left(t_{410}/t_{415}\right)}; \quad (6.43)$$

– медичного захисту, забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення:

$$K_{t_{411}} = \sqrt[15]{\left(t_{411}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{411}/t_{410}\right) * 1 * \left(t_{411}/t_{412}\right) * \dots * \left(t_{411}/t_{415}\right)}; \quad (6.44)$$

– біологічного захисту населення, тварин і рослин:

$$K_{t_{412}} = \sqrt[15]{\left(t_{412}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{412}/t_{411}\right) * 1 * \left(t_{412}/t_{413}\right) * \dots * \left(t_{412}/t_{415}\right)}; \quad (6.45)$$

– психологічного захисту населення:

$$K_{t_{413}} = \sqrt[15]{\left(t_{413}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{413}/t_{412}\right) * 1 * \left(t_{413}/t_{414}\right) * \left(t_{413}/t_{415}\right)}; \quad (6.46)$$

– технологічної безпеки:

$$K_{t_{414}} = \sqrt[15]{\left(t_{414}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{414}/t_{413}\right) * 1 * \left(t_{414}/t_{415}\right)}; \quad (6.47)$$

– пожежної безпеки:

$$K_{t_{415}} = \sqrt[15]{\left(t_{415}/t_{41}\right) * \dots * \left(t_{415}/t_{414}\right) * 1}; \quad (6.48)$$

Оцінка вагових коефіцієнтів, що характеризують вплив показників використання земель на інтегральний показник як відношення власного вектору кожного показника використання земель до загальної їх суми:

$$k_{v ti} = \frac{K_{ti g}}{\sum_{i=0}^n K_{ti}}. \quad (6.49)$$

6.2 Особливості оцінки вагових коефіцієнтів для комплексного аналізу використання земель

Особливості оцінки вагових коефіцієнтів для комплексному аналізу використання земель визначимо шляхом застосування кількісних параметрів просторових і містобудівних чинників. Крім того, представлені особливості виокремлюють на основі застосування напрямів, які визначені у попередньому підрозділі.

Визначені рівні взаємного впливу просторових показників другого рівня для прикладу можна обрати: $t_{11} - 3$; $t_{12} - 1$; $t_{13} - 7$; $t_{14} - 5$; $t_{15} - 9$.

Результати визначення взаємного впливу просторових показників другого рівня, оцінених у відповідній матриці, представлені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати визначення взаємного впливу просторових показників другого рівня, оцінених у відповідній матриці, відн. од.

Показники	t_{11}	t_{12}	t_{13}	t_{14}	t_{15}
t_{11}	1	3	0,429	0,6	0,333
t_{12}	0,333	1	0,143	0,2	0,111
t_{13}	2,333	7	1	1,4	0,778
t_{14}	1,667	5	0,714	1	0,556
t_{15}	3	9	1,286	1,8	1

Результати оцінки компонентів власного вектора для просторових показників такі:

$$K_{t11} = 0,762; K_{t12} = 0,254; K_{t13} = 1,778; K_{t14} = 1,27; K_{t15} = 2,286.$$

Результати оцінки вагових коефіцієнтів для просторових показників представлені нижче:

$$k_{vt1} = 0,12; k_{vt2} = 0,04; k_{vt3} = 0,28; k_{vt4} = 0,2; k_{vt5} = 0,36.$$

На основі оцінки визначено найбільший вплив картографічного та геодезичного чинників на використання земель регіонів. Окрім того, варто вказати на зростання значення політичних і соціальних показників у системі просторового забезпечення, що обумовлено сучасними умовами використання

земель. Знижується значення функціональних показників, що вказує на скорочення фокусу уваги на рівні використання земель регіонів у системі просторового забезпечення.

Визначені рівні взаємного впливу містобудівних показників другого рівня:

$$t_{21} - 7; t_{22} - 1; t_{23} - 3; t_{24} - 3; t_{25} - 1; t_{26} - 3; t_{27} - 5; t_{28} - 0,111; \\ t_{29} - 0,143; t_{210} - 0,143; t_{211} - 9; t_{212} - 7.$$

Результати оцінки компонентів власного вектора для містобудівних показників такі:

$$K_{t21} = 4,651; K_{t22} = 0,664; K_{t23} = 1,993; K_{t24} = 1,818; K_{t25} = 0,664; \\ K_{t26} = 1,993; K_{t27} = 3,322; K_{t28} = 0,074; K_{t29} = 0,095; K_{t210} = 0,095; \\ K_{t211} = 5,98; K_{t212} = 4,651.$$

Результати оцінки вагових коефіцієнтів для містобудівних показників визначені на рівні:

$$k_{vt6} = 0,179; k_{vt7} = 0,026; k_{vt8} = 0,077; k_{vt9} = 0,07; k_{vt10} = 0,026; \\ k_{vt11} = 0,077; k_{vt12} = 0,128; k_{vt13} = 0,003; k_{vt14} = 0,004; k_{vt15} = 0,004; \\ k_{vt16} = 0,23; k_{vt17} = 0,179.$$

На основі дослідження визначено, що найбільший взаємний вплив здійснюють містобудівні показники:

- рівень застосування просторової інформації у містобудуванні;
- рівень формування кадастрової інформації у сфері використання земель регіонів для містобудування;
- зональні.

Такий вплив обумовлений зростанням значення кадастрової та просторової інформації для містобудування у системі використання земель регіонів. Крім того, за останні роки особливий фокус уваги зосереджується на зонінгу територій, що враховує сучасні тенденції розвитку містобудівної діяльності.

На низькому рівні визначено вплив чинників:

- функціонування будівельної сфери у регіонах;
- рівня забудови територій;

– щільності забудови територій.

У сучасних умовах у більшості регіонів знижується вплив будівельної сфери, на низькому рівні знаходиться рівень забудови, неефективно використовуються території, що впливає на її щільність. Існують проблеми з визначенням і дотриманням границь територій, необґрунтоване використання земель під забудову та розширення територій міст.

ТЕМА 7 КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ У СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

Характеристика та інструментарій кореляційно-регресійного аналізу. Визначені напрями та особливості побудови лінійних парних кореляційно-регресійних моделей.

7.1 Характеристика та інструментарій кореляційно-регресійного аналізу

У математичному моделюванні важливе місце займають моделі, які дозволяють встановити причинно-наслідковий зв'язок між факторами використання земель. На основі математичних моделей розробляють організаційно-просторові механізми, формують рішення, які кількісно й якісно відображають процеси, що відбуваються в сфері використання земель. Варто також відзначити, що більшість представлених процесів мають стохастичний невизначений характер. Стохастична залежність може бути суттєвою, тобто обумовлена внутрішніми властивими даному явищу причинами, і несуттєвими, які викликані дією зовнішніх (випадкових) причин (середовищем); безпосередньою, стійкою і нестійкою, сильною і слабкою, простою (між двома змінними) і складною (між залежною змінною у і декількома чинниками-аргументами $x_1, x_2, \dots, x_n$). Для оцінки саме таких процесів і використовують кореляційно-регресійний аналіз.

Кореляційно-регресійний аналіз – це побудова та аналіз математичної моделі у вигляді рівняння регресії (рівняння кореляційного зв'язку), що відображає залежність результативної ознаки від однієї або кількох ознак-факторів і надає оцінку міри тісноти зв'язків.

Завдання кореляційно-регресійного аналізу полягають у:

- ідентифікації найбільш значущих чинників впливу на конкретний показник;
- кількісному вимірюванню тісноти виявлених зв'язків між показниками;
- визначенні невідомих причин виникнення зв'язків;
- всебічній оцінці факторів, які визнані найважливішими для показника;
- виведенні формули рівняння регресії;
- складання прогнозу можливого результату діяльності в разі зміни ключових пов'язаних чинників з урахуванням імовірного впливу інших факторних ознак [95] .

Кореляційно-регресійний аналіз включає наступні складові:

– кореляційний аналіз – кількісне визначення тісноти зв'язку між факторною (факторними) і результативними ознаками, здійснюване за допомогою показників кореляції. Кореляційний аналіз дає аналітику можливість з'ясувати, чи можна за величиною одного показника передбачити ймовірне значення іншого. Завдання кореляційного аналізу – оцінка сили зв'язку і перевірка статистичних гіпотез про наявність і силу кореляційного зв'язку системи показників. Це основний метод сучасної математичної статистики для виявлення неявних і завуальованих зв'язків між даними спостережень.

– регресійний аналіз – визначення теоретичного вираження зв'язку між ознаками, тобто форми зв'язку (побудова рівняння регресії). Результат аналізу дає змогу виокремлювати пріоритетні напрями, і, ґрунтуючись на головних чинниках, прогнозувати, планувати їх розвиток, приймати управлінські рішення. Регресійний аналіз тісно пов'язаний із кореляційним аналізом. В останньому досліджуються напрям та міцність зв'язку між незалежними

змінними, зокрема форма залежності (модель зв'язку, вираженої у функції регресії) між незалежними змінними.

Варто зазначити, що математична модель, розроблена із застосуванням кореляційно-регресійного аналізу, характеризується як кількісне відображення причинно-наслідкових зв'язків між факторами використання земель.

В математичних моделях незалежні змінні $x_1, x_2, \dots, x_n$ називають пояснюючими змінними (або факторами, інколи регресорами). Залежні змінні у називають пояснюваними змінними (або регресандами). Усі змінні моделей, як і будь-якої математичної моделі, поділяють на екзогенні і ендогенні.

Екзогенними (зовнішніми) називають змінні, значення яких є наперед визначеними перед використанням моделі, а ендогенними (внутрішніми) – такі, значення яких визначають тільки із самої моделі.

У кореляційно-регресійному аналізі необхідно визначити принципи побудови цих моделей. Принцип від латинського слова «*principium*» – основа, початок. Існує декілька визначень категорії «принцип»:

- основні положення передумови;
- теоретичне знання, що не є ні доказовим, ні тим, що потребує доказу;
- етична норма, яка, згідно з Кантом, є або суб'єктивною – максимальною – і направляє волю, оскільки вона виступає як керівний по відношенню до окремих індивідів момент, або об'єктивною – законом – і у такому разі признається значущою для волі кожної розумної істоти.

Виходячи із зазначеного вище, основними принципами побудови математичних моделей є:

- інформація, яку використовують у кореляційно-регресійному аналізі, повинна бути повною, достовірною, що адекватно відображає процеси, які відбуваються у сфері земельних відносин;
- фактори, що включають в математичну модель, повинні бути кількісно оцінені, економічно інтерпретовані, кількість спостережень на один показник становить не менше 8;

– математичний апарат, який використовують у кореляційно-регресійному аналізі, повинен вирішити проблему побудови моделі і за його допомогою можна оцінити адекватність моделі;

– під час розробки математичної моделі необхідно враховувати випадковий член. Випадковий член існує за декількома причинами. По-перше, це не включення пояснювальних змінних. По-друге, співвідношення між y та x завжди є достатньо великим спрощенням, а отже опиняються не включеними до моделі інші фактори, що здійснюють вплив на y ;

– агрегування змінних. В багатьох випадках залежність, що розглядають, є спробою об'єднання певного числа співвідношень;

– помилковий опис структури моделі;

– функціональна специфікація може бути помилково визначена;

– помилково проведені розрахунки в моделюванні.

– параметри моделі повинні адекватно відображати причинно-наслідковий зв'язок між факторами;

– математична модель повинна бути перевірена на адекватність шляхом використання відповідних критеріїв.

Для дослідження процесів використання земель застосовують лінійні парні або багатofакторні кореляційно-регресійні моделі.

7.2 Визначені напрями та особливості побудови лінійних парних кореляційно-регресійних моделей

Парні лінійні кореляційно-регресійні моделі відображають причинно-наслідковий зв'язок між незалежним фактором (x) і залежною змінною (y). Для побудови парної лінійної кореляційно-регресійної моделі здійснюють парний регресійний аналіз.

Парний регресійний аналіз спрямований на визначення ступеню зв'язку між змінними і як вони пов'язані в побудові парної моделі. Варто відзначити,

що не варто очікувати отримання точного співвідношення між будь-якими показниками, крім випадків, коли воно існує по визначенню.

Парний регресійний аналіз відбувається за наступними напрямками:

- збір статистичної інформації, яка відображає процеси використання земель. Це виконують шляхом обробки інформаційного забезпечення щодо використання земель;

- обробка статистичної інформації, її специфікація. Це важливий етап, оскільки він створює підґрунтя для отримання об'єктивних результатів і адекватної парної кореляційно-регресійної моделі;

- використання кореляційно-регресійного інструментарію для розробки парної моделі. В цьому аспекті здійснюють побудову матриці статистики, оцінку показників варіації змінних, розрахунок коефіцієнтів парної кореляції й детермінації, визначення параметрів парної моделі. Варто відзначити, що для обчислення параметрів рівняння виду $y = kx + b$ (лінійна парна модель залежності) частіш за все користуються методом найменших квадратів. При цьому ставиться умова, щоб сума квадратів відхилень всіх досліджених точок від ординат, обчислених за рівнянням прямої ε_i , була мінімальною. Іншими словами, пряма повинна проходити якомога ближче до вершин емпіричної лінії регресії. Це означає, що параметри k і b у рівнянні регресії треба визначити з виразу:

$$\varepsilon_i = \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i) = \min, \quad (7.1)$$

де y_i – ординати досліджуваних точок;

$\tilde{y}_i$ – ординати розрахункових точок, визначені за рівнянням регресії:

$$\tilde{y}_i = kx_i + b \quad (7.2)$$

таким чином, маємо:

$$\varepsilon_i = \sum [y_i - (kx + b)]^2 = F(k, b) \rightarrow \min. \quad (7.3)$$

У разі лінійної залежності геометричне і алгебраїчне значення коефіцієнта регресії полягає в тому, що він кількісно характеризує на скільки в середньому змінюється y при зміні X_i на одиницю свого вимірювання. Чим

більше чисельні значення коефіцієнта регресії, тим більше відносний приріст функції при зміні аргументу.

Оцінку адекватності розробленої лінійної парної кореляційно-регресійної моделі виконують на основі критеріїв і тестів.

Важливим етапом, на якому відображається результативність моделювання, є етап інтерпретації отриманих параметрів лінійної парної кореляційно-регресійної моделі.

В загальному вигляді математична модель лінійної парної регресії може мати вигляд:

$$y = a_0 + a_1x + e, \quad (7.4)$$

де y – залежна змінна;

x – незалежна змінна;

a_0, a_1 – параметри економетричного рівняння;

e – випадковий член.

Таким чином, парний регресійний аналіз дозволяє побудувати лінійну парну кореляційно-регресійну модель, яка дозволить встановити причинно-наслідковий зв'язок між залежною змінною і незалежним фактором і створити передумови для формування кількісної основи ухвалення рішень у сфері використання земель. Проте більшість процесів землекористування мають складний характер, де враховують велику кількість факторів. Тому необхідно будувати кореляційно-регресійні моделі, які враховують декілька показників, тобто розробляти лінійні багатофакторні кореляційно-регресійні моделі.

ТЕМА 8 ЛІНІЙНІ БАГАТОФАКТОРНІ КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСІЙНІ МОДЕЛІ

Напрями розробки лінійних багатофакторних кореляційно-регресійних моделей. Особливості розробки лінійних багатофакторних кореляційно-регресійних моделей.

8.1 Напрями розробки лінійних багатофакторних кореляційно-регресійних моделей

Для побудови лінійної моделі множинної регресії використовують статистичну інформацію про формування та використання земель і здійснюють такі напрями як математико-статистичний аналіз, побудова багатофакторної регресійної моделі, перевірка побудованої моделі на адекватність, аналіз (інтерпретація) отриманих результатів.

На етапі математико-статистичного аналізу проводять перевірку основних припущень класичного регресійного аналізу, крім того, здійснюють найважливішу процедуру багатофакторного аналізу – перевірку факторів на мультиколінеарність. Варто відзначити, що термін «мультиколінеарність» означає, що в багатофакторній регресійній моделі дві або більше незалежних змінних (факторів) пов'язані один з одним лінійною залежністю або, іншими словами, мають високий ступінь кореляції ($rx_i \rightarrow 1, i \neq j$).

Для здійснення математико-статистичного аналізу будують матрицю коефіцієнтів парної кореляції, які показують ступінь зв'язку між факторами математичної моделі. Потім аналізують коефіцієнти парної кореляції між факторами. Результатом етапу математико-статистичного аналізу є знаходження множини основних незалежних між собою факторів, що є базою для побудови регресійної моделі.

На другому етапі для побудови багатофакторної моделі вибирають фактори, що відображатимуть причинно-наслідковий зв'язок. В цьому аспекті широке використання отримали «покроковий» метод і метод «виключень».

Найбільш доцільно відшукувати рівняння множинної регресії шляхом послідовного підключення до парного рівняння решти аргументів у порядку їх значущості («покроковий метод»).

У цьому випадку виявляється можливість на кожному етапі аналізувати:

- обумовленість вирішуваної системи за числовим значенням її визначника (детермінатора);

- зміна β -коефіцієнтів, числове значення яких має бути менше 1, а знак не суперечити логіці;
- зростання коефіцієнта множинної кореляції R і убування залишкової дисперсії.

Методика послідовного підключення аргументів складається з наступних операцій. Обирають аргумент x_1 , якому відповідає найбільший за абсолютним значенням «зовнішній коефіцієнт» кореляції:

$$|r_{y1}| = \max |r_{yi}|, j = 1, 2, \dots, q. \quad (8.1)$$

За аргументом x_1 записують рівняння:

$$ty_1 = ty_1 tx_1. \quad (8.2)$$

Приєднують аргумент x_{j0} , для якого:

$$|rx_j X_1| = \min |rx_j x_1|, j = 2, 3, \dots, q, \quad (8.3)$$

і складають систему нормальних рівнянь:

$$ryx_1 = \beta_1 + rx_{j0} \beta_2; \quad (8.4)$$

$$ryx_{j0} = \beta_1 rx_{j0} x_1 + \beta_2, \quad (8.5)$$

далі обчислюють значення β_1 та β_2 . Визначають коефіцієнти кореляції.

Коефіцієнти кореляції для чинників порівнюють з нормативними значеннями і роблять висновок про включення до математичної моделі чинників залежно від наближення їх до 1.

Дослідження ведуть доти, поки не будуть апробовані чинники-аргументи і збережені тільки ті з них, для яких β_j коефіцієнти суттєві й лінійно незалежні.

Метод «виключень» полягає в тому, що вибирають набір факторів, які ймовірно можуть впливати на результативний показник. Потім, по черзі виключають ті фактори, в яких найменший коефіцієнт кореляції (згідно матриці статистики), а значення часткових F -критеріїв не перевищують нормативні значення. Таким чином, залишаються лише ті змінні, які відповідають розглянутим вище умовам.

Варто зазначити, що на цьому етапі розраховують коефіцієнт множинної кореляції, який показує загальний вплив незалежних факторів на результуючий показник математичної моделі. Він знаходиться у проміжку між 0 і 1. Чим

більше вплив факторів, тим більше коефіцієнт множинної кореляції наближається до 1. Він не може перевищувати значення останньої.

Оцінку коефіцієнта множинної кореляції ($R_{y x_1 x_2 \dots x_n}$) розраховують за формулою Боярського із застосуванням матричного підходу. Представлений коефіцієнт визначають також за формулою [97]:

$$R_{y x_1 x_2 \dots x_n} = r_{yx_1} \beta_{x_1} + r_{yx_2} \beta_{x_2} + \dots + r_{yx_n} \beta_{x_n}, \quad (8.6)$$

де $\beta_{x_1}, \beta_{x_2}, \dots, \beta_{x_n}$ – β -коефіцієнти для незалежних факторів математичної моделі.

Цей коефіцієнт можна розрахувати за формулою [98]:

$$\beta_i = \Delta_i / \Delta_0, \quad (8.7)$$

де Δ_0 – визначник матриці, в якій враховані коефіцієнти парної кореляції незалежних факторів;

Δ_i – визначник (детермінант) матриці взаємної кореляції (мультиколінеарності) із заміною у ній i -го стовпця стовпцем коефіцієнтів кореляції r_{yx_i} .

Знайдені в результаті розв’язання кореляційної матриці β -коефіцієнти показують, на яку частину середньоквадратичного відхилення σ_y змінюється середнє значення функції, якщо відповідний аргумент зменшується або збільшується, а інші аргументи залишаються незмінними.

Для з’ясування математико-статистичного змісту множинної кореляції всю досліджувану групу змінних варто розглядати як один чинник-аргумент. При цьому розраховують коефіцієнт надійності (M):

$$M = \frac{R\sqrt{n}}{1-R^2}, \quad (8.8)$$

де n – обсяг вибірки, од.

Стандартну помилку (середню квадратичну похибку) коефіцієнта множинної кореляції визначають за моделлю:

$$\sigma_R = (1 - R) / \sqrt{n}. \quad (8.9)$$

Сукупний вплив врахованих змінних на функцію визначає коефіцієнт загальної детермінації R^2 , а окремих чинників-аргументів за числовими значеннями часткової детермінації $r_i \beta_i$.

8.2 Особливості розробки лінійних багатофакторних кореляційно-регресійних моделей

Багаторівневий регресійний аналіз є продовженням парного регресійного аналізу у випадках, коли залежна змінна y пов'язана з двома або більше незалежними змінними x . Тобто відбувається розширення парної регресійної моделі, де важливе значення відіграють спільний вплив незалежних змінних на залежну змінну. Тому у регресійному аналізі необхідно враховувати й чітко визначити цей вплив, а також важливе значення має вирішення проблеми специфікації.

Остання проблема лежить у площині вибору тих факторів, які впливають на результуючий показник, інтерпретуються і об'єктивно відображають процеси у сфері використання земель.

Результатом регресійного аналізу є побудова кількісної (багатофакторної) регресійної моделі. У загальному вигляді, кількісна регресійна модель має вигляд:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + e, \quad (8.10)$$

або

$$y = b + k_1x_1 + k_2x_2 + \dots + k_ix_i + e, \quad (8.11)$$

де y – результуюча залежна змінна;

x_1, x_2, x_i – незалежна змінна;

$a_0, a_1, a_2, a_i, b, k_1, k_2, k_i$ – параметри рівняння (коефіцієнти регресії);

e – випадковий член.

У кількісному регресійному аналізі визначають коефіцієнт регресії, який необхідний для забезпечення найкращої відповідності спостереженням і отримання оптимальних оцінок невідомих значень параметрів моделей.

Для розрахунку коефіцієнтів регресії a_0, a_1, a_2, a_i використовують метод найменших квадратів. Так для пошуку коефіцієнтів регресії (параметрів) двофакторної моделі складають систему нормальних рівнянь.

Регресійний аналіз дозволяє розмежовувати вплив незалежних змінних, припускаючи при цьому можливість їх кореляції. Коефіцієнт регресії для кожної змінної x дає оцінку її впливу на величину y у випадку незмінності впливу на неї всіх інших змінних x . Це можливо встановити двома способами. Один з них складається у виявленні того, що якщо модель правильно специфікована і виконуються умови Гауса – Маркова, то оцінки будуть незміщеними. У межах представленого способу необхідно розглянути умови Гауса – Маркова.

Якість коефіцієнтів регресії залежить від якості випадкового члена. Для того, щоб регресійний аналіз давав найкращі результати, випадковий член повинен задовольняти 4 умовам, відомим як умови Гауса – Маркова. Перша умова Гауса – Маркова полягає в тому, що математичне сподівання випадкового члена будь-якого спостереження повинно дорівнювати нулю. Друга умова Гауса-Маркова полягає в тому, що дисперсія випадкового члену повинна бути постійною для всіх спостережень. Третя умова Гауса – Маркова припускає відсутність систематичного зв'язку між значенням випадкового члену в будь-яких спостереженнях. Випадкові члени повинні бути абсолютно незалежними один від одного. Четверта умова Гауса – Маркова полягає в тому, що випадковий член повинен бути розподілений незалежно від пояснювальних змінних. Отже, пояснювальні змінні не є стохастичними. Значення будь-якої незалежної змінної в кожному спостереженні повинно визначатись зовнішніми причинами, які не визначені у рівнянні регресії.

Коефіцієнти регресії є більш точними:

- чим більша кількість спостережень у виборці;
- чим більша дисперсія вибірки пояснювальних змінних;
- чим менша теоретична дисперсія випадкового члену;
- чим менше зв'язані один з одним пояснювальні змінні.

Стандартну помилку коефіцієнта кількісної регресії визначають аналогічно, як і в парному регресійному аналізі. Тобто формула для стандартної

помилки може бути визначена на основі заміни дисперсії на незміщену оцінку і витягування квадратного кореню.

Результатом кількісного регресійного аналізу є побудова багатфакторної моделі, яка відображає причинно-наслідкові зв'язки між факторами і створює кількісне підґрунтя для розробки механізмів ухвалення ефективних рішень.

ТЕМА 9 КРИТЕРІЇ АДЕКВАТНОСТІ КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Критерії, що характеризують ступінь впливу чинників використання земель. Критерії, що визначають достовірність та значущість встановлених зв'язків у математичній моделі. Критерії перевірки на гомо- або гетескедастичність, Дарбіна – Уотсона. Перевірка на мультиколінеарність.

9.1 Критерії, що характеризують ступінь впливу чинників використання земель

Для визначення адекватності розроблених математичних моделей застосовують відповідні критерії. У цьому контексті заслуговують на увагу критерії, що характеризують ступінь впливу чинників використання земель. Слід зазначити, що коефіцієнти кореляції (R) та детермінації (D) визначають ступінь впливу незалежних чинників на залежну змінну.

Коефіцієнт кореляції, що відображає силу та напрям зв'язку між двома змінними, визначають за відповідною математичною моделлю, яка базується на розрахунку коваріації між змінними та їхніх стандартних відхилень [98]:

$$R = \frac{n (\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (9.1)$$

де n – кількість спостережень, од.;

x – незалежна змінна, відн. од.;

y – залежна змінна, відн. од.

Коефіцієнт детермінації оцінюється такою моделлю:

$$D = R^2. \quad (9.2)$$

Коефіцієнт кореляції визначає рівень впливу незалежної змінної x (інтегральний показник рівня стейкхолдерних відносин будівельних підприємств) на залежний чинник y (інтегральний показник інвестиційної привабливості). Значення коефіцієнту кореляції варіює у проміжку від -1 до 1. Додатне або від'ємне значення визначає, або прямий, або обернений зв'язок між показниками. За модулем значень коефіцієнта кореляції, якщо показник дорівнює 0 – відсутній зв'язок між показниками; від 0,01 до 0,2 – низький; 0,201–0,4 – несуттєвий; 0,401–0,6 – помірний; 0,601–0,8 – суттєвий; 0,801–0,99 – високий; 1 – абсолютний. Сутність коефіцієнта кореляції визначає, наскільки змінюється інтегральний показник залежно від чинників використання земель [31].

Коефіцієнт детермінації є більш уточнюючим критерієм, що визначає рівень впливу чинників використання земель на інтегральний показник, його значення варіює від 0 до 1, залежно від рівня їх впливів [31]. Характеристика цього впливу наведена у таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Значення коефіцієнту детермінації та їх характеристика у процесах використання нерухомості на регіональному рівні, відн. од.

Діапазон значень коефіцієнту детермінації	Характеристика
0	відсутній вплив чинників використання нерухомості на узагальнюючі критерії
0,01 – 0,2	низький рівень впливу
0,201 – 0,4	незначний
0,401 – 0,6	посередній
0,601 – 0,8	значний
0,801–0,99	високий
1	абсолютний

9.2 Критерії, що визначають достовірність та значущість встановлених зв'язків у математичній моделі

Критеріями, що визначають вірогідність та значущість встановлених зв'язків у математичній моделі є t -критерій Стюдента та F -критерій Фішера.

Значення t -критерію Стюдента обчислюють за моделлю

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}, \quad (9.3)$$

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

m_1, m_2 – значення статистичних помилок середніх арифметичних показників, од. [99].

t -критерій Стюдента визначає доцільність встановлених зв'язків між показниками використання земель. На основі критерію Стюдента визначають фактичні значення, які порівнюють із відповідними нормативними значеннями, що представлені у довідкових таблицях. У випадках, коли фактичні значення t -критерію Стюдента перевищують його нормативні значення, то встановлені зв'язки є доцільними. У протилежному випадку зв'язки між показниками використання земель є нестійкими та недоцільними. У такому випадку модель вважають неадекватною [99].

F -критерій Фішера оцінюють за моделлю:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \times \frac{(n - m - 1)}{m}, \quad (9.4)$$

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

Цей критерій визначає рівень суттєвості та значущості встановлених зв'язків між показниками. При цьому обчислюють фактичне значення F -критерію Фішера, яке порівнюють із його нормативними значеннями, які представлені у довідкових таблицях. У випадку, коли фактичне значення F -критерію Фішера перевищує його нормативне значення, то зв'язки між показниками використання земель приймають суттєвими і значущими. У

протилежному разі математична модель є неадекватною і подальші дослідження не здійснюють [31].

9.3 Критерії перевірки на гомо- або гетероскедастичність Дарбіна – Уотсона.

Перевірка на мультиколінеарність

Критерії перевірки на гомо- або гетероскедастичність визначають за моделями Гольдфельда – Квандта, Глейсера, за критерієм μ . Визначають рівень однорідності залишків показників математичної моделі. Якщо розподіл залишків є однорідним, то це підтверджує гомоскедастичність (визначають значення μ). Якщо розподіл залишків не є однорідним, то підтверджують гетероскедастичність за значенням μ . При цьому характеризується рівень адекватності математичної моделі: якщо залишки гомоскедастичні, модель адекватна; гетероскедастичність залишків вказує на неадекватність моделі [99].

Для перевірки на автокореляцію залишків застосовують критерій Дарбіна – Уотсона (DW), який визначають за моделлю:

$$DW = \frac{\sum (e_i - e_{i-1})^2}{\sum e_i^2}, \quad (9.5)$$

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

Фактичне значення критерію Дарбіна – Уотсона (DW) порівнюють з табличними значеннями. Якщо значення критерію DW менше ніж 2, то можливі варіанти: при фактичному значенні DW , меншому нижчого табличного значення DW , то нульова гіпотеза про відсутність автокореляції відкидається і робиться висновок про позитивну автокореляцію в залишках; при фактичному значенні DW більше верхнього табличного значення DW , то нульова гіпотеза про відсутність автокореляції не відкидається і робиться висновок про відсутність кореляційного зв'язку наступних залишків з попередніми; при тому, якщо фактичне значення DW знаходиться у проміжку між нижчим і верхнім значеннями критерію Дарбіна – Уотсона, не можна ні відкинути, ні прийняти гіпотезу про відсутність автокореляції в залишках. Це потребує подальших

досліджень. Якщо фактичне значення критерію DW більше 2 – негативна автокореляція. Порівняння граничного значення критерію Дарбіна – Уотсона із фактичним значенням $4 - DW$ можливі результати: при $4 - DW$ менше значення нижчої границі критерію, відкидається нульова гіпотеза про відсутність автокореляції і робиться висновок про наявність негативної автокореляції в залишках; при $4 - DW$ більше верхньої межі критерію Дарбіна – Уотсона, то приймається нульова гіпотеза про відсутність автокореляції в залишках; якщо $4 - DW$ знаходиться у проміжку між значеннями меншої і нижчої границі критерію Дарбіна – Уотсона, то не можливо зробити висновок ні про наявність, ні про відсутність автокореляції залишків. Запропонований тест дозволяє перевіряти математичну модель на автокореляцію. Якщо вона позитивна, то можливо отримання недостовірних результатів оцінок, якщо негативна автокореляція, то модель є адекватною [99].

В математичному моделюванні необхідно враховувати також явище мультиколінеарності. Мультиколінеарність – це явище, яке використовують для опису проблеми, коли нестрога лінійна залежність між пояснювальними змінними призводить до отримання ненадійних оцінок регресії. Проте, така залежність, зовсім необов'язково дає незадовільні оцінки. Якщо всі інші умови задовільні, тобто якщо кількість спостережень і вибіркві дисперсії пояснювальних змінних великі, а дисперсія випадкового члену – мала, то в результаті можна отримати достатньо позитивні оцінки.

Мультиколінеарність виникає за рахунок отримання нестрогої залежності одного (або більше) незадовільних умов, і це – питання ступеня визначеності явища, а не його виду. Оцінки регресії будуть незадовільні від неї у відповідному ступені, коли всі незалежні змінні будуть абсолютно некорельовані. Розгляд цієї проблеми починається тільки тоді, коли вона доволі суттєво впливає на результати оцінки регресії.

Доволі простий спосіб виявлення мультиколінеарності – це побудова матриці коефіцієнтів парної кореляції, яка відображає силу зв'язків між факторами. У випадку, коли коефіцієнти парної кореляції між незалежними

факторами входять у відповідний проміжок (табл. 9.2), можна свідчити про рівень мультиколінеарності.

Таблиця 9.2 – Рівень мультиколінеарності в залежності від значень коефіцієнтів парної кореляції між незалежними факторами, відн. од.

Значення коефіцієнтів парної кореляції між незалежними факторами	Рівень мультиколінеарності
$r_{x_1x_2} = 0,85-1,0$	сильна
$r_{x_1x_2} = 0,55-0,84$	помірна
$r_{x_1x_2} = 0,25-0,54$	слаба
$r_{x_1x_2} = 0-0,24$	відсутня

Варто також відзначити, що явище мультиколінеарності, тобто лінійну залежність одного з аргументу від інших, виявляють декількома способами:

- професійними міркуваннями по суті досліджуваного явища;
- інструкцією на основі «внутрішніх» і «зовнішніх» коефіцієнтів кореляції кожного з аргументів. Якщо «внутрішній» коефіцієнт кореляції більше «зовнішнього», то цей аргумент не варто включати до рівняння множинної кореляції;
- використанням статистичного критерію мультиколінеарності (Феррара і Гюбера).

Ферраром і Глобером доведено, що статична величина підкоряється розподілу Фішера з $(n-p)$ і $(p-1)$ ступенями свободи. Отже, для виявлення мультиколінеарності використовують звичайний прийом перевірки статистичних гіпотез. Обчисливши фактичне значення представленого критерію, порівнюють його значення з табличними.

Висновки про виключення якогось аргументу супроводжуються логічним аналізом. По аргументах, що збереглися, повторюють перевірку мультиколінеарності.

Існують різні методи для зменшення мультиколінеарності. Їх поділяють на дві категорії. До першої категорії відносять методи, спрямовані на виконання умов, що забезпечують надійність оцінок регресії, а до другої –

відносять використання зовнішньої інформації. Якщо використовувати можливі значення показників, то, звісно, було б важливо збільшити кількість спостережень. Якщо, наприклад, під час використання часових рядів це можна зробити шляхом скорочення терміну кожного періоду часу. Якщо використовують дані перехресної вибірки і дослідник знаходиться на стадії планування дослідження, то можна збільшити точність оцінок регресії і послабити проблему мультиколінеарності за рахунок більших витрат коштів на збільшення розміру вибірки, та інші методи.

Варто відзначити, що ці методи лише зменшують вплив мультиколінеарності. У практиці математичного моделювання процесів використання земель нівелювання впливу цього явища здійснюють шляхом виключення одного з незалежних факторів моделі, який сильно впливає на інший фактор, а потім продовжують дослідження.

ТЕМА 10 НЕЛІНІЙНІ БАГАТОФАКТОРНІ КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСІЙНІ МОДЕЛІ

Напрями розробки нелінійних багатофакторних кореляційно-регресійних моделей. Особливості застосування нелінійних багатофакторних кореляційно-регресійних моделей.

10.1 Напрями розробки нелінійних багатофакторних кореляційно- регресійних моделей

У дослідженнях складних соціально-економічних, екологічних, інженерних і управлінських систем традиційні лінійні моделі часто виявляються недостатніми через складну природу зв'язків між змінними. У таких випадках ефективними інструментами аналізу виступають нелінійні багатофакторні кореляційно-регресійні моделі, що дають змогу враховувати

наявність нерівномірного впливу факторів, ефекти взаємодії та насичення. Основні напрями розробки таких моделей включають:

- вибір функціональної форми моделі. Один з ключових етапів – визначення типу нелінійної залежності: експоненціальної, логарифмічної, степеневій, поліноміальної, логістичної тощо. Вибір форми залежить від природи процесу, який моделюють, та результатів попереднього аналізу (наприклад, візуального чи за допомогою графіків розсіювання);

- використання трансформацій змінних. Для отримання нелінійної моделі іноді застосовують перетворення (логарифмування, зведення до степеня, обернення) як залежної, так і незалежних змінних. Це дозволяє використовувати методи лінійної регресії для апроксимації нелінійних зв'язків;

- застосування алгоритмів нелінійного оцінювання параметрів. У випадках, коли трансформація не дає змоги лінеаризувати модель, використовують спеціальні числові методи – метод найменших квадратів для нелінійних моделей, метод Ньютона – Рафсона, градієнтний спуск, алгоритм Левенберга – Марквардта тощо;

- інтеграція взаємодіючих факторів. У багатьох реальних системах вплив факторів є не ізольованим, а взаємопов'язаним. У моделі включають мультиплікативні або комбіновані змінні, які відображають взаємодію між факторами;

- оцінка якості моделі. На кожному етапі розробки необхідна статистична перевірка значущості параметрів, адекватності моделі та її прогностичної здатності. Основними критеріями є коефіцієнт детермінації, залишкова дисперсія, F-критерій, t-критерій, а також перевірка автокореляції, гетероскедастичності та нормальності залишків;

- моделювання на основі емпіричних даних і використання спеціалізованого програмного забезпечення. У сучасній практиці для побудови та тестування нелінійних моделей широко застосовують програмні засоби: R, Python (бібліотеки NumPy, SciPy, statsmodels), EViews, SPSS, Matlab, Statistica тощо;

– аналіз чутливості моделі до зміни факторів. Оцінювання зміни вихідного показника при варіації одного або декількох факторів дозволяє виявити найбільш впливові змінні, що критично важливо при прийнятті рішень або управлінні складними системами;

– прогнозне моделювання та сценарний аналіз. Нелінійні моделі дозволяють не тільки описати поточні залежності, але й будувати сценарії розвитку на основі варіативного зміщення факторних показників, що підвищує стратегічну цінність моделі.

10.2 Особливості застосування нелінійних багатфакторних кореляційно-регресійних моделей

Нелінійні багатфакторні кореляційно-регресійні моделі відіграють ключову роль у випадках, коли реальні залежності між змінними виходять за межі лінійних уявлень. Їх застосування дозволяє точніше відображати складні функціональні зв'язки в економіці, екології, техніці, соціальній сфері, агропромисловому комплексі, містобудуванні тощо.

Основними особливостями використання таких моделей є:

– відображення нелінійної природи взаємозв'язків. У багатьох процесах зв'язок між результативною та пояснювальними змінними не є пропорційним. Наприклад, збільшення інвестицій у певному діапазоні може давати зростаючий ефект, а після певного рівня – знижувальний (ефект насичення). Нелінійні моделі дозволяють фіксувати ці нелінійності у формі кривих, а не прямих ліній;

– можливість моделювання порогових та граничних ефектів. Такі моделі корисні для виявлення значень змінних, при яких змінюється характер впливу (наприклад, точка зміни еластичності або мінімальна/максимальна межа ефективності);

– ускладнення в інтерпретації параметрів. На відміну від лінійних моделей, у яких коефіцієнти мають пряме економічне або статистичне тлумачення, параметри в нелінійних моделях можуть мати складнішу

інтерпретацію, особливо у випадках трансформації змінних або використання поліноміальних і логістичних функцій;

- вимоги до якісного масиву даних. Для побудови надійної нелінійної моделі потрібен достатньо великий і репрезентативний обсяг вхідних даних. Модель чутлива до викидів, мультиколінеарності та неправильно заданих початкових умов;

- часте використання ітеративних числових методів. Нелінійні моделі не мають аналітичних розв'язків, тому вимагають застосування чисельних методів для оцінювання параметрів, наприклад, алгоритмів градієнтного спуску, методу найменших квадратів з нелінійною апроксимацією, байєсівських методів тощо;

- здатність відображати складні взаємодії між факторами. Через використання комбінацій (мультиплікативних функцій) нелінійні моделі дозволяють описати ефекти взаємозалежностей між пояснювальними змінними, що особливо важливо в регіональних, екологічних та соціально-економічних дослідженнях;

- висока прогностична гнучкість. У належним чином налаштованій нелінійній моделі прогноз має більшу точність, особливо в умовах криволінійного тренду або складної динаміки процесу;

- підвищені ризики переадаптації (overfitting). Через високу кількість параметрів модель може надто точно «підганятися» під дані, втрачаючи при цьому здатність до генералізації на нові спостереження;

- складність автоматизованого підбору моделі. Для знаходження найбільш адекватної функціональної форми та параметрів моделі часто потрібне залучення фахової експертизи або застосування методів машинного навчання, зокрема генетичних алгоритмів, нейромереж, ансамблевих моделей тощо.

Ці особливості зумовлюють як переваги, так і складнощі в застосуванні нелінійних моделей, водночас розширюючи можливості точного прогнозування, стратегічного планування та оцінювання складних взаємозв'язків між явищами.

ТЕМА 11 ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Формування результатів математичного моделювання із застосуванням інструментарію кореляційно-регресійного аналізу. Розробка рекомендацій на основі результатів математичного моделювання.

11.1 Формування результатів математичного моделювання із застосуванням інструментарію кореляційно-регресійного аналізу

Формування результатів математичного моделювання із застосуванням інструментарію кореляційно-регресійного аналізу здійснюють на основі розроблених моделей та їх інтерпретації. Розглянемо приклади здійснення математичного моделювання. Розроблена математична модель та коефіцієнт детермінації, що характеризує рівень залежності між інтегральним показником рівня просторового забезпечення екологічного моніторингу використання земель міського середовища (I_e) й чинником зміни співвідношення валового регіонального продукту й чисельності населення регіонів (I_{VRP}) (рис. 11.1).

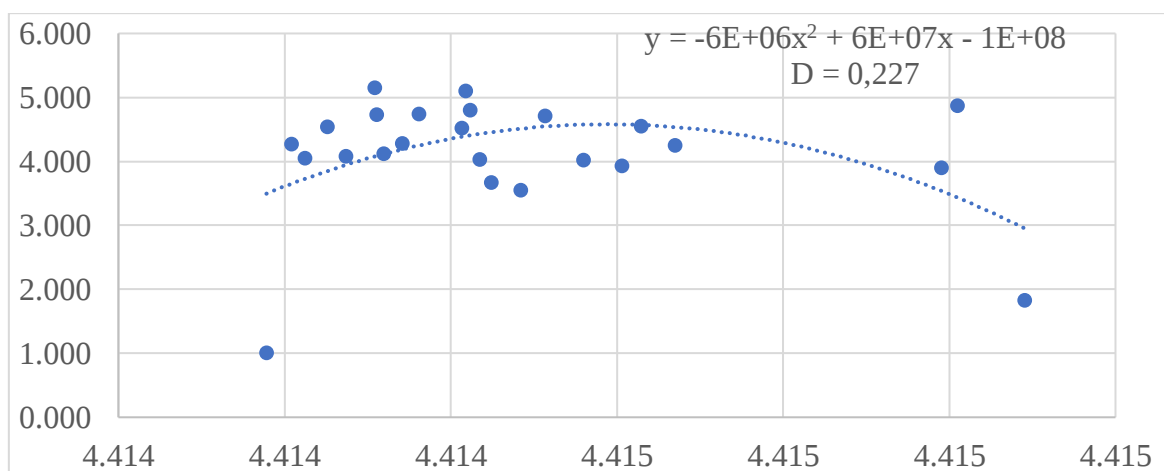


Рисунок 11.1 – Математична модель та коефіцієнт детермінації, що характеризує рівень залежності між I_e та I_{VRP} , відн. од.

У результаті дослідження визначено, що вплив інтегрального показника на 22,7 % обумовлює зміни співвідношення валового регіонального продукту й чисельності населення регіонів. Причому вони мають хвилеподібний характер.

Враховуючи визначені умови відхилення інтегрального показника більш ніж на 10 % за медіаною та їх видалення із вибірки даних, побудована математична модель і коефіцієнт детермінації, що характеризує рівень залежності між інтегральним показником рівня просторового забезпечення екологічного моніторингу використання земель міського середовища й чинником зміни співвідношення валового регіонального продукту й чисельності населення регіонів (рис. 11.2).

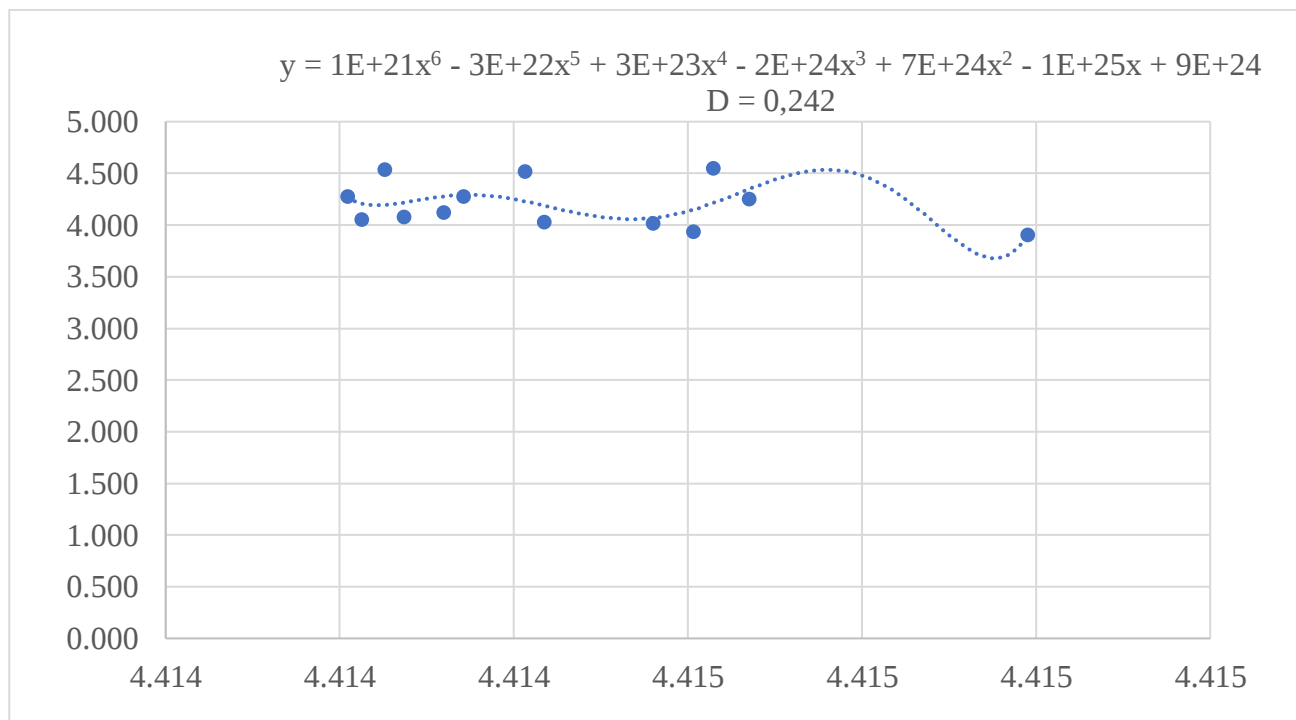


Рисунок 11.2 – Математична модель та коефіцієнт детермінації, що характеризує рівень залежності між I_e та I_{VRP} за умови відхилення інтегрального показника на 10 %, відн. од.

На основі математичного моделювання визначено, що інтегральний показник рівня просторового забезпечення екологічного моніторингу

використання земель міського середовища на 24,2 % обумовлює зміни співвідношення валового регіонального продукту й чисельності населення регіонів. Отже, спостерігається зростання рівня зв'язку між показниками.

Враховуючи відповідні умови відхилення показника інтегрального показника більш ніж на 15 % за медіаною та їх вилучення із вибірки даних, побудована математична модель і коефіцієнт детермінації, що характеризує рівень залежності між інтегральним показником рівня просторового забезпечення екологічного моніторингу використання земель міського середовища й чинником зміни співвідношення валового регіонального продукту й чисельності населення регіонів (рис. 11.3).

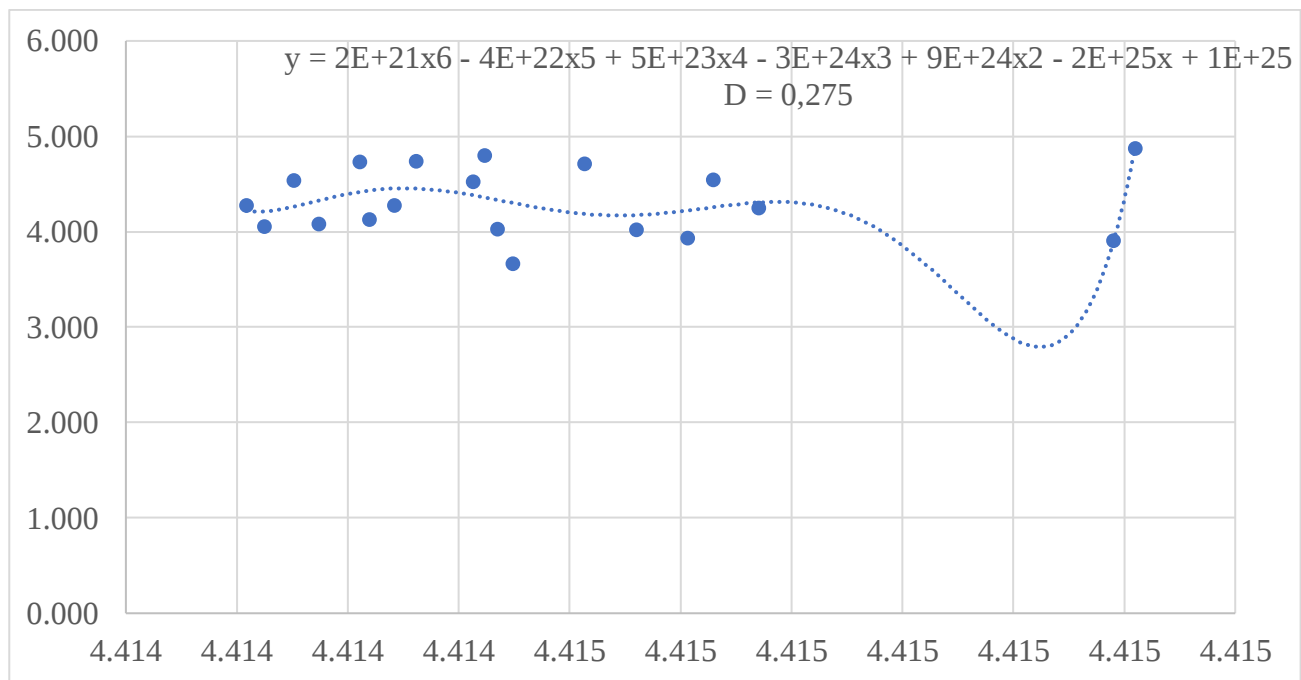


Рисунок 11.3 – Математична модель та коефіцієнт детермінації, що характеризує рівень залежності між I_e та I_{VRP} за умови відхилення інтегрального показника на 15 %, відн. од.

У результаті дослідження визначено, що інтегральний показник на 27,2 % обумовлює зміни співвідношення валового регіонального продукту й чисельності населення регіонів. Виключення Вінницького, Закарпатського та

Чернігівського регіонів із вибірки даних характеризується зниженням уваги щодо формування та використання просторового забезпечення екологічного моніторингу використання земель міського середовища у системі регіонального розвитку порівняно із іншими регіонами. Побудована математична модель визначає хвилеподібний характер змін, що відбуваються при формуванні та використанні просторового забезпечення екологічного моніторингу використання земель міського середовища та визначенні валового регіонального продукту відносно чисельності населення. До того ж негативний вплив інтегрального показника змінюється на позитивний, і навпаки.

11.2 Розробка рекомендацій на основі результатів математичного моделювання

Розробка науково обґрунтованих заходів щодо підвищення рівня просторового забезпечення екологічного моніторингу використання земель міського середовища відносно зміни співвідношення валового регіонального продукту й чисельності населення регіонів формується на основі відповідних рекомендацій за результатами математичного моделювання, які спрямовані на:

- формування та реалізацію напрямів використання земель міського середовища;
- розробку інформаційно-аналітичного забезпечення використання земель міського середовища, враховуючи особливості екологічних напрямів їх застосування;
- формування відповідного просторового забезпечення;
- встановлення обмежень у використанні земель територій та об'єктів земель міського середовища, зокрема земель територій та об'єктів екологічного спрямування [100];
- здійснення особливого режиму охорони, відтворення і використання земель територій та об'єктів екологічного спрямування, який поширюється на всі розташовані в межах таких територій та об'єктів землі та земельні ділянки

незалежно від форми власності та цільового призначення, крім випадків, передбачених [27];

- зростання значення виконання екологічних прав громадян спрямованих на: безпечне для його життя та здоров'я навколишнє природне середовище;

- участь в обговоренні та внесення пропозицій до проєктів нормативно-правових актів;

- участь в розробці та здійсненні заходів щодо охорони навколишнього природного середовища, раціонального і комплексного використання природних ресурсів;

- вільний доступ до інформації про стан навколишнього природного середовища (екологічна інформація) та вільне отримання, використання, поширення та зберігання такої інформації, за винятком обмежень, встановлених законом;

- участь у громадських обговореннях з питань впливу планованої діяльності на довкілля; одержання екологічної освіти;

- трансформацію судових інституцій щодо забезпечення контролю та екологічного захисту земель міського середовища;

- забезпечення екологічних прав громадян у порядку, передбаченому законом;

- формування кількісної основи ухвалення обґрунтованих управлінських рішень у сфері формування та використання земель міського середовища, враховуючи особливості й напрями екологічного розвитку;

- зростання значення гарантій екологічних прав через проведення широкомасштабних державних заходів щодо підтримання, відновлення і поліпшення стану навколишнього природного середовища;

- здійснення стейкхолдерних відносин;

- здійснення державного та громадського контролю за дотриманням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

– забезпечення компенсації в установленому порядку шкоди, заподіяної здоров'ю і майну громадян внаслідок порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

– визначення невідворотності відповідальності за порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища; створення та функціонування мережі загальнодержавної екологічної автоматизованої інформаційно-аналітичної системи забезпечення доступу до екологічної інформації;

– зростання ефективності управління охороною навколишнього природного середовища, яке полягає у здійсненні в цій галузі функцій спостереження, дослідження, стратегічної екологічної оцінки, оцінки впливу на довкілля, контролю, прогнозування, програмування, інформування та іншої виконавчо-розпорядчої діяльності, враховуючи положення;

– застосування моніторингових процедур навколишнього природного середовища, створення і забезпечення роботи мережі загальнодержавної екологічної автоматизованої інформаційно-аналітичної системи забезпечення доступу до екологічної інформації відповідно до;

– зростання значення функціонування органів місцевого самоврядування щодо формування та реалізації політики формування й використання земель об'єктів природно-заповідного фонду;

– зростання значення напрямів формування та реалізації інформаційного забезпечення про: стан навколишнього природного середовища чи його об'єктів – землі, вод, надр, атмосферного повітря, рослинного і тваринного світу та рівні їх забруднення; біологічне різноманіття і його компоненти, включаючи генетично видозмінені організми та їх взаємодію із об'єктами навколишнього природного середовища;

– джерела, фактори, матеріали, речовини, продукцію, енергію, фізичні фактори (шум, вібрацію, електромагнітне випромінювання, радіацію), які впливають або можуть вплинути на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей;

– загрозу виникнення і причини надзвичайних екологічних ситуацій, результати ліквідації цих явищ, рекомендації щодо заходів, спрямованих на зменшення їх негативного впливу на природні об'єкти та здоров'я людей;

– екологічні прогнози, плани і програми, заходи, в тому числі адміністративні, державну екологічну політику, законодавство про охорону навколишнього природного середовища;

– витрати, пов'язані із здійсненням природоохоронних заходів за рахунок фондів охорони навколишнього природного середовища, інших джерел фінансування, економічний аналіз, проведений у процесі ухвалення рішень з питань, що стосуються довкілля відповідно до;

– зростання рівня екологічного інформаційного забезпечення, яке здійснюється органами державної влади та органами місцевого самоврядування в межах їх повноважень;

– забезпечення підвищення рівня додержання екологічних вимог при використанні природних ресурсів відносно: раціонального і економного використання природних ресурсів на основі широкого застосування новітніх технологій;

– здійснення заходів щодо запобігання псуванню, забрудненню, виснаженню природних ресурсів, негативному впливу на стан навколишнього природного середовища;

– здійснення заходів щодо відтворення відновлюваних природних ресурсів; застосування біологічних, хімічних та інших методів поліпшення якості природних ресурсів, які забезпечують охорону навколишнього природного середовища і безпеку здоров'я населення;

– збереження територій та об'єктів природно-заповідного фонду, а також інших територій, що підлягають особливій охороні;

– здійснення господарської та іншої діяльності без порушення екологічних прав інших осіб; здійснення заходів щодо збереження і невиснажливого використання біологічного різноманіття під час провадження діяльності, пов'язаної з поводженням з генетично модифікованими організмами;

– створення та реалізація економічного механізму формування та використання земель міського середовища, враховуючи екологічні аспекти їх розвитку;

– забезпечення ефективності природними парками, ботанічними садами, дендрологічними та зоологічними парками, ландшафтними парками;

– забезпечення збереження цінних природних та історико-культурних комплексів та об'єктів; створення умов для ефективного туризму, відпочинку та інших видів рекреаційної діяльності в природних умовах з додержанням режиму охорони заповідних природних комплексів і об'єктів;

– активну реалізацію напрямів наукових досліджень на територіях природних парків, ботанічних садів, дендрологічних парків та зоологічних парків з урахуванням програм і планів науково-дослідних робіт, які затверджуються Національною академією наук України та центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування і реалізує державну політику у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Забезпечення функціонування відповідних наукових підрозділів, структур, штатів, кошторису витрат яких затверджуються органами, у підпорядкуванні яких перебувають зазначені об'єкти;

– зростання значення використання економічних засобів: економічного обґрунтування організації та розвитку земель міського середовища, враховуючи екологічні аспекти їх функціонування; економічної оцінки територій та об'єктів, ведення їх кадастру;

– диференційованого визначення джерел і нормативів фінансування організації; надання відповідним підприємствам, установам та організаціям, що забезпечують екологічні землекористування, податкових та інших пільг;

– компенсації у встановленому порядку збитків, завданих порушенням законодавства. Економічне обґрунтування розвитку земель, а також економічна оцінка природних комплексів та об'єктів, що входять до його складу, здійснюються відповідно до кадастру територій та об'єктів на основі спеціальних методик, які затверджуються центральним органом виконавчої

влади, що забезпечує формування і реалізує державну політику у сфері охорони навколишнього природного середовища;

- забезпечення фінансування заходів щодо природних парків, а також ботанічних садів, дендрологічних парків та зоологічних парків загальнодержавного значення здійснюється за рахунок державного бюджету України, місцевих бюджетів, позабюджетних і благодійних фондів, коштів підприємств, установ, організацій та громадян на основі норм і положень;

- проведення спеціальних заходів, спрямованих на запобігання знищенню чи пошкодженню природних комплексів територій та об'єктів можуть виділятися кошти: державного та місцевого бюджетів;

- забезпечення створення й функціонування цільових екологічних фондів регіональних ландшафтних парків, ботанічних садів, дендрологічних парків та зоологічних парків;

- зростання рівня ефективності функціонування екологічного фонду, якому надається право: одержувати грошові внески від підприємств, установ, організацій, у тому числі міжнародних і зарубіжних, та громадян;

- відкривати рахунки в установах банків; виступати позивачем або відповідачем в органах суду чи арбітражного суду, яке визначається положеннями;

- визначення можливостей функціонування Ради екологічного фонду, яка формує напрями створення та використання екологічного фонду, забезпечує ефективність управління екологічними процесами, формує та застосовує кошторис видатків, розробляє і здійснює комплекс контролюючих заходів, забезпечує взаємодію із різними групами стейкхолдерів у сфері реалізації екологічних програм;

- активізація розробки проєктів створення регіональних ландшафтних парків, заповідних урочищ, а також заказників, пам'яток природи та парків-пам'яток садово-паркового мистецтва місцевого значення, що забезпечується обласними, Київською та Севастопольською міськими державними адміністраціями;

– формування відповідних стейкхолдерних відносин у контексті створення територій та об’єктів для формування і реалізації державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища, обласними, Київською та Севастопольською міськими державними адміністраціями;

– забезпечення та резервування коштів для створення умов щодо недопущення знищення або руйнування в результаті господарської діяльності цінних для заповідання територій та об’єктів до ухвалення у встановленому порядку рішень про організацію чи оголошення територій та об’єктів землекористування на основі;

– формування системного середовища щодо формування та застосування державного кадастру територій та об’єктів земель міського середовища, враховуючи екологічні аспекти та особливості їх формування та використання;

– організацію первинного обліку земель міського середовища відповідно сучасних умов із застосуванням сучасних геоінформаційних систем і технологій;

– підвищення ефективності організації охорони територій, а саме: ботанічних садів, дендрологічних парків, зоологічних парків, парків-пам’яток садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення, а також регіональних ландшафтних парків, управління якими здійснюється спеціальними адміністраціями;

– зростання значення функціонування служби державної охорони природно-заповідного фонду України на регіональному рівні;

– забезпечення правового і соціального захисту посадових осіб служби державної охорони та інших служб, що здійснюють охорону територій та об’єктів земель міського середовища;

– формування партнерських відносин між державними інституціями та іншими стейкхолдерами щодо забезпечення контролю за формуванням та використанням земель міського середовища на регіональному рівні;

– здійснення громадського контролю за екологічним використанням земель міського середовища, активізація процесу створення інституцій

громадських інспекторів охорони навколишнього природного середовища на регіональному рівні;

- зростання рівня відповідальності за порушення законодавства у сфері формування та використання земель міського середовища;

- збільшення рівня ефективності розробки та реалізації міжнародних наукових та науково-технічних програм, забезпечення обміну одержаної наукової інформації, створення на суміжних територіях заповідників, національних природних парків і інших територій та об'єктів природно-заповідного фонду, організації спільної підготовки науковців і фахівців, еколого-виховної та видавничої діяльності.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ФОРМУВАННЯ КІЛЬКІСНОЇ ОСНОВИ УХВАЛЕННЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

ТЕМА 12 ТИПОВІ ОПТИМІЗАЦІЙНІ ЗАДАЧІ, ЇХНЯ КЛАСИФІКАЦІЯ

Концептуальні аспекти оптимізаційного моделювання. Ретроспективний аналіз. Типові оптимізаційні задачі. Класифікація оптимізаційних задач.

12.1 Концептуальні аспекти оптимізаційного моделювання.

Ретроспективний аналіз

На якому рівні не знаходилося суспільне виробництво, які великі не були трудові, матеріальні й фінансові ресурси, перед господарськими керівниками завжди стоїть завдання найкращого використання виробничих ресурсів і потужностей. Тобто необхідно знайти оптимальні параметри між представленими виробничими ресурсами. Для цього необхідно сформулювати математичні моделі оптимізації шляхом розв'язання задачі оптимізації.

Розв'язати оптимізаційну задачу – це знайти оптимальне її розв'язування або встановити, що розв'язування немає. Методами розв'язування оптимізаційних задач є методи математичного програмування.

Як когерентна математична дисципліна, комбінаторна оптимізація є відносно молодого. Ретроспективний аналіз показав, що можна спостерігати ряд незалежних напрямків досліджень, окремо розглядаючи такі проблеми, як оптимальне призначення, найкоротше дерево, транспортування та задача комівояжера. Тільки в 1950-х роках, коли об'єднавчий інструмент лінійного і цілочисельного програмування став доступний і область досліджень операцій отримала інтенсивну увагу.

Дослідження задач на екстремум почалось понад 2500 років тому. Найдавнішою серед екстремальних задач вважають класичну ізопериметричну

задачу: серед плоских замкнених кривих заданої довжини знайти криву, яка охоплює найбільшу площу. Цю проблему досліджували грецькі філософи ще в п'ятому столітті до н. е., про неї писав великий Арістотель. Задачі на екстремум зустрічаються в «Початках» Евкліда, в творах Архімеда, Герона, Аполлонія та інших античних математиків і філософів. В епоху Відродження (XIV–XVI ст.), коли значно активізувалась наукова діяльність, задачі на знаходження екстремумів привертають увагу багатьох вчених. Першими були спроби пояснити закон заломлення світла ще в другому столітті до н. е. Птолемей робив спроби визначити його експериментально, але успіху не досяг. Закон заломлення світла встановив у сімнадцятому столітті голландський астроном, фізик і математик Віллеброрд Снелліус. Питання про фізичні принципи закону заломлення світла з'ясував великий французький математик П'єр Ферма, відкривши так званий екстремальний принцип, який пізніше було названо його ім'ям: у неоднорідному середовищі світло поширюється вздовж такої траєкторії, що час на подолання шляху від однієї точки до іншої мінімальний.

З того часу ідея «екстремальних принципів» стає однією з центральних у всьому природознавстві. Згідно з цими принципами істинний рух механічної системи, світла, електрики, рідини, газу тощо можна виділити з довільної сукупності припустимих рухів так, що при цьому досягається мінімум чи максимум деякої величини.

Тривалий час (до другої половини сімнадцятого століття) не існувало ніяких загальних прийомів розв'язування задач на екстремум. Прагнення їх знайти в значній мірі стимулювало створення математичного аналізу. Перший загальний метод дослідження задач на екстремум відкрив П. Ферма (близько 1630 р.). Сучасною мовою його можна сформулювати так: у точці екстремуму деякої функції однієї змінної похідна дорівнює нулеві, тому екстремуми варто шукати серед коренів похідної. Цей результат включено зараз до шкільного курсу математики під назвою «теорема Ферма». Фактично Ферма описав цей прийом лише для алгебраїчних многочленів. У загальному вигляді його вперше отримав видатний англійський фізик, механік, астроном і математик Ісаак

Ньютон (60-ті роки XVII ст.). Потім його перевідкрив відомий німецький математик, фізик і філософ Готфрід Вільгельм Лейбніц і вперше опублікував у знаменитій статті, з якої починається історія математичного аналізу. Примітним є початок назви статті Лейбніца: «Новий метод знаходження найбільших і найменших величин...».

У XVIII столітті зусиллями швейцарського математика, фізика, механіка і астронома Леонарда Ейлера та французького математика і механіка Жозефа Луї Лагранжа, були розроблені методи розв'язування екстремальних задач з цільовими функціями від кількох змінних без обмежень на аргументи та з обмеженнями типу рівностей. Основним серед таких методів є метод множників Лагранжа, який зараз входить до програми кожного математичного курсу вищих навчальних закладів. Пізніше ці дослідження були доповнені методами розв'язування задач, в яких обмеження на аргументи задаються як рівностями, так і нерівностями. Розділ прикладної математики, де розглядають проблеми, пов'язані з такими задачами, одержав назву математичного програмування.

Пошуки шляхів розв'язування конкретних практичних екстремальних задач, що виникали у геометрії, фізиці, механіці, призвели до створення нового розділу математичного аналізу, який одержав назву варіаційного числення.

Почалось з того, що в першому науковому журналі «Акта Ерудиторум» за червень 1696 р. було розміщено замітку відомого швейцарського математика, учня і послідовника Г. Лейбніца – Іоганна Бернуллі. Замітка мала назву «Нова задача, до розв'язування якої запрошуються математики». Задача формулювалась так: «У вертикальній площині дано дві точки А і В. Визначити шлях АМВ, спускаючись яким під дією власної ваги, тіло М, починаючи рух з точки А, дійде до точки В за найменший проміжок часу». Вирішення цієї задачі, за словами Г. Лейбніца, «настільки чудової і досі невідомої», було дано самим І. Бернуллі, а також Г. Лейбніцем, Якобом Бернуллі і ще одним анонімним автором, у якому знавці, за словами І. Бернуллі, «ex ipse Іеопет» (за кігтями впізнають лева) відразу впізнали І. Ньютона. Крива найшвидшого

спуску або брахістохрона виявилась циклоїдою. Саме із задачі про брахістохрон почалась історія класичного варіаційного числення. Загальні методи розв'язування задач варіаційного числення були розроблені у XVIII столітті Л. Ейлером і Ж. Лагранжем. Над теорією варіаційного числення вчені працювали більше двох століть. Окрім необхідних умов першого порядку (рівнянь Ейлера – Лагранжа) були знайдені необхідні і достатні умови другого порядку для двох типів екстремумів – сильного і слабкого (А. Лежандр, К. Якобі, К. Вейєрштрасс), запропонований новий підхід до розв'язування варіаційних проблем (теорія Гамільтона-Якобі), побудована теорія поля (А. Кнезер, Д. Гільберт).

До середини 30-х років XX століття більшість вчених вважали, що проблематика задач на екстремум практично вичерпана. Все змінилось, коли в 1939 році до професора Л. Канторовича прийшли на консультацію представники фанерного тресту і запропонували його увазі кілька задач, що виникли у них на виробництві. При математичній формалізації задач виявилось, що вони зводяться до знаходження екстремуму лінійної функції на множині точок багатогранника. Перебрати всі вершини багатогранника було майже неможливо через їх велику кількість. Л. Канторович дослідив такі задачі та запропонував метод для їх вирішення, заклавши основи нового напрямку в теорії екстремальних задач. Цей напрям отримав назву лінійного програмування. Термін «лінійне програмування» з'явився в середині 40-х років XX століття в працях Т. Купманса.

Окремі праці, що стосувались питань лінійного програмування, з'являлись і раніше. Наприклад, в 1931 році в Угорщині було надруковано статтю Е. Егерварі, яка була присвячена проблемі вибору – окремому випадку транспортної задачі. На основі результатів цієї статті пізніше розроблено ефективний метод розв'язування транспортної задачі, який одержав назву угорського методу. Перша праця, де розглядались загальні питання лінійного програмування і викладені основні ідеї методу послідовного поліпшення плану для невироджених задач лінійного програмування, була надрукована

Дж. Б. Данцігом у 1949 році. Метод Данціга увійшов в математику під назвою симплексний метод. У 1956 році Дж. Б. Данціг, Л. Форд і Д. Фалкерсон на основі угорського методу знайшли загальний метод розв'язування задач лінійного програмування, який лише в незначних деталях відрізнявся від методу, запропонованого Л. Канторовичем. Значний внесок у дослідження загальної задачі лінійного програмування зробив відомий американський математик і фізик Джон фон Нейман, який встановив, що будь-яку матричну гру двох осіб з нульовою сумою можна подати у вигляді задачі лінійного програмування і навпаки. Методи лінійного програмування знайшли широке використання на практиці. Зокрема за розробку математичних методів та їх впровадження в економіку Л. Канторовичу разом з американським економістом Т. Купмансом у 1975 році була присуджена Нобелівська премія.

У 40-х роках ХХ століття теорія екстремальних задач пережила своє друге народження. Створення теорії лінійного програмування дало поштовх розвитку інших розділів теорії оптимізації, насамперед – опуклого аналізу і нелінійного програмування.

Початок робіт з нелінійного програмування покладено дослідженнями американських вчених Г. Куна і А. Таккера, які узагальнили класичний принцип Ейлера – Лагранжа для гладких екстремальних задач з обмеженнями-рівностями на випадок задачі опуклого програмування з обмеженнями-нерівностями. Цей розділ теорії екстремальних задач широко застосовується для розв'язування різноманітних проблем, які виникають в економіці, техніці, природознавстві. Останні десятиліття математичне програмування розвивається у напрямі дослідження все більш спеціальних класів екстремальних задач (у відповідності до потреб різноманітних застосувань), розробки чисельних методів, які долають негладкість, неопуклість, яристість, розривність цільових функцій, а також враховують багатоекстремальність, можливу нечітку і стохастичну природу оптимізаційних задач. Значний внесок у розвиток зазначених напрямів теорії оптимізації зробили також українські вчені: В. Глушков, В. Міхалевич, Ю. Єрмольєв, Б. Пшеничний, Н. Шор та ін. Так

сформувалися основні розділи сучасної теорії екстремальних задач: математичне програмування, варіаційне числення та теорія оптимального управління.

12.2 Типові оптимізаційні задачі

Надалі будемо розглядати довільні системи з визначеною метою свого функціонування, які можуть бути охарактеризовані деякими параметрами та для яких стан системи залежить від певних керованих та некерованих вхідних змінних.

Параметри є кількісними характеристиками системи. Наприклад, якщо йдеться про таку економічну систему, як сільськогосподарське підприємство, то його параметрами є наявні ресурси (земельні угіддя, робоча сила, сільськогосподарська техніка, тваринницькі та складські приміщення), рівень урожайності сільськогосподарських культур, продуктивності тварин, норми витрат ресурсів, ціни та собівартість проміжної і кінцевої продукції, норми податків, проценти за кредит, ціни на куповані ресурси тощо. Частина параметрів для певної системи може бути сталими величинами, наприклад, норми висіву насіння сільськогосподарських культур, норми споживання тваринами кормів тощо, а частина – змінними, тобто залежить від певних умов, як, скажімо, урожайність сільськогосподарських культур, собівартість продукції, реалізаційні ціни на рослинницьку та тваринницьку продукцію.

Змінні величини бувають незалежними чи залежними, дискретними чи безперервними, детермінованими або випадковими. Наприклад, залежною змінною є собівартість продукції, незалежною від процесу функціонування підприємства величиною є початковий розмір статутного фонду, дискретною – кількість корів, безперервною – площа посіву озимої пшениці, детермінованою – норма висіву насіння кукурудзи на гектар, випадковою – кількість телят, які народяться у плановому періоді.

Для обґрунтування оптимальних виробничих програм використовують спеціальні оптимізаційні моделі розв'язання таких задач, тобто оптимізаційне моделювання.

Пошук оптимального плану є зазвичай складним завданням і належить до екстремальних задач, в яких необхідно визначити максимум чи мінімум (екстремум) функції за визначеними обмеженнями.

Оптимізаційне моделювання – один із напрямків прикладної математики, предметом якого є задачі на знаходження екстремуму деякої функції за певних заданих умов.

Об'єктами оптимізаційного моделювання є різноманітні галузі людської діяльності, де в певних ситуаціях необхідно здійснити вибір найкращого з можливих варіантів дій. Основою такого вибору є знаходження вирішення екстремальної задачі методами оптимізаційного моделювання.

Оптимізаційна модель об'єкта (системи) – це його спрощений образ, який поданий у вигляді сукупності математичних співвідношень (рівнянь, нерівностей, логічних співвідношень, графіків тощо).

У процесі застосування оптимізаційного моделювання чітка постановка задачі та її формалізація є найскладнішим етапом дослідження, який вимагає ґрунтовних знань передусім суті процесів, які моделюють. Однак, вдало створена оптимізаційна модель може надалі застосовуватись для розв'язування інших задач, які не мають відношення до ситуації, що початково моделювалася. Починаючи з робіт Л. Канторовича, в оптимізаційному моделюванні сформовано певний набір класичних постановок задач, математичні моделі яких широко використовують в практичних дослідженнях проблем у системі використання земель. Зокрема, можуть застосовуватись задачі визначення оптимального плану виробництва, про «дієту», транспортна задача, оптимального розподілу виробничих потужностей, про призначення, комівояжера, оптимального розподілу капіталовкладень.

12.3 Класифікація оптимізаційних задач

Методи оптимізації класифікують відповідно до задач оптимізації. Локальні методи сходяться до якого-небудь локального екстремуму цільової функції. У разі унімодальної цільової функції, цей екстремум єдиний, і буде глобальним максимумом / мінімумом. Глобальні методи мають справу з багатоекстремальними цільовими функціями. При глобальному пошуку основною задачею є виявлення тенденцій глобальної поведінки цільової функції.

Існуючі в цей час методи пошуку можна розбити на три великі групи:

- детерміновані;
- випадкові (стохастичні);
- комбіновані.

За критерієм вимірності припустимої множини, методи оптимізації поділяють на методи одномірної оптимізації і багатомірної оптимізації. Розглянемо детальніше вищезначену класифікацію. В оптимізаційному моделюванні виділяють два напрямки – детерміновані задачі і стохастичні. Детерміновані задачі не містять випадкових змінних чи параметрів. Уся початкова інформація повністю визначена. У стохастичних задачах використовують вхідну інформацію, яка містить елементи невизначеності, або деякі параметри набувають значень відповідно до визначених функцій розподілу випадкових величин. Наприклад, якщо в математичній моделі врожайності сільськогосподарських культур задані їх математичними сподіваннями (середніми значеннями), то така задача є детермінованою. Якщо ж врожайності задані функціями розподілу, наприклад нормального з математичним сподіванням a і дисперсією D , то така задача є стохастичною.

Якщо у відповідних процесах випадкові явища не відіграють істотної ролі, то задачу можна розв'язувати як детерміновану. У іншому разі адекватна математична модель має бути стохастичною, тобто містити випадкові функції

та величини. Структуру та розв'язування таких задач вивчають в окремому розділі, який називають стохастичним програмуванням.

Кожен з названих напрямків включає такі типи задач оптимізаційного моделювання, які в свою чергу поділяють на інші класи.

Як детерміновані, так і стохастичні задачі можуть бути статичними (однокроковими) або динамічними (багатокроковими). Оскільки процеси використання земель розвиваються на протязі часу, то відповідні математичні моделі мають відображати їх динаміку. Поняття динамічності пов'язане зі змінами об'єкта (явища, процесу) з перебігом часу.

Переваги динамічного програмування:

- можливість поетапного аналізу результатів у процесі вирішення задачі, визначення оптимальної стратегії з урахуванням чинника часу;
- поглиблення раніше розроблених методів кількісного і якісного характеру дослідження процесів;
- більш об'єктивне, повне і точне вирішення завдань.

Задачі оптимізаційного моделювання поділяють також на дискретні і безперервні. Дискретними називають задачі, в яких одна, кілька або всі змінні набувають лише дискретних значень. Поміж них окремий тип становлять задачі, в яких одна або кілька змінних набувають цілочислових значень, їх називають задачами цілочислового програмування. Якщо всі змінні можуть набувати будь-яких значень на деяких інтервалах числової осі, то задача є безперервною.

Оскільки в математичних моделях залежності між показниками описані за допомогою функцій, то відповідно до їх виду всі вище згадані типи задач поділяють на лінійні та нелінійні. Найпростішими з розглянутих типів є статичні, детерміновані, безперервні задачі. Важливою перевагою таких задач є те, що для їх розв'язування розроблено універсальний метод, який називають симплексним методом.

Теоретично кожен задачу лінійного програмування можна розв'язати. Для деяких типів лінійних задач, що мають особливу структуру, розробляють

спеціальні методи розв'язання, які є ефективнішими. Наприклад, транспортну задачу можна розв'язати симплексним методом, але ефективнішими є спеціальні методи, наприклад, метод потенціалів.

Процеси використання земель зазвичай є нелінійними, стохастичними, розвиваються за умов невизначеності. Лінійні математичні моделі часто є неадекватними, тобто такими, що неточно описують процес, який досліджується, тому доводиться будувати стохастичні, динамічні, нелінійні моделі. Розв'язувати такі задачі набагато складніше, ніж лінійні, оскільки немає універсального методу їх розв'язання. Для окремих типів нелінійних задач розроблено спеціальні числові методи розв'язання. Проте варто зазначити, що на практиці застосовують, здебільшого, лінійні математичні моделі. Часто нелінійні залежності апроксимують (наближають) до лінійних. Такий підхід в багатьох випадках є доволі ефективним.

У нелінійному програмуванні (залежно від функцій, які використовують в математичній моделі) виокремлюють опукле та квадратичне програмування. Задача належить до опуклого програмування у тому разі, коли цільова функція вгнута, якщо вона мінімізується, та опукла, якщо вона максимізується, а всі обмеження – однотипні нерівності типу ($\leq$) або рівняння, в яких ліві частини є опуклими функціями, а праві частини – сталими величинами. У разі обмежень типу ($\geq$) їх ліві частини мають бути вгнутими функціями. Тоді область припустимих планів є опуклою та існує глобальний, єдиний екстремум.

Квадратичне програмування – якщо цільова функція квадратична, а обмеження лінійні.

Розглянуто лише основні типи задач математичного програмування. Можна також за різними ознаками виокремити й інші підтипи. Це особливо стосується задач лінійного, нелінійного і стохастичного програмування. Наприклад, як окремий тип розглядають дробово-лінійне програмування, коли обмеження є лійними, а цільова функція – дробово-лінійна. Особливий тип становлять задачі теорії ігор.

В процесах використання земель широко використовують моделі, які побудовані на схожості поведінки системи, подібності їх реалізації на зміну дій.

Таким чином, математичне програмування є важливим інструментарієм побудови математичних моделей оптимізації, що досліджує екстремальні задачі і розробляє методи вирішення. Розроблено значну кількість методів для вирішення різних класів задач математичного програмування.

Тема 13 ЛІНІЙНІ ОПТИМІЗАЦІЙНІ ЗАДАЧІ В СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

Задача лінійного програмування та методи її розв'язання в системі використання земель. Аналіз лінійних моделей оптимізаційних задач.

13.1 Задача лінійного програмування та методи її розв'язання в системі використання земель

Для побудови математичної моделі найбільш часто використовують задачі лінійного програмування. Тому розглянемо їх більш докладно.

Загальну задачу лінійного програмування формулюють таким чином: знайти оптимум лінійної функції $y(x)$, якщо на змінні задачі накладені лінійні обмеження у вигляді рівностей і нерівностей.

Часткові задачі лінійного програмування можуть не містити однієї або двох систем обмежень. Крім того, замість умови невід'ємності може мати місце двобічна або одnobічна обмеженість змінних.

Очевидно, що обмеження-нерівність можна перетворити в обмеження-рівність додаванням до його лівої частини додаткової невід'ємної змінної, а кожне обмеження-нерівність типу « $\geq$ » – в обмеження-рівність шляхом вирахування з його лівої частини додаткової невід'ємної змінної.

Задачу мінімізації лінійної функції y можна звести до задачі максимізації шляхом множення останньої на -1 . Складання математичної моделі загальної

задачі математичного програмування або її канонічної форми вимагає певних зусиль і кмітливості, досвід створення математичних моделей швидко накопичується. Достатньо мати практику вирішення декількох задач, щоб надалі не мати особливих труднощів при переході від змістовної постановки задачі лінійного програмування до формальної (аналітичної).

Лінійне програмування використовує математичний інструментарій, який базується на теорії і методах розв'язання задач про екстремуми лінійних функцій, що задають системами лінійних рівнянь.

Найбільш універсальним методом лінійного програмування є диференціальний алгоритм, що логічно випливає з диференціального алгоритму загальної задачі математичного програмування. Диференціальний алгоритм, як і широко відомий симплекс-метод, дозволяє вирішувати будь-які задачі лінійного програмування. Однак для деяких класів задач лінійного програмування доцільно використовувати більш прості методи. Так, для вирішення задач із кількістю змінних, рівною двом, використовують графічний метод, що відзначається простотою і наочністю, але потребує графічних побудов. Для розв'язання задач лінійного програмування, відомих як транспортні, використовують метод потенціалів.

Методичною основою обчислювальних процедур будь-якого методу є принцип аналізу і послідовного поліпшення деякого початкового плану розподілу і використання ресурсів. План поліпшують доти, поки не буде знайдений найкращий (оптимальний) варіант. Інакше кажучи, спочатку складають деякий початковий план, що аналізують за конкретними строго розробленими правилами. На підставі аналізу визначають можливість і напрямок поліпшення початкового варіанта плану. Потім обчислюють новий план, що піддають такому ж аналізу і подальшому поліпшенню, тобто наближенню до оптимуму. Обчислювальний процес продовжують доти, поки аналіз не покаже неможливість подальшого поліпшення.

Симплекс-метод використовують до вирішення будь-якої задачі лінійного програмування. Суть симплекс-методу полягає в тому, що, відправляючись з

деякої довільної вершини багатокутника обмежень, переходять до обчислення тільки такої вершини, в якій значення лінійної форми буде більше, ніж в попередній. Решту варіантів не обчислюють. Наприклад, при кінцевому порівняно малому числі кроків можна знайти оптимальний план. Таким чином, проводять впорядкований перебір вершин, при якому відбувається постійне збільшення лінійної форми. В цьому аспекті симплексний метод називають також методом послідовного поліпшення плану.

Вирішення задач лінійного програмування симплекс-методом полягає у:

- по-перше, в розробці базового рішення на оптимальність. Якщо воно оптимальне, то задача вирішена, в іншому випадку виконують другий етап;
- по-друге, визначають вектор $\bar{A}_k$, який повинен бути введений в базис, і вектор $\bar{A}_r$, який повинен бути виключений з нього, тобто виходить новий базисний план з великим значенням лінійної форми. Щоб знайти вектори $\bar{A}_k$ і $\bar{A}_r$, заміна яких забезпечує найбільше зростання лінійної форми, виразимо всі вектори, що не входять в базис, через базисні вектори:

$$\bar{A}_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} \bar{A}_i, \quad (13.1)$$

де a_{ij} – проєкції вектора $\bar{A}_j$ на вектор $\bar{A}_i$.

Запишемо систему обмежень у векторній формі в такому вигляді:

$$\sum_{i=1}^m x_i \bar{A}_i - \theta \bar{A}_k + \bar{A}_k = \bar{B}.$$

Оскільки

$$\bar{A}_k = \sum_{i=1}^m a_{ik} \bar{A}_i,$$

то

$$\sum_{i=1}^m (x_i - \theta a_{ik}) \bar{A}_i + \theta \bar{A}_k = \bar{B}. \quad (13.2)$$

Співвідношення (3.2) дає рішення тільки у тому випадку, коли коефіцієнти при векторах i нового базису будуть не від'ємними, тобто:

$$x'_i = x_i - \theta a_{ik} \geq 0 \text{ і } \theta \geq 0. \quad (13.3)$$

Відповідне нове значення лінійної форми прийме вигляд:

$$L_1 = \sum_{i=1}^m (x_i - \theta a_{ik}) c_i + \theta c_k = \sum_{i=1}^m x_i c_i + \theta (c_k - \sum_{i=1}^m a_{ik} c_i). \quad (13.4)$$

Позначимо

$$d_j = \sum_{i=1}^m a_{ik} c_i - c_j. \quad (13.5)$$

Значення лінійної форми в новій вершині багатокутника рішення можна знайти з рівняння

$$L_1(\vec{X}) = L(\vec{X}) - \theta d_j. \quad (13.6)$$

Величину d_j називають оцінкою плану. В симплексному методі параметри d_j відіграють важливу роль, їх знаки дозволяють визначити, чи є опорний план оптимальним. Якщо $d_j \geq 0$ для всіх j , то даний опорний план є оптимальним, оскільки на підставі (3.6) перехід до будь-якої нової вершини веде до убуття лінійної форми. Якщо опорний план неоптимальний, то можливі два випадки:

- є хоча б один індекс $j = k$, для якого $d_k < 0$, і всі відповідні компоненти $a_{ik} \leq 0$ ($i = 1, m$).

В цьому випадку лінійна форма не обмежена зверху і задача нерозв'язна.

– для деяких j $d_j < 0$, і для кожного такого j , принаймні, одна з проекцій $a_{ij} > 0$. Тоді при переході до наступної вершини лінійна форма зростає і план поліпшується. Для найшвидшого зростання L необхідно в базис включити той вектор A_k , для якого оцінка $d_k < 0$ і максимальна по модулю, а вектор A_r , для якого значення додатне і мінімальне, виключити.

Також при лінійному програмуванні використовують методи еліпсоїдів, метод внутрішніх точок, методи логарифмічних бар'єрних функцій нелінійного програмування. В цих методах розв'язання задач лінійного програмування здійснюють шляхом пошуку уздовж траєкторій в просторі змінних задачі, що не проходять через вершини багатокутника.

13.2 Аналіз лінійних моделей оптимізаційних задач

Аналіз лінійних моделей оптимізаційних задач спрямований на ухвалення оптимального рішення. Лінійна оптимізаційна модель включає систему обмежень, цільову функцію, області припустимих рішень, критерії оптимальності.

Цільова функція в загальному вигляді складається з трьох елементів:

- змінних, які управляються;
- змінних, які не управляються;
- форми функції (виду залежності між змінними).

Область допустимих рішень – це область, в межах якої здійснюють вибір рішень U задачах вона обмежена наявними ресурсами і умовами, які записують у вигляді системи обмежень, що складають з рівнянь.

Критерії оптимальності – це показники, які визначають за допомогою цільової функції через інші показники. Одному і тому ж критерію оптимальності можуть відповідати декілька різних, але еквівалентних цільових функцій. Моделі з однією і тією ж системою обмежень можуть мати різні критерії оптимальності та різні цільові функції.

Для здійснення аналізу лінійних моделей необхідно побудувати математичну модель, методика розробки якої полягає в тому, щоб сутність задачі представити математично, використовуючи різні символи, змінні та постійні величини, індекси та інші символи.

Всі умови задачі записують у вигляді рівнянь. Тому, в першу чергу, необхідно визначити систему змінних, які можуть для конкретної задачі висвітлювати вихідні значення показників.

Варто відзначити, що будь-яку оптимізаційну задачу лінійного програмування можна привести до задач лінійного програмування в канонічній формі. Для цього в загальному випадку необхідно зводити задачу максимізації до задачі мінімізації, переходити від обмежень-нерівностей до обмежень-рівнянь і замінювати змінні, які не відповідають умовам невід’ємності.

Правило приведення оптимізаційної задачі лінійного програмування до канонічного вигляду полягає в наступному:

- якщо в початковій задачі вимагається визначити максимум лінійної функції, то варто змінити знак і шукати мінімум цієї функції;
- якщо в обмеженнях права частина від’ємна, то потрібно помножити це обмеження на -1 ;

– якщо серед обмежень є нерівності, то шляхом введення додаткових від’ємних змінних вони перетворюються в рівняння;

– якщо деяка змінна x_i не має обмежень по знаку, то її замінюють (в цільовій функції та у всіх обмеженнях) різницею між двома новими від’ємними змінними.

Складність розв’язання оптимізаційних задач лінійного програмування, побудови відповідних моделей та їх аналізу залежить:

– від виду функціональних залежностей, тобто від зв’язку функції з елементами рішення;

– від розмірності задачі, тобто від кількості елементів рішення;

– від виду і кількості обмежень, які накладають на елементи рішень.

При аналізі лінійних оптимізаційних моделей важливим етапом є інтерпретація отриманих результатів. Саме на цьому етапі проявляється кваліфікація спеціаліста з оцінки землі та нерухомого майна. Інтерпретація полягає в тому, що на базі розробленої лінійної оптимізаційної моделі визначають зв’язки між показниками, оптимізаційні рішення проблем, пропонують управлінські рішення.

Аналіз моделей на чутливість – це процес, який реалізують після того, як оптимальний розв’язок задачі отриманий. У межах такого аналізу виявляється чутливість оптимального розв’язку до визначених змін вихідної моделі. В розв’язаній задачі, наприклад, може становити інтерес питання про те, як вплине на оптимальний розв’язок збільшення, зменшення попиту або зміни запасів вихідних продуктів.

Якщо задача лінійного програмування має оптимальний розв’язок, то він відповідає хоча б одній кутовій точці багатогранника розв’язків і збігається, принаймні, з одним з припустимих (опорних) розв’язків системи обмежень. Для того, щоб розв’язати будь-яку задачу лінійного програмування, треба перебрати кінцеве число припустимих розв’язків системи обмежень і вибрати серед них той розв’язок, при якому функція мети приймає оптимальне значення. Геометрично це відповідає перебору всіх кутових точок

багатогранника розв'язків. Такий перебір зрештою призведе до оптимального розв'язку (якщо він існує), однак його практичне здійснення зв'язане з великими труднощами, тому що для реальних задач число припустимих базисних розв'язків може бути надзвичайно великим. Число припустимих базисних розв'язків, що перебирають, можна скоротити, якщо робити перебір не безладно, а з урахуванням змін функції мети, тобто домагаючись того, щоб кожен наступний розв'язок був «кращий». Такий перебір дозволяє скоротити число кроків при відшукуванні оптимуму.

Загальною формою запису задачі лінійного програмування називають таку форму запису, система обмежень якої складається з рівнянь та нерівностей, цільова функція може бути спрямована як на максимум так і на мінімум.

ТЕМА 14 НЕЛІНІЙНІ ОПТИМІЗАЦІЙНІ ЗАДАЧІ

Основні поняття, пов'язані з нелінійними зв'язками в системі використання земель. Методи розв'язання задач нелінійного програмування.

14.1 Основні поняття, пов'язані з нелінійними зв'язками в системі використання земель

Сучасна наука має в розпорядженні широкий арсенал методів, серед яких особливе значення має математичне моделювання. До останнього часу в дослідженнях прикладного характеру і в управлінській діяльності використовували лінійні оптимізаційні моделі. При достатньо високому рівні технологічної культури і надійній інформаційній базі реалізація лінійних математичних моделей забезпечує більш високу ефективність в порівнянні з традиційними методами ухвалення рішень. Проте дослідження останніх років показали, що існує клас задач, де застосування лінійних оптимізаційних

моделей або некоректно, або неможливо, але водночас їх ефективно розв'язують на основі нелінійних математичних моделей.

При визначенні нелінійних зв'язків важливе значення має категорія системи. Система (від грецького – складене з частин, з'єднання) – це відносно відособлена і впорядкована сукупність взаємодіючих елементів, здатних реалізувати певні функції [23].

Важливою якістю будь-якої системи є емерджентність – наявність таких властивостей, які не властиві жодному з елементів, що входять у систему [33].

Системи бувають детерміновані і стохастичні. Під детермінованою системою розуміють систему, в якій зв'язки між елементами і подіями строго і однозначно визначені, тобто її стан в майбутньому однозначно визначається станом на відповідний час.

Системи, в яких зв'язки між елементами і подіями мають ймовірнісний характер, називають стохастичними.

Варто зазначити, що більшість процесів мають ймовірнісний характер і можуть бути описані нелінійними моделями. Загалом введення в детерміновані процеси незначної нелінійності призводить до непередбачуваного ряду подій.

При дослідженні нелінійних зв'язків необхідно враховувати динаміку системи. Динамічна система – система, в якій перехід з одного стану в інший відбувається не миттєво, а протягом деякого часу, тобто процес переходу можна спостерігати і описати [21].

Найбільший інтерес з погляду управління представляють закономірності поведінки складних динамічних систем. Системи, які мають розгалужену структуру і велику кількість взаємозв'язаних і взаємодіючих елементів, що забезпечують виконання будь-якої складної функції, називають складними. Одна з важливих властивостей складних систем – нелінійність [18].

Якщо розглядаємо нестійкий режим системи, то, порушивши його, отримаємо деяке відхилення від початкового положення. Відхилення наростатиме доти, поки не вступить в дію механізм нелінійного обмеження даного процесу. З фізичної точки зору це можна пояснити так: наростання

амплітуди не може відбуватися до нескінченності, через обмеженість енергетичних ресурсів системи це наростання повинно припинитися або змінитися зменшенням амплітуди відхилення. Будь-який новий режим повинен мати кінцеву амплітуду, і управляють цими процесами нелінійні закони.

Властивості нелінійної системи безпосередньо залежать від її стану. При проведенні аналізу нелінійних динамічних систем необхідно враховувати поняття «фазовий простір» і «траєкторія». Багато станів динамічної системи називають фазовим простором, а траєкторію руху в цьому просторі з деякого початкового стану – фазовою траєкторією. Найважливіша характеристика цього простору його розмірності – число величин, які необхідно задати для визначення стану системи. Траєкторія – це крива в просторі параметрів, яку описує точка при своєму русі в часі [22].

Найважливіше поняття в теорії нелінійних динамічних систем – це поняття грубості (або структурної стійкості). Якщо при малих змінах параметрів системи вид фазових змін нелінійної системи залишається незмінним, то таку систему називають грубою.

При аналізі динаміки нелінійних моделей враховують поняття «атрактор» – це множина точок або підпростір у фазовому просторі, до якого наближається траєкторія після загасання перехідних процесів. Класичними прикладами атракторів у динаміці можуть служити точки динамічної рівноваги, нерухомі точки відображень, або граничні цикли. Динамічні системи, які володіють атракторами називають дисипативними.

При моделюванні нелінійних процесів динаміки необхідно враховувати теорії прогнозу, катастроф і біфуркації. Теорія катастроф полягає у відстеженні змін на основі розуміння коли, чому і як відбуваються зміни. Для цих процесів характерні раптові стрибкоподібні зміни, а не поступовий плавний розвиток.

Основи теорії біфуркацій динамічних систем були закладені в працях великого французького вченого Анрі Пуанкаре. Біфуркація – зміна характеру руху динамічної системи на великому часовому інтервалі при зміні одного або декількох параметрів. Ті значення параметрів, при яких змінюються якісні або

топологічні властивості руху, називають критичними або біфуркаційними значеннями. Хаос в динаміці означає чутливість динамічної еволюції до змін початкових умов.

При вивченні нелінійних об'єктів необхідно враховувати поняття фракталу. Будь-який нелінійний процес призводить до розгалуження, в якому система може вибрати ту або іншу гілку. Будь-яка найменша неточність в початкових умовах може пізніше дуже сильно вплинути на подальший рух.

У кожний окремий момент причинний зв'язок зберігається, але після декількох розгалужень його вже не видно. Поняття фракталу розробляв Бенуа Б. Мандельбротом як альтернативу евклідовій геометрії, що претендувала на найбільш відповідний опис об'єктів природи. Його істотною межею була невичерпність найдрібніших деталей в різних масштабах вимірювання.

Для розробки нелінійних оптимізаційних моделей досліджуваних систем вирішують задачі нелінійного програмування. Нелінійне програмування – математичні методи визначення максимуму або мінімуму функції за наявності обмежень у вигляді нерівностей або рівнянь. Максимізувавши або мінімізувавши функцію, визначають критерій ефективності вирішення задачі, цей критерій має назву цільової функції [19]. Цільова функція задач нелінійного програмування полягає в тому, щоб знайти умови, які перетворюють цільову функцію в мінімум або максимум.

Рішення, що задовольняє умові задачі і відповідає поставленій меті, називають оптимальним планом [33]. Нелінійне програмування служить для вибору найкращого плану розподілу обмежених ресурсів в цілях вирішення поставленої задачі. У загальному вигляді постановка задачі нелінійного програмування зводиться до такого: умову задачі подають за допомогою системи нелінійних рівнянь або нерівностей, що виражають обмеження, які накладаються на використання наявних ресурсів.

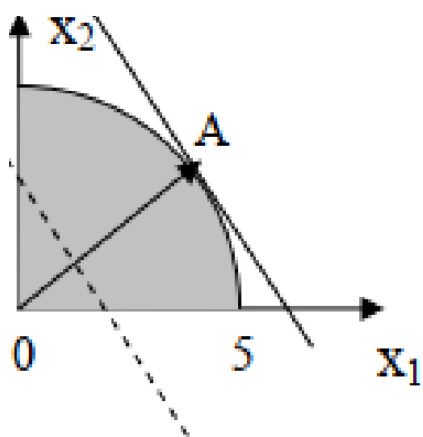
Для задач нелінійного програмування немає єдиного методу вирішення. Залежно від виду цільової функції і системи обмежень розроблені спеціальні

методи вирішення, до яких належать метод множників Лагранжа, градієнтні методи, наближені методи вирішення, графічний метод. Розглянемо деякі з них.

Основні ідеї графічного методу: максимум і мінімум досягається в точках дотику лінії рівня з областю припустимих рішень, яку задають системою обмежень. Наприклад, якщо лінії рівня – прямі, то точки дотику можна визначити, використовуючи геометричне значення похідної.

Розглянемо на прикладі розв'язання задач нелінійного програмування. Знайти екстремуми функції $L(x_1, x_2) = x_1 + 2x_2^2$ при обмеженнях

$$x_1^2 + x_2^2 \leq 25, x_1, x_2 \geq 0.$$



Розв'язання

Область припустимого розв'язку – це частина кола з радіусом 5, яка розташована у I чверті. Знайдемо лінії рівня функції $L: x_1 + 2x_2 = C$.

$$\text{Виразимо } x_2 = \frac{C}{2} - \frac{x_1}{2}.$$

Лініями рівня будуть паралельні прямі з кутовим коефіцієнтом, який дорівнює $-\frac{1}{2}$. Мінімум

функції досягається в точці зі значенням $(0;0)$, $L_{\min} = 0$, оскільки градієнт $\bar{g}(1,2)$ спрямовано вгору вправо. Максимум досягається в точці дотику кривої $x_2 = \sqrt{25 - x_1^2}$ та лінії рівня. Оскільки кутовий коефіцієнт дотику до графіка функції дорівнює $-\frac{1}{2}$, знайдемо координати точки дотику, використовуючи геометричне значення похідної:

$$x_2'(x_0) = -\frac{1}{2}; (\sqrt{25 - x_1^2})' = -\frac{1}{2};$$

$$\frac{-2x_0}{2\sqrt{25 - x_0^2}} = -\frac{1}{2}; \Rightarrow x_0 = \sqrt{5}; x_2 = 2\sqrt{5}.$$

Тоді

$$L = \sqrt{5} + 2 \cdot 2\sqrt{5} = 5\sqrt{5}.$$

Відповідь: мінімум досягається в точці (0;0) глобальний максимум дорівнює $5\sqrt{5}$ в точці $A (\sqrt{5}; 2\sqrt{5})$.

14.2 Методи розв'язання задач нелінійного програмування

Загальна задача нелінійного програмування полягає у знаходженні максимального(мінімального) значення функції

$$Z=f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max / \min \quad (14.1)$$

за умови

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \{ \leq, \geq \} b_i, i=1,2,\dots,m \quad (14.2)$$

Функція f з (14.1) – цільова функція, а умови g_i з (2) – умови обмеження.

Сукупність змінних, що задовольняють обмеженням (2) задачі називають припустимим розв'язком або планом. Кожному припустимому розв'язку відповідає певне значення цільової функції.

Розв'язання (план), при якому цільова функція набуває найбільшого (найменшого) значення називають оптимальним планом. Найбільше (найменше) значення функції у припустимій області розв'язування називають глобальним максимумом (мінімумом). Задачі НП розв'язати значно складніше, ніж задачі ЛП. Для відшукування їх розв'язування немає універсального методу. Лише для небагатьох типів задач НП розроблені обчислювальні методи їх розв'язання.

Найбільш вивчені задачі з нелінійною цільовою функцією певного виду і лінійними обмеженнями. Для розв'язання таких задач використовують ідею зведення до лінійного вигляду, що припускає застосування симплексного методу. Ще однією особливістю задач НП є наявність точок оптимуму, які можуть бути як граничними, так і внутрішніми точками області припустимих розв'язків.

Як згадувалось вище, найбільш вивченими є задачі з нелінійною цільовою функцією і лінійними обмеженнями, які можна класифікувати таким чином:

– задачі дробово-лінійного програмування:

$$Z = (\sum c_i x_i) / (\sum d_i x_i) \rightarrow \max/\min, \quad (14.3)$$

за умови

$$\sum a_{ij} x_j = b_i, \quad (i=1, 2, \dots, m), \quad (14.4)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n);$$

– сеперабельна задача НП:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum f_i(x_i) \rightarrow \max/\min, \quad (14.5)$$

за умови

$$\sum a_{ij} x_j \{ \leq, =, \geq \} b_i, \quad (i=1, 2, \dots, m), \quad (14.6)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n); \quad (14.7)$$

– квадратична задача НП:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum c_j x_j + \sum \sum d_{ji} x_i x_j \rightarrow \max/\min, \quad (14.8)$$

за умови

$$\sum a_{ij} x_j \{ \leq, =, \geq \} b_i, \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

Метод множників Лагранжа.

Розглянемо задачу НП з обмеженнями-рівностями:

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max/\min \quad (14.9)$$

за умови

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_i, \quad i=1, 2, \dots, m, \quad (14.10)$$

у якій f_i, g_i двічі неперервно диференційовані функції.

Для визначення оптимальних точок цієї задачі, введемо набір змінних λ_i ($i=1, 2, \dots, m$), які називають множниками Лагранжа, і побудуємо функцію Лагранжа:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum \lambda_i (b_i - g_i(x_1, x_2, \dots, x_n)) \quad (14.11)$$

Відшукування умовного екстремуму задачі зводиться до знаходження безумовного екстремуму функції Лагранжа (14.5). Характер оптимальності з'ясовується аналогічно, як і у випадку безумовного екстремуму.

ТЕМА 15 ОСОБЛИВОСТІ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ В СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ ТА РІВНІ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

Особливості реалізації комплексного аналізу у системі використання земель на рівні територіальних громад. Напрями та особливості здійснення комплексного аналізу в системі використання земель на регіональному рівні.

15.1 Особливості реалізації комплексного аналізу у системі використання земель на рівні територіальних громад

Комплексний аналіз у системі використання земель на рівні територіальних громад здійснюють на основі запропонованого методу інтегральної оцінки та результатів математичного моделювання, який включає наступні етапи:

- визначення просторових, містобудівних, соціально-економічних і екологічних характеристик використання земель ТГ, формування відповідних локальних чинників;
- формування узагальнюючих показників ВЗ територіальних громад;
- побудова багаторівневої системи показників інтегральної оцінки використання земель ТГ;
- оцінка локальних чинників із застосуванням кількісних і якісних методів;
- розробка математичних моделей оцінки узагальнюючих чинників використання земель територіальних громад;
- оцінка узагальнюючих чинників із застосуванням методу середньої геометричної;
- побудова інтегральної моделі оцінки використання земель ТГ;
- визначення вагових коефіцієнтів з урахуванням відповідних стимуляторів;

- оцінка інтегрального показника ВЗ територіальних громад;
- інтерпретація отриманих результатів;
- встановлення кореляційних зв'язків між чинниками використання земель ТГ;
- побудова математичної моделі впливу чинників на інтегральний показник використання земель територіальних громад;
- перевірка математичної моделі на адекватність;
- інтерпретація отриманих результатів математичного моделювання;
- розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення ефективності використання земель ТГ [4, 15].

Визначення просторових, містобудівних, соціально-економічних і екологічних характеристик використання земель ТГ, формування відповідних локальних чинників здійснюють на основі інформаційно-аналітичного, нормативно-правового забезпечення, за результатами систематизації теоретико-методичних підходів.

Формування узагальнюючих чинників здійснюють відповідно до визначених характеристик та локальних показників: просторових, містобудівних, соціально-економічних й екологічних.

Характеризуючи представлені етапи методу інтегральної оцінки, варто зазначити, що формування інформаційно-аналітичного й просторового забезпечення рівня та напрямів використання земель територіальних громад здійснюють на основі систематизації існуючих теоретико-методичних положень, розробок вітчизняних і закордонних авторів, існуючих нормативно-правових документів. Побудована багаторівнева система показників використання земель ТГ, яка складається із локального, узагальнюючого й інтегрального рівнів (табл. 15.1).

Таблиця 15.1 – Багаторівнева система показників використання земель ТГ [32]

Назва показника	Рівні
1	2
Рівень використання нормативно-правового забезпечення (G_{11})	Локальні просторові
Рівень розробки та застосування інформаційних систем просторового забезпечення моніторингу використання земель (G_{12})	
Рівень ефективності інституційного забезпечення моніторингу (G_{13})	
Стандартизоване значення показника щільності населення ТГ (G_{14})	
Рівень геопросторового забезпечення (G_{15})	
Рівень розробки й впровадження проєктів землеустрою щодо впорядкування територій для містобудівних потреб (G_{21})	Локальні містобудівні
Рівень формування та застосування системи містобудівного забезпечення (G_{22})	
Рівень розробки та здійснення моніторингових процедур містобудівної діяльності (G_{23})	
Рівень формування та використання містобудівного кадастру (G_{24})	
Рівень забезпечення архітектурно-будівельного контролю (G_{25})	
Рівень розробки й впровадження комплексних планів (G_{26})	
Зміна рівня будівельної активності у територіальних громадах (G_{27})	
Темпи зміни чисельності населення (G_{31})	Локальні соціально-економічні
Чинник можливостей здійснення капітальних інвестицій у ТГ (G_{32})	
Чинник темпів реалізації проєктів у ТГ (G_{33})	
Рівень формування доходів ТГ (G_{34})	
Рівень здійснення витрат ТГ (G_{35})	
Рівень реалізації соціальних програм ТГ (G_{36})	
Чинник темпів змін обсягів утворених відходів до площі ТГ (G_{41})	Локальні екологічні
Чинник темпів змін утилізації відходів до площі ТГ (G_{42})	
Чинник темпів змін витрат на охорону навколишнього природного середовища на одиницю площі ТГ (G_{43})	
Рівень охорони земель (G_{44})	
Рівень застосування екологічного нормативно-правового забезпечення (G_{45})	
Рівень екологічної безпеки (G_{46})	
Рівень формування та використання системи екологічного моніторингу (G_{47})	

Продовження таблиці 15.1

1	2
Просторовий (G_1)	Узагальнюючий
Містобудівний (G_2)	
Соціально-економічний (G_3)	
Екологічний (G_4)	
Інтегральний показник використання земель ТГ (G)	Інтегральний

Розробку математичних моделей оцінки узагальнюючих чинників використання земель територіальних громад здійснюють із застосуванням методу середньої геометричної:

$$G_1 = \sqrt[5]{G_{11} * G_{12} * G_{13} * G_{14} * G_{15}}. \quad (15.1)$$

$$G_2 = \sqrt[7]{G_{21} * G_{22} * G_{23} * G_{24} * G_{25} * G_{26} * G_{27}}. \quad (15.2)$$

$$G_3 = \sqrt[6]{G_{31} * G_{32} * G_{33} * G_{34} * G_{35} * G_{36}}. \quad (15.3)$$

$$G_4 = \sqrt[7]{G_{41} * G_{42} * G_{43} * G_{44} * G_{45} * G_{46} * G_{47}}. \quad (15.4)$$

Запропонована узагальнююча модель оцінки просторових, містобудівних, соціально-економічних, екологічних показників наступна:

$$G_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n G_{ij}}, \quad (15.5)$$

де n – кількість чинників, відн. од.;

i – значення просторових, містобудівних, соціально-економічних, екологічних показників, відн. од.;

j – номер просторових, містобудівних, соціально-економічних, екологічних показників, відн. од.

Розроблена інтегральна модель оцінки рівня використання земель ТГ на основі застосування узагальнюючих просторових, містобудівних, соціально-економічних і екологічних показників та вагових коефіцієнтів:

$$G = \sum_{p=1}^n w^{(p)} \cdot G_i^{(p)}, \quad (15.6)$$

де G – інтегральний показник ВЗ територіальних громад, відн. од.;

$w^{(p)}$ – вагові коефіцієнти, що характеризують ступень впливу просторових, містобудівних, соціально-економічних і екологічних показників на інтегральний чинник використання земель ТГ, відн. од.

Оцінку вагових коефіцієнтів здійснюють з урахуванням відповідних стимуляторів.

Наступним етапом застосування методу є визначення інтегрального показника використання земель територіальних громад, який створює інформаційне й кількісне підґрунтя щодо розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо формування та застосування моніторингу.

Особливе значення має інтерпретація отриманих результатів, де визначені результати оцінки рівня використання земель ТГ з урахуванням просторового, містобудівного, соціально-економічного та екологічного забезпечення.

Розробку науково обґрунтованих рекомендацій щодо формування та використання моніторингу для підвищення ефективності використання земель ТГ здійснюють на основі результатів інтегральної оцінки, прогнозування, математичного моделювання, створення геоінформаційного забезпечення.

Для визначення інтегрального показника здійснено оцінку узагальнених просторових, містобудівних, соціально-економічних та екологічних чинників використання земель територіальних громад за регіонами України, визначені як середнє геометричне:

$$G_i = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k G_{ij}}, \quad (15.7)$$

де i – номер групи чинників використання земель територіальних громад;

k – кількість показників G_{ij} в групі.

Результати визначення групових показників локальних просторових, містобудівних, соціально-економічних та екологічних чинників використання земель ТГ за регіонами України представлені в таблицях. 15.2-15.5.

Таблиця 15.2 – Локальні просторові показники використання земель територіальних громад, відн. од.

Регіон	Значення локальних показників					G_1
	G_{11}	G_{12}	G_{13}	G_{14}	G_{15}	
Вінницький	6,079	4,275	3,521	8,97	3,471	4,908
Волинський	6,079	4,275	3,521	9,18	3,471	4,931
Дніпропетровський	6,079	4,275	3,521	5,50	3,471	4,451
Донецький	6,079	4,275	3,521	4,10	3,471	4,197
Житомирський	6,079	4,275	3,521	10,00	3,471	5,016
Закарпатський	6,079	4,275	3,521	3,10	3,471	3,969
Запорізький	6,079	4,275	3,521	8,90	3,471	4,901
Івано-Франківський	6,079	4,275	3,521	9,18	3,471	4,931
Київський	6,079	4,275	3,521	9,74	3,471	4,990
Кіровоградський	6,079	4,275	3,521	3,50	3,471	4,066
Луганський	6,079	4,275	3,521	5,80	3,471	4,498
Львівський	6,079	4,275	3,521	8,90	3,471	4,901
Миколаївський	6,079	4,275	3,521	10,00	3,471	5,016
Одеський	6,079	4,275	3,521	7,40	3,471	4,723
Полтавський	6,079	4,275	3,521	6,80	3,471	4,644
Рівненський	6,079	4,275	3,521	9,68	3,471	4,984
Сумський	6,079	4,275	3,521	10,00	3,471	5,016
Тернопільський	6,079	4,275	3,521	9,66	3,471	4,982
Харківський	6,079	4,275	3,521	8,00	3,471	4,797
Херсонський	6,079	4,275	3,521	9,86	3,471	5,002
Хмельницький	6,079	4,275	3,521	7,90	3,471	4,785
Черкаський	6,079	4,275	3,521	9,20	3,471	4,933
Чернівецький	6,079	4,275	3,521	6,50	3,471	4,602
Чернігівський	6,079	4,275	3,521	9,38	3,471	4,952

Таблиця 15.3 – Локальні містобудівні показники використання земель територіальних громад, відн. од.

Регіони	Значення локальних показників							G_2
	G_{21}	G_{22}	G_{23}	G_{24}	G_{25}	G_{26}	G_{27}	
1	2	3	4	5	6	7	7	9
Вінницький	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	9,16	3,396
Волинський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	7,00	3,268
Дніпропетровський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	7,50	3,300
Донецький	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	7,10	3,274
Житомирський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	7,45	3,297
Закарпатський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	4,00	3,017

Продовження таблиці 15.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Запорізький	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	5,00	3,114
Івано-Франківський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	2,50	2,821
Київський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	3,50	2,960
Кіровоградський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	5,70	3,173
Луганський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	3,60	2,972
Львівський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	6,30	3,219
Миколаївський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	7,40	3,294
Одеський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	6,60	3,240
Полтавський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	5,70	3,173
Рівненський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	5,40	3,149
Сумський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	5,80	3,181
Тернопільський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	7,35	3,291
Харківський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	4,60	3,077
Херсонський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	8,10	3,337
Хмельницький	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	7,00	3,268
Черкаський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	1,00	2,475
Чернівецький	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	7,85	3,322
Чернігівський	3,268	2,077	3,222	1,578	6,400	2,573	8,23	3,344

Таблиця 15.4 – Локальні соціально-економічні показники використання земель територіальних громад, відн. од.

Регіони	Значення локальних показників						G_3
	G_{31}	G_{32}	G_{33}	G_{34}	G_{35}	G_{36}	
1	2	3	4	5	6	7	8
Вінницький	4,44	5,10	7,25	2,573	2,572	5,493	4,259
Волинський	1,64	8,20	6,80	2,573	2,572	5,493	3,863
Дніпропетровський	1,00	6,70	8,73	2,573	2,572	5,493	3,586
Донецький	1,00	6,30	7,35	2,573	2,572	5,493	3,449
Житомирський	2,10	5,70	8,23	2,573	2,572	5,493	3,911
Закарпатський	1,00	4,30	4,80	2,573	2,572	5,493	3,014
Запорізький	1,00	5,10	6,20	2,573	2,572	5,493	3,237
Івано-Франківський	1,00	2,20	8,40	2,573	2,572	5,493	2,959
Київський	3,62	3,00	9,70	2,573	2,572	5,493	3,955
Кіровоградський	1,00	5,10	10,00	2,573	2,572	5,493	3,505
Луганський	1,00	4,10	7,30	2,573	2,572	5,493	3,207
Львівський	1,00	5,20	6,40	2,573	2,572	5,493	3,264
Миколаївський	9,74	6,30	7,45	2,573	2,572	5,493	5,052
Одеський	1,00	5,10	7,80	2,573	2,572	5,493	3,363

Продовження таблиці 15.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Полтавський	1,00	7,20	7,45	2,573	2,572	5,493	3,535
Рівненський	1,00	3,00	6,20	2,573	2,572	5,493	2,963
Сумський	8,64	5,60	7,00	2,573	2,572	5,493	4,805
Тернопільський	1,00	6,70	7,50	2,573	2,572	5,493	3,496
Харківський	1,00	3,70	9,14	2,573	2,572	5,493	3,273
Херсонський	9,23	8,97	6,30	2,573	2,572	5,493	5,164
Хмельницький	1,00	5,10	7,65	2,573	2,572	5,493	3,352
Черкаський	2,28	1,00	10,00	2,573	2,572	5,493	3,065
Чернівецький	1,00	6,20	6,40	2,573	2,572	5,493	3,361
Чернігівський	2,30	5,30	5,70	2,573	2,572	5,493	3,690

Таблиця 15.5 – Локальні екологічні показники використання земель територіальних громад, відн. од.

Регіони	Значення локальних показників							G_4
	G_{41}	G_{42}	G_{43}	G_{44}	G_{45}	G_{46}	G_{47}	
Вінницький	8,37	1,00	6,00	4,175	6,251	4,189	3,316	4,061
Волинський	6,50	1,00	6,30	4,175	6,251	4,189	3,316	3,944
Дніпропетровський	5,50	5,70	6,40	4,175	6,251	4,189	3,316	4,949
Донецький	5,70	3,40	7,35	4,175	6,251	4,189	3,316	4,713
Житомирський	6,00	6,00	7,20	4,175	6,251	4,189	3,316	5,134
Закарпатський	1,00	1,00	2,70	4,175	6,251	4,189	3,316	2,674
Запорізький	5,10	6,10	5,90	4,175	6,251	4,189	3,316	4,887
Івано-Франківський	4,50	4,70	2,10	4,175	6,251	4,189	3,316	3,990
Київський	1,00	1,00	8,80	4,175	6,251	4,189	3,316	3,166
Кіровоградський	3,90	3,40	6,20	4,175	6,251	4,189	3,316	4,357
Луганський	2,10	2,90	3,80	4,175	6,251	4,189	3,316	3,635
Львівський	3,90	3,70	3,20	4,175	6,251	4,189	3,316	4,012
Миколаївський	3,70	4,00	5,20	4,175	6,251	4,189	3,316	4,316
Одеський	4,30	1,00	3,20	4,175	6,251	4,189	3,316	3,375
Полтавський	10,00	5,90	5,40	4,175	6,251	4,189	3,316	5,287
Рівненський	3,80	7,40	5,90	4,175	6,251	4,189	3,316	4,817
Сумський	5,20	3,40	4,20	4,175	6,251	4,189	3,316	4,294
Тернопільський	2,20	6,30	6,80	4,175	6,251	4,189	3,316	4,443
Харківський	3,90	1,00	5,30	4,175	6,251	4,189	3,316	3,577
Херсонський	4,80	3,90	5,50	4,175	6,251	4,189	3,316	4,499
Хмельницький	5,80	4,10	7,10	4,175	6,251	4,189	3,316	4,829
Черкаський	1,00	1,00	1,00	4,175	6,251	4,189	3,316	2,321
Чернівецький	5,30	7,15	6,90	4,175	6,251	4,189	3,316	5,140
Чернігівський	4,80	2,10	4,20	4,175	6,251	4,189	3,316	3,963

Результати аналізу узагальнених значень просторових, містобудівних, соціально-економічних та екологічних показників використання земель територіальних громад регіонів України вказують на тенденції щодо коливань відносно середніх значень по всім групам показників. Це свідчить про тісний взаємний зв'язок обраних індикаторів ефективності (рис. 15.1).

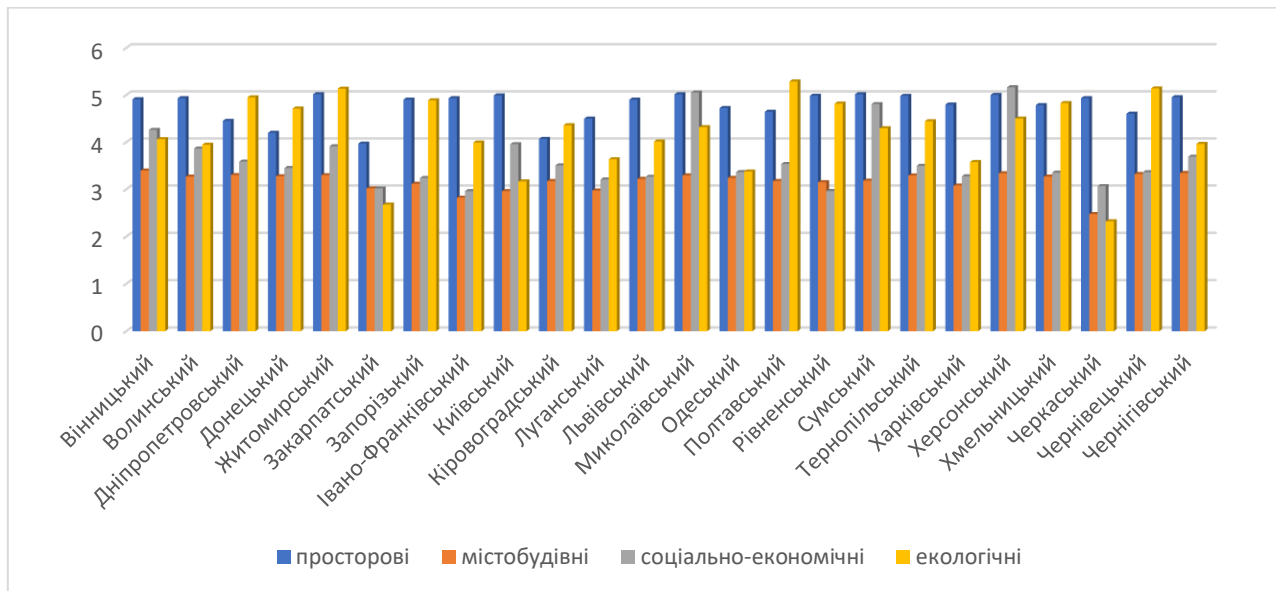


Рисунок 15.1 – Узагальнені значення локальних показників використання земель територіальних громад за регіонами України, відн. од.

Враховуючи той факт, що всі локальні показники оцінюють відповідно до шкали, де найкращим надавались найбільші бали, інтегральну оцінку показників використання земель територіальних громад за регіонами України проведено на підставі часткових показників коефіцієнтів-стимуляторів:

$$K_i^{(p)} = \frac{G_i^{(p)} - G_{min}^{(p)}}{G_{max}^{(p)} - G_{min}^{(p)}}, \quad (15.8)$$

де $G_{min}^{(p)}, G_{max}^{(p)}$ – відповідно найменше та найбільше серед узагальнених значень показників $G_i^{(p)}$ p -ї групи значення локальних показників використання земель ТГ в i -тому регіоні України.

Інтегральний показник оцінки локальних чинників використання земель територіальних громад має бути введений із урахуванням вагових коефіцієнтів, які пропонуємо визначати за наступним алгоритмом:

$$w^{(p)} = \frac{\sqrt[N]{\prod_{i=1}^N G_i^{(p)}}}{\sum_{p=1}^n \sqrt[N]{\prod_{i=1}^N G_i^{(p)}}}, \quad (15.9)$$

де p – номер групи локальних показників (просторові, містобудівні, соціально-економічні, екологічні), од.;

N – кількість регіонів, од.;

n – кількість груп локальних показників, од.

Результати оцінки коефіцієнтів-стимуляторів (15.8) та інтегрального показника (15.9) використання земель територіальних громад за регіонами подані в таблиці 15.6.

Таблиця 15.6 – Результати оцінки коефіцієнтів-стимуляторів та інтегрального показника використання земель ТГ за регіонами, відн. од.

Регіон	Коефіцієнти-стимулятори				Інтегральний показник G
	$K_i^{(1)}$	$K_i^{(2)}$	$K_i^{(3)}$	$K_i^{(4)}$	
Вінницький	0,897	1	0,589	0,586	0,764
Волинський	0,919	0,861	0,41	0,547	0,691
Дніпропетровський	0,46	0,896	0,284	0,886	0,619
Донецький	0,218	0,868	0,222	0,806	0,505
Житомирський	1	0,893	0,432	0,948	0,833
Закарпатський	0	0,588	0,025	0,119	0,156
Запорізький	0,89	0,694	0,126	0,865	0,667
Івано-Франківський	0,919	0,376	0	0,563	0,503
Київський	0,975	0,527	0,452	0,285	0,582
Кіровоградський	0,093	0,758	0,247	0,686	0,419
Луганський	0,506	0,539	0,112	0,443	0,405
Львівський	0,89	0,808	0,138	0,57	0,615
Миколаївський	1	0,889	0,949	0,673	0,879
Одеський	0,72	0,831	0,183	0,355	0,522
Полтавський	0,644	0,758	0,261	1	0,672
Рівненський	0,969	0,732	0,001	0,841	0,664
Сумський	1	0,767	0,837	0,665	0,826
Тернопільський	0,967	0,886	0,243	0,715	0,717
Харківський	0,791	0,654	0,142	0,423	0,517
Херсонський	0,986	0,936	1	0,734	0,912
Хмельницький	0,779	0,861	0,178	0,845	0,674
Черкаський	0,921	0	0,048	0	0,291
Чернівецький	0,605	0,92	0,182	0,95	0,661
Чернігівський	0,939	0,944	0,332	0,554	0,698

Характеристика значень інтегрального показника G рівню використання земель територіальних громад за регіонами подана в таблиці 15.7.

Таблиця 15.7 – Відповідність величини інтегрального показника G рівню використання земель територіальних громад за регіонами України, відн. од.

Величина G	Рівень використання земель ТГ
0–0,199	недостатній
0,2–0,399	слабкий
0,4–0,599	Помірний
0,6–0,799	Достатній
0,8–1,000	Високий

Таким чином, встановлено, що за регіонами України спостерігається різноаспектність у контексті використання земель ТГ. Зокрема, у Житомирському, Миколаївському, Сумському, Херсонському регіонах спостерігається високий рівень використання земель територіальних громад. На достатньому рівні визначаються регіони: Вінницький, Волинський, Дніпропетровський, Запорізький, Львівський, Полтавський, Рівненський, Тернопільський, Хмельницький, Чернівецький, Чернігівський. Поряд з цим, у деяких регіонах відбувається недостатній або слабкий рівень використання земель ТГ (Закарпатський, Черкаський). У цілому, відзначимо, що за останні роки відбуваються позитивні зрушення щодо використання земель територіальних громад за регіонами у розрізі комплексного врахування просторового, містобудівного, соціально-економічного й екологічного забезпечення. Проте, потрібно зазначити, що на регіональному рівні виникає необхідність здійснення заходів щодо зростання рівня використання земель на основі розробки й реалізації науково обґрунтованих рекомендації відносно здійснення моніторингових процедур та підвищення ефективності використання земель [15].

Для створення кількісної основи формування моніторингу використання земель ТГ запропоновано здійснити математичне моделювання впливу чинників на інтегральний показник. Математичне моделювання реалізують на основі відповідних етапів:

- формування інформаційно-аналітичного забезпечення щодо чинників та інтегрального показника використання земель територіальних громад за регіонами;
- застосування методів математичного моделювання відносно встановлення впливу чинників на інтегральний показник;
- розробка математичних моделей впливу чинників на інтегральний показник використання земель ТГ;
- визначення критеріїв адекватності математичних моделей;
- інтерпретація отриманих результатів [15].

Сформовано інформаційно-аналітичне забезпечення, запропоновані напрями математичного моделювання, з метою виявлення ступеню впливу узагальнюючих чинників використання земель територіальних громад на інтегральний показник на основі проведеного кореляційного аналізу.

Формування інформаційно-аналітичного забезпечення щодо чинників та інтегрального показника використання земель територіальних громад за регіонами здійснюють за результатами проведених вище розрахунків.

Функціональні етапи здійснюють із застосуванням інструментарію математичного моделювання. Зокрема, ступінь впливу складових інтегрального показника визначають за коефіцієнтами регресійної моделі, поданими в таблиці 15.8.

Таблиця 15.8 – Кореляційно-регресійний аналіз впливу узагальнюючих чинників на інтегральний показник використання земель територіальних громад, відн. од.

Назва показника (коефіцієнт множинної регресії)	Обчислене значення показника
b_0	-2,209
b_{yx_1}	0,29
b_{yx_2}	0,219
b_{yx_3}	0,104
b_{yx_4}	0,089
R_{xy}	1,0

Виявлено, що найбільший вплив на інтегральний показник використання земель територіальних громад має група просторових чинників, незначно менший, проте суттєвий вплив має група містобудівних показників.

Для побудови математичної моделі залежності між узагальнюючим й інтегральним показниками використання земель територіальних громад проведено кореляційно-регресійний аналіз за напрямками:

- на основі узагальнюючих чинників використання земель ТГ здійснюють первинний аналіз можливої залежності. Наочна ілюстрація наявності залежності інтерпретована за допомогою точкового графіку на рисунку 15.2;

- виключення з вибірки дивіаційних даних за їх наявності;
- проведення регресійного аналізу;
- проведення кореляційного аналізу;
- перевірка відповідності моделі поставленій задачі;
- прогнозування зміни валового регіонального продукту за рахунок зміни показників використання земель територіальних громад.

На підставі первинного аналізу можна зробити висновок, що з кореляційно-регресійної моделі необхідно виключити регіони:

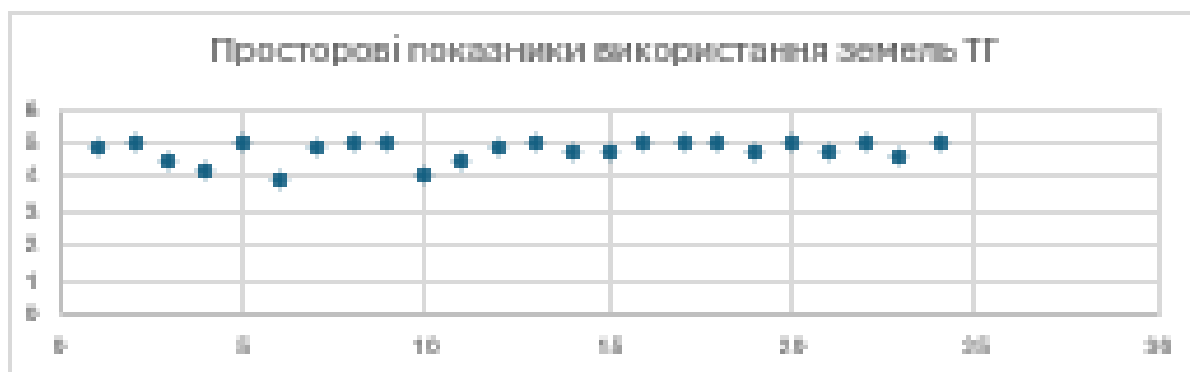
1. Закарпатський (рис. 15.2, а, г);
2. Черкаський (рис. 15.2, б, г);
3. Миколаївський (рис. 15.2, в);
4. Сумський (рис. 15.2, в);
5. Херсонський (рис. 15.2, в).

Рівняння лінійної регресії має вигляд:

$$y_x = b_{yx}x + b_0, \quad (15.10)$$

де b_{xy} та b_0 визначають за умови, що сума квадратів відхилень емпіричних групових середніх від значень, обчислених за рівнянням регресії (15.10) була мінімальною, тобто:

$$\sum_{j=1}^k (y_{x_j} - \bar{y}_j)^2 n_j = \sum_{j=1}^k (b_{xy}x_j + b_0 - \bar{y}_j)^2 n_j \rightarrow \min. \quad (15.11)$$



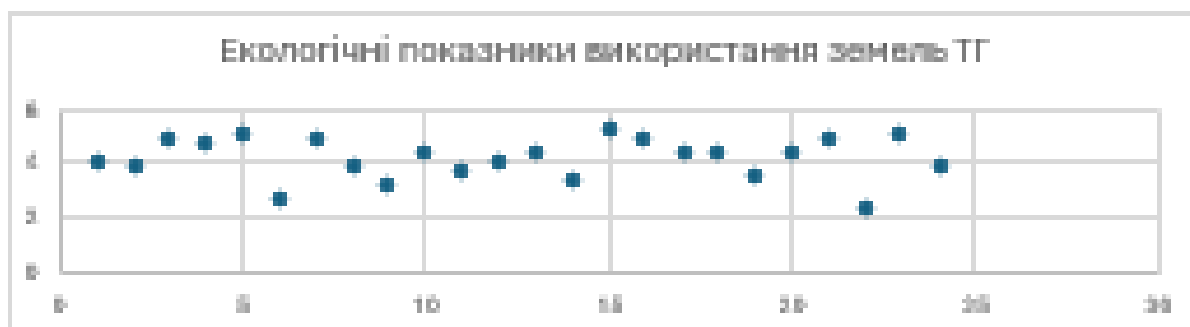
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 15.2 – Первинний аналіз залежності показників рівня використання земель територіальних громад, відн. од.

Для вирішення задачі на екстремум функції коефіцієнти рівняння (15.10) можна записати як:

$$b_{yx} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}; \quad (15.12)$$

$$b_0 = \bar{y} - b_{yx}\bar{x}; \quad (15.13)$$

де

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j; \quad \bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k y_j; \quad \overline{xy} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j y_j; \quad \overline{x^2} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j^2. \quad (15.14)$$

Для виявлення зв'язку (та його напрямку) між змінними визначимо коефіцієнт кореляції:

$$R_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \sqrt{\overline{y^2} - \bar{y}^2}}. \quad (15.15)$$

Інтегральний показник використання земель територіальних громад побудований на підставі дослідження чотирьох узагальнюючих чинників, саме тому досліджується не зв'язок між окремими компонентами, а сукупний вплив обраної множини. Це можливо виконати із застосуванням множинної регресії, яку представляють залежністю:

$$y_x = b_{yx_1}x_1 + b_{yx_2}x_2 + b_{yx_3}x_3 + b_{yx_4}x_4 + b_0, \quad (15.16)$$

де b_{yx_i} – коефіцієнти регресійного рівняння обчислюють за методом найменших квадратів:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^k (y_{x_j} - \bar{y}_j)^2 n_j = \\ & = \sum_{j=1}^k (b_{yx_1}x_1 + b_{yx_2}x_2 + b_{yx_3}x_3 + b_{yx_4}x_4 + b_0 - \bar{y}_j)^2 n_j \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (15.17)$$

Оцінку достовірності моделі проведено на підставі аналізу параметрів регресійної моделі. Встановлено, що коефіцієнт кореляції $R = 1$ (зі стандартною похибкою $2,6 \cdot 10^{-7}$), отже обрана модель формування інтегрального показника є достовірною.

Побудована за рівнянням лінійної регресії математична модель інтегрального показника за регіонами України підтверджує результати кореляційного аналізу щодо ступеня впливу узагальнюючих показників. Коефіцієнти моделі лінійної регресії висвітлюють різницю впливу узагальнюючих показників на інтегральний чинник. Коефіцієнти регресійної моделі набувають таких значень:

- для просторових показників – 0,29;
- для містобудівних – 0,219;
- для соціально-економічних – 0,104;
- для екологічних – 0,089.

У результаті дослідження встановлено, що найбільший вплив просторових показників спостерігається для більшості регіонів (рис. 15.3). Проте, незважаючи на достатньо високий вплив, що зумовлений загальною тенденцією, найменша частка в загальному оцінюванні узагальнюючих чинників використання земель територіальних громад припадає на містобудівні показники [15].

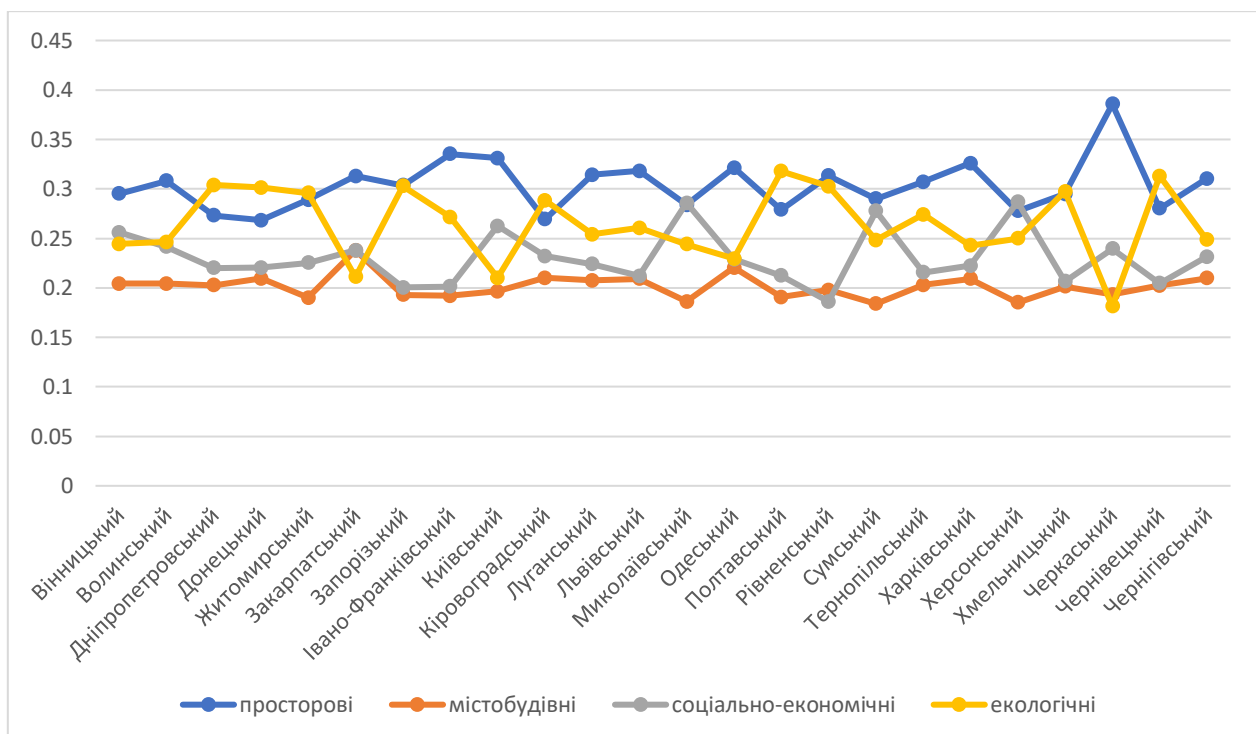


Рисунок 15.3 – Вплив узагальнюючих показників використання земель ТГ на інтегральний чинник, визначений на основі кореляційно-регресійного аналізу, відн. од.

Варто відзначити, що знижується значення як соціально-економічних, так і екологічних чинників на рівень використання земель територіальних громад [15]. Це протирічить сучасним напрямам формування та реалізації земельних відносин, де особлива увага приділяється соціально-економічним та екологічним напрямам. Більш того, сучасні системи управління земельними відносинами передбачають багатоцільове їх забезпечення із врахуванням широкого кола факторів.

Така ситуація гальмує розвиток ТГ та потребує розробки й реалізації науково обґрунтованих рекомендації підвищення рівня використання земель на основі здійснення моніторингових процедур із врахуванням зміни просторових, містобудівних, соціально-економічних й екологічних чинників.

15.2 Напрями та особливості здійснення комплексного аналізу в системі використання земель на регіональному рівні

Напрями розробки та використання комплексного аналізу в системі використання земель на регіональному рівні здійснюються на основі теоретичних положень щодо його реалізації [1–10].

Виокремимо особливості здійснення комплексного аналізу в системі використання земель на регіональному рівні. Визначені локальні чинники: $U_{RE_{11}} \dots U_{RE_{130}}$ – просторові; $U_{RE_{21}} \dots U_{RE_{242}}$ – функціональні; $U_{RE_{31}} \dots U_{RE_{318}}$ – інвестиційні; $U_{RE_{41}} \dots U_{RE_{419}}$ – екологічні.

Результати формування локальних просторових чинників та методи їх оцінки подані у таблиці 15.9.

Таблиця 15.9 – Результати формування локальних просторових чинників та методи їхньої оцінки

Назва локального чинника	Визначення	Метод оцінки
1	2	3
Рівні: доступу до геопросторових даних та метаданих	$U_{RE_{11}}$	експертний
створення, функціонування та розвитку національної інфраструктури геопросторових даних	$U_{RE_{12}}$	експертний
забезпечення моніторингу використання геопросторових даних	$U_{RE_{13}}$	експертний
інформаційного забезпечення національної інфраструктури геопросторових даних	$U_{RE_{14}}$	експертний
формування організаційно-технологічної основи функціонування національної інфраструктури геопросторових даних (національний геопортал; геопортали органів виконавчої влади; геопортали органів місцевого самоврядування; геопортали інших держателів даних)	$U_{RE_{15}}$	експертний
організації виробництва, оновлення, оброблення, зберігання, постачання та використання базових геопросторових даних	$U_{RE_{16}}$	Експертний
організації виробництва, оновлення та зберігання тематичних геопросторових даних та метаданих	$U_{RE_{17}}$	експертний
використання, оброблення, оприлюднення та візуалізація геопросторових даних та метаданих	$U_{RE_{18}}$	експертний
забезпечення умови поширення та використання геопросторових даних і геоінформаційних сервісів	$U_{RE_{19}}$	експертний
формування та застосування сервісів доступу, пошуку, відображення та перегляду геопросторових даних та метаданих на геопорталах, що взаємодіють в інтернеті	$U_{RE_{110}}$	експертний
забезпечення електронної інформаційної взаємодії та адміністрування між геопорталами	$U_{RE_{111}}$	експертний
поінформованості суб'єктів господарювання, які мають у власності та/або в користуванні земельні ділянки щодо внесення до Державного земельного кадастру відомостей про земельні ділянки сертифікованими інженерами-землевпорядниками	$U_{RE_{112}}$	експертний

Продовження таблиці 15.9

1	2	3
поінформованості органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування, уповноважених розпоряджатися земельними ділянками державної чи комунальної власності щодо внесення до Державного земельного кадастру відомостей про земельні ділянки сертифікованими інженерами-землевпорядниками	$U_{RE_{113}}$	експертний
професійної підготовки та кадрового забезпечення у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності	$U_{RE_{114}}$	експертний
саморегулювання у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності	$U_{RE_{115}}$	експертний
державного управління у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності	$U_{RE_{116}}$	експертний
забезпечення умов здійснення топографо-геодезичної і картографічної діяльності	$U_{RE_{117}}$	експертний
технічного та технологічного забезпечення топографо-геодезичної і картографічної діяльності	$U_{RE_{118}}$	Експертний
формування картографо-геодезичного фонду	$U_{RE_{119}}$	експертний
можливостей користування топографо-геодезичними і картографічними матеріалами та даними	$U_{RE_{120}}$	експертний
фінансування топографо-геодезичної і картографічної діяльності	$U_{RE_{121}}$	експертний
охорони геодезичних пунктів	$U_{RE_{122}}$	експертний
державного геодезичного нагляду	$U_{RE_{123}}$	експертний
відповідальності за порушення законодавства у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності	$U_{RE_{124}}$	експертний
міжнародного співробітництва у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності	$U_{RE_{125}}$	експертний
топографічне картографування території та розвиток національної системи картографування, створення та оновлення топографічних карт	$U_{RE_{126}}$	експертний
встановлення, унормування, облік, реєстрація, використання та збереження географічних назв	$U_{RE_{127}}$	експертний
створення та ведення Державного реєстру географічних назв	$U_{RE_{128}}$	експертний
проведення робіт із демаркації державного кордону України	$U_{RE_{129}}$	експертний
питома вага земель сільськогосподарського призначення у їх загальному обсязі на регіональному рівні	$U_{RE_{130}}$	аналітичний

Встановлено, що більшість локальних просторових чинників оцінюють за експертними методами, лише показник питомої ваги земель сільськогосподарського призначення у їх загальному обсязі на регіональному рівні визначають із застосуванням аналітичного методу на основі даних Офіційного сайту Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру [34].

Результати формування локальних функціональних чинників та методи їх оцінки представлені у таблиці 15.10.

Таблиця 15.10 – Результати формування локальних функціональних чинників та методи їх оцінки

Назва локального чинника	Визначення	Метод оцінки
1	2	3
Рівні: забезпечення планування і забудови територій	$U_{RE_{21}}$	експертний
формування законодавства у сфері містобудівної діяльності	$U_{RE_{22}}$	експертний
ефективності управління у сфері містобудівної діяльності	$U_{RE_{23}}$	експертний
забезпечення фінансування містобудівної діяльності	$U_{RE_{24}}$	експертний
розроблення та реалізації програм комплексного відновлення території територіальної громади	$U_{RE_{25}}$	експертний
розроблення і реалізації комплексних планів просторового розвитку території територіальної громади	$U_{RE_{26}}$	експертний
генерального планування територій	$U_{RE_{27}}$	експертний
зонування територій	$U_{RE_{28}}$	експертний
ефективності функціонування архітектурно-містобудівних рад	$U_{RE_{29}}$	експертний
громадського обговорення проєктів містобудівної документації на регіональному рівні	$U_{RE_{210}}$	експертний
громадського обговорення проєктів програм комплексного відновлення на регіональному рівні	$U_{RE_{211}}$	експертний
формування та використання містобудівного кадастру	$U_{RE_{212}}$	експертний

Продовження таблиці 15.10

1	2	3
формування та використання електронної системи у сфері будівництва	$U_{RE_{213}}$	експертний
здійснення будівельної діяльності	$U_{RE_{214}}$	експертний
забезпечення регулювання земельних відносин при здійсненні містобудівної діяльності	$U_{RE_{215}}$	експертний
забезпечення регулювання забудови територій	$U_{RE_{216}}$	експертний
забезпечення дозвільної документації	$U_{RE_{217}}$	експертний
забезпечення ліцензування господарської діяльності з будівництва об'єктів	$U_{RE_{218}}$	експертний
внесення змін до повідомлення або декларації про готовність об'єкта до експлуатації, скасування реєстрації декларації про готовність об'єкта до експлуатації або припинення права на початок виконання підготовчих або будівельних робіт, набутого на підставі поданого повідомлення	$U_{RE_{219}}$	експертний
огляду, обстеження та паспортизації об'єктів	$U_{RE_{220}}$	експертний
технічної інвентаризації об'єктів нерухомого майна	$U_{RE_{221}}$	експертний
державного архітектурно-будівельного контролю та нагляду	$U_{RE_{222}}$	експертний
забезпечення відповідальності за правопорушення у сфері містобудівної діяльності	$U_{RE_{223}}$	експертний
містобудівного забезпечення	$U_{RE_{224}}$	експертний
взаємодії із державними органами влади	$U_{RE_{225}}$	експертний
регіональними органами влади	$U_{RE_{226}}$	експертний
представниками територіальних громад	$U_{RE_{227}}$	експертний
державними органами, що забезпечують регулювання та контроль за використанням нерухомості на регіональному рівні	$U_{RE_{228}}$	експертний
громадськими організаціями, що забезпечують ефективність використання нерухомості	$U_{RE_{229}}$	експертний
саморегулювальними організаціями, що забезпечують формування та реалізацію архітектурного, будівельного контролю, здійснення оцінної діяльності	U_{230}	експертний
ріелторами та іншими агентствами нерухомості	U_{231}	експертний
підрядниками	U_{232}	експертний
замовниками будівельної продукції	U_{233}	експертний

Закінчення таблиці 15.10

1	2	3
споживачами нерухомості	U_{234}	експертний
нотаріальними та іншими юридичними організаціями, що забезпечують супровід передачі прав на використання нерухомості	U_{235}	експертний
банківськими та іншими фінансовими установами	U_{236}	експертний
іншими громадськими організаціями	U_{237}	експертний
організаціями, що забезпечують інформаційну підтримку використання нерухомістю на регіональному рівні	U_{238}	експертний
іншими організаціями, підприємствами, що функціонують у сфері використання нерухомістю	U_{239}	експертний
індекс будівельної продукції за регіонами України	$U_{RE_{240}}$	аналітичний
індекс загальної площі житлових будівель за досліджений період	$U_{RE_{241}}$	аналітичний
індекс загальної площі нежитлових будівель за досліджений період	$U_{RE_{242}}$	аналітичний

Більшість локальних функціональних чинників оцінюють експертними методами, проте, порівняно із попередніми чинниками, значно більше показників визначають за аналітичними методами [34].

Результати формування локальних інвестиційних чинників та методи їх оцінки представлені в таблиці 15.11.

Таблиця 15.11 – Результати формування локальних інвестиційних чинників та методи їх оцінки

Назва локального чинника	Визначення	Метод оцінки
1	2	3
Рівні: активності здійснення інвестиційної діяльності	$U_{RE_{31}}$	експертний
напрямів та особливостей розробки й реалізації інвестиційних проєктів	$U_{RE_{32}}$	експертний
державного регулювання інвестиційної діяльності	$U_{RE_{33}}$	експертний

Продовження таблиці 15.11

1	2	3
повноти та можливостей застосування джерел фінансування інвестиційної діяльності у сфері використання земель на регіональному рівні	$U_{RE_{34}}$	експертний
забезпечення гарантій суб'єктів інвестиційної діяльності	$U_{RE_{35}}$	експертний
забезпечення захисту інвестицій	$U_{RE_{36}}$	експертний
застосування форм здійснення іноземних інвестицій	$U_{RE_{37}}$	експертний
забезпечення правового режиму формування та використання іноземних інвестицій	$U_{RE_{38}}$	експертний
забезпечення компенсації та відшкодування іноземним інвесторам на регіональному рівні	$U_{RE_{39}}$	експертний
контролю за іноземними інвестиціями	$U_{RE_{310}}$	експертний
забезпечення діяльності щодо формування та використання іноземних інвестицій	$U_{RE_{311}}$	експертний
забезпечення договірних зобов'язань для формування та використання іноземних інвестицій	$U_{RE_{312}}$	експертний
формування та використання іноземних інвестицій у спеціальних (вільних) економічних зонах на регіональному рівні	$U_{RE_{313}}$	експертний
розгляду спорів для формування та використання іноземних інвестицій на регіональному рівні	$U_{RE_{314}}$	експертний
захисту іноземних інвестицій на регіональному рівні	$U_{RE_{315}}$	експертний
інвестиційної привабливості регіонів	$U_{RE_{316}}$	експертний
індекс капітальних інвестицій до відповідного періоду минулого року за регіонами України	$U_{RE_{317}}$	аналітичний
питома вага населених пунктів, де здійснена нормативна грошова оцінка земель до загальної їх кількості на регіональному рівні	$U_{RE_{318}}$	аналітичний

Як і за попередніми чинниками, локальні інвестиційні показники визначають за напрямками формування та реалізації вітчизняних і закордонних інвестицій, їх захисту, створення інвестиційної привабливості, більшість із яких оцінюють за експертними методами [34]. Результати формування локальних екологічних чинників та методи їх оцінки представлені в таблиці 15.12.

Таблиця 15.12 – Результати формування локальних екологічних чинників та методи їх оцінки

Назва локального чинника	Визначення	Метод оцінки
Рівні: реалізації державних цільових та інших екологічних програм	$U_{RE_{41}}$	експертний
освіти і виховання в галузі охорони навколишнього природного середовища наукових досліджень	$U_{RE_{42}}$	експертний
забезпечення екологічних прав та виконання обов'язків	$U_{RE_{43}}$	експертний
забезпечення та реалізації повноважень рад у сфері охорони навколишнього природного середовища	$U_{RE_{44}}$	експертний
забезпечення та реалізації повноважень органів управління у сфері охорони навколишнього природного середовища	$U_{RE_{45}}$	експертний
спостережень, прогнозування, обліку та інформування в сфері навколишнього природного середовища	$U_{RE_{46}}$	експертний
забезпечення нормування в сфері охорони навколишнього природного середовища	$U_{RE_{47}}$	експертний
забезпечення контролю та нагляду у сфері охорони навколишнього природного середовища	$U_{RE_{48}}$	експертний
застосування економічного механізму у сфері охорони навколишнього природного середовища	$U_{RE_{49}}$	експертний
реалізації заходів екологічної безпеки	$U_{RE_{410}}$	експертний
забезпечення та реагування на надзвичайні екологічні ситуації	$U_{RE_{411}}$	експертний
забезпечення відповідальності за порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища	$U_{RE_{412}}$	експертний
формування та застосування геоекологічного моніторингу	$U_{RE_{413}}$	експертний
індекс загального обсягу утворення відходів на регіональному рівні	$U_{RE_{414}}$	аналітичний
індекс обсягу утилізованих відходів на регіональному рівні	$U_{RE_{415}}$	аналітичний
темпи зростання (зниження) викидів забруднюючих речовин і парникових газів від пересувних джерел забруднення на одну особу	$U_{RE_{416}}$	аналітичний
темпи зростання (зниження) викидів забруднюючих речовин і парникових газів від стаціонарних джерел забруднення на одну особу	$U_{RE_{417}}$	аналітичний
індекс витрат на охорону навколишнього природного середовища по регіонах	$U_{RE_{418}}$	аналітичний
індекс капітальних інвестицій на охорону природного навколишнього середовища за регіонами	$U_{RE_{419}}$	аналітичний

Визначення локальних екологічних чинників використання нерухомості на регіональному рівні здійснюють як експертними, так і аналітичними методами [34].

Системні показники використання земель на регіональному рівні визначають за співвідношеннями:

просторовий:

$$U_{RE_1} = \sqrt[30]{U_{RE_{11}} \times U_{RE_{12}} \times \dots \times U_{RE_{130}}}, \quad (15.18)$$

функціональний:

$$U_{RE_2} = \sqrt[42]{U_{RE_{21}} \times U_{RE_{22}} \times \dots \times U_{RE_{242}}}, \quad (15.19)$$

інвестиційний:

$$U_{RE_3} = \sqrt[18]{U_{RE_{31}} \times U_{RE_{32}} \times \dots \times U_{RE_{318}}}, \quad (15.20)$$

екологічний:

$$U_{RE_4} = \sqrt[19]{U_{RE_{41}} \times U_{RE_{42}} \times \dots \times U_{RE_{419}}}. \quad (15.21)$$

Інтегральна модель оцінки рівня використання земель регіонів наступна:

$$I_{RE} = U_{RE_1} \times k_{vU_{RE_1}} + U_{RE_2} \times k_{vU_{RE_2}} + U_{RE_3} \times k_{vU_{RE_3}} + U_{RE_4} \times k_{vU_{RE_4}}. \quad (15.22)$$

Інтерпретацію отриманих результатів оцінки здійснюють відповідно до розробленої шкали значень інтегрального показника використання земель на регіональному рівні (табл. 15.13) [34].

Таблиця 15.13 – Шкала значень інтегрального показника використання земель на регіональному рівні, відн. од.

Значення експертних оцінок	Характеристика
0	відсутні напрями використання земель на регіональному рівні, враховуючи вплив просторових, функціональних, інвестиційних, екологічних чинників
1	низький рівень використання земель
2	незначний
3	несуттєвий
4	помірно низький
5	помірний
6	помірно високий
7	значний
8	суттєвий
9	високий
10 і більше	абсолютний

Значення системних чинників використання нерухомості на регіональному рівні, скоригованих на величину вагових коефіцієнтів, представлені у таблиці 15.14.

Таблиця 15.14 – Значення системних чинників використання земель на регіональному рівні скоригованих на величину вагових коефіцієнтів, відн. од.

Регіони	U_{RE_1}	U_{RE_2}	U_{RE_3}	U_{RE_4}
Вінницький	0,262	2,363	0,492	0,481
Волинський	0,25	2,378	0,49	0,455
Дніпропетровський	0,266	2,274	0,515	0,5
Донецький	0,235	2,209	0,393	0,405
Житомирський	0,25	2,237	0,488	0,442
Закарпатський	0,245	2,353	0,481	0,466
Запорізький	0,259	2,167	0,403	0,447
Івано-Франківський	0,248	2,394	0,47	0,451
Київський	0,273	2,474	0,644	0,497
Кіровоградський	0,254	2,188	0,473	0,495
Луганський	0,215	2,048	0,311	0,385
Львівський	0,262	2,408	0,561	0,488
Миколаївський	0,254	2,015	0,4	0,45
Одеський	0,263	2,248	0,514	0,485
Полтавський	0,26	2,34	0,5	0,436
Рівненський	0,245	2,311	0,498	0,414
Сумський	0,255	2,26	0,502	0,454
Тернопільський	0,247	2,344	0,478	0,457
Харківський	0,265	2,261	0,482	0,491
Херсонський	0,255	2,265	0,412	0,495
Хмельницький	0,249	2,309	0,476	0,458
Черкаський	0,247	2,271	0,489	0,454
Чернівецький	0,238	2,308	0,499	0,458
Чернігівський	0,25	2,253	0,471	0,457

Результати оцінки інтегрального показника рівня використання земель регіонів подано на рисунку 15.4.

У результаті дослідження визначено, що у всіх регіонах, окрім Луганського, спостерігається несуттєвий рівень використання земель, враховуючи вплив просторових, функціональних, інвестиційних, екологічних чинників. Найбільше значення інтегрального показника спостерігалось у

регіонах: Київському; Львівському. Найнижчими значеннями цього показника відзначались регіони: Луганський; Миколаївський; Донецький; Запорізький. Це вказує на необхідність зміни траєкторії інтегрального показника рівня використання нерухомості регіонів шляхом побудови математичних моделей, визначення прогностичних значень та розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення рівня використання земель [34].

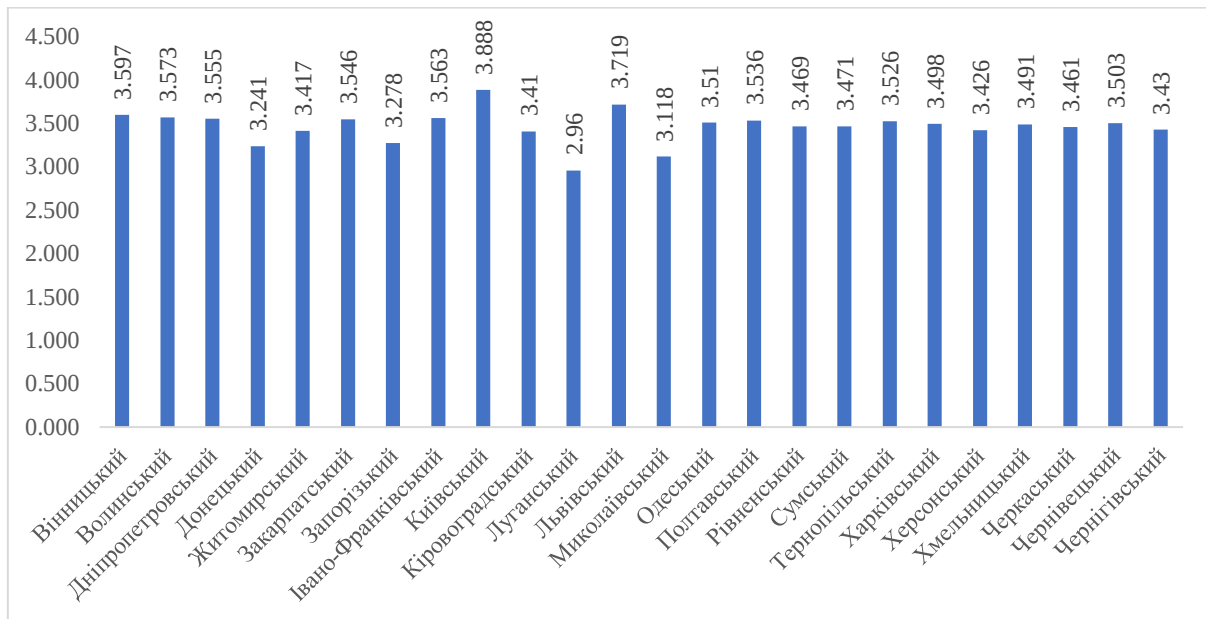


Рисунок 15.4 – Інтегральний показник рівня використання нерухомості регіонів, відн. од.

Отже, у результаті дослідження розроблені такі математичні моделі впливу:

– системного просторового чинника на інтегральний показник рівня використання земель регіонів:

$$I_{U_{RE}} = 0,828 + 10,451 * U_{RE_1}. \quad (15.23)$$

– системного функціонального чинника на інтегральний показник рівня використання земель регіонів:

$$I_{U_{RE}} = -2,196 + 1,606 * U_{RE_2}. \quad (15.24)$$

– системного інвестиційного чинника на інтегральний показник рівня використання земель регіонів:

$$I_{U_{RE}} = 0,634 + 1,821 * U_{RE_3}. \quad (15.25)$$

– системного екологічного чинника на інтегральний показник рівня використання земель регіонів:

$$I_{U_{RE}} = 0,095 + 7,105 * U_{RE_4}. \quad (15.26)$$

Визначені критерії адекватності розроблених математичних моделей (табл. 15.15) [34].

Таблиця 15.15 – Критерії адекватності розроблених математичних моделей, відн. од.

Значення розрахованих критеріїв адекватності	Нормативні значення критеріїв адекватності
Модель (15.23)	
F-критерій Фішера – 19,272	4,26
t-критерій Стюдента: для постійного члена – 4,38 для коефіцієнту регресії системного просторового чинника – 4,39	2,069
Критерій Спірмена – 0,475	2,069
Критерій Дарбіна-Уотсона – 1,392	1,27–1,45
Модель (15.24)	
F-критерій Фішера – 122,2	4,26
t-критерій Стюдента: для постійного члена – 4,593 для коефіцієнта регресії системного функціонального чинника – 11,054	2,069
Критерій Спірмена – 0,865	2,069
Критерій Дарбіна – Уотсона – 1,284	1,27–1,45
Модель (15.25)	
F-критерій Фішера – 156,18	4,26
t-критерій Стюдента: для постійного члена – 7,126 для коефіцієнту регресії системного інвестиційного чинника – 12,497	2,069
Критерій Спірмена – 0,754	2,069
Критерій Дарбіна – Уотсона – 1,342	1,27–1,45
Модель (15.26)	
F-критерій Фішера – 15,854	4,26
t-критерій Стюдента: для постійного члена – 4,042 для коефіцієнта регресії системного інвестиційного чинника – 3,982	2,069
Критерій Спірмена – 0,468	2,069
Критерій Дарбіна – Уотсона – 1,282	1,27–1,45

У результаті дослідження визначено, що розроблені математичні моделі є адекватними, оскільки відповідні критерії відповідають встановленим вимогам, зокрема, фактичні значення F-критерію Фішера та t-критерію Стюдента перевищують нормативні значення, критерій Спірмена менше нормативного значення, фактичне значення критерію Дарбіна – Уотсона знаходиться у проміжку, де відсутня автокореляція залишків. Мультиколінеарність не визначалась оскільки у моделях застосованій лише один незалежний чинник [34].

Інтерпретуючи встановлені зв'язки встановлено, що посередній рівень впливу системного просторового чинника на інтегральний показник рівня використання земель регіонів ($R^2 = 0,467$). Визначено прямо пропорційний зв'язок між системним просторовим чинником і інтегральним показником.

Системний функціональний чинник на високому рівні обумовлює зміни інтегрального показника рівня використання земель регіонів ($R^2 = 0,847$), які мають також прямо пропорційний зв'язок. Системний інвестиційний чинник характеризують аналогічні тенденції. Системний екологічний чинник визначається посереднім впливом на інтегральний показник ($R^2 = 0,419$), які мають прямо пропорційні зв'язки [34].

ТЕМА 16 НАПРЯМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КІЛЬКІСНОЇ ОСНОВИ УХВАЛЕННЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Прогнозування показників використання земель як підґрунтя для формування кількісної основи ухвалення рішень. Визначення «точок зростання» інтегрального показника. Розробка заходів підвищення ефективності використання земель.

16.1 Прогнозування показників використання земель як підґрунтя для формування кількісної основи ухвалення рішень

На основі розроблених математичних моделей здійснено прогнозування зміни інтегрального показника рівня використання земель регіонів залежно від зростання системних чинників. Причому прогнозування здійснювалось до рівня забезпечення позитивних змін у всіх регіонах.

Результати прогнозування змін інтегрального показника залежно від зростання системного просторового чинника використання земель на регіональному рівні представлені в таблиці 16.1.

Таблиця 16.1 – Результати прогнозування змін інтегрального показника залежно від зростання системного просторового чинника використання земель на регіональному рівні на 1–8 %, відн. од.

Зміни інтегрального показника залежно від зростання системного просторового чинника на:							
1	2	3	4	5	6	7	8
1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
-0,002	0,025	0,052	0,08	0,107	0,134	0,162	0,189
-0,105	-0,079	-0,053	-0,027	-0,001	0,026	0,052	0,078
0,082	0,11	0,137	0,165	0,193	0,221	0,249	0,276
0,069	0,093	0,118	0,142	0,167	0,191	0,216	0,24
0,051	0,077	0,103	0,129	0,155	0,182	0,208	0,234
-0,131	-0,105	-0,08	-0,054	-0,028	-0,003	0,023	0,048
0,285	0,312	0,339	0,366	0,393	0,42	0,447	0,474
-0,116	-0,09	-0,064	-0,038	-0,013	0,013	0,039	0,065
-0,177	-0,149	-0,120	-0,092	-0,063	-0,035	-0,006	0,022
0,1	0,127	0,153	0,180	0,206	0,233	0,259	0,286
0,138	0,161	0,183	0,206	0,228	0,251	0,273	0,296
-0,124	-0,097	-0,07	-0,042	-0,015	0,012	0,04	0,067
0,392	0,419	0,445	0,472	0,498	0,525	0,551	0,578
0,095	0,123	0,15	0,178	0,205	0,233	0,26	0,288
0,037	0,065	0,092	0,119	0,146	0,173	0,2	0,228
-0,054	-0,028	-0,003	0,023	0,049	0,074	0,1	0,125
0,05	0,076	0,103	0,13	0,156	0,183	0,21	0,236
-0,09	-0,064	-0,038	-0,012	0,013	0,039	0,065	0,091
0,128	0,156	0,184	0,211	0,239	0,267	0,294	0,322
0,095	0,121	0,148	0,175	0,201	0,228	0,255	0,281

Продовження таблиці 16.1

1	2	3	4	5	6	7	8
-0,034	-0,008	0,018	0,044	0,07	0,096	0,122	0,148
-0,025	0,001	0,027	0,053	0,078	0,104	0,13	0,156
-0,162	-0,137	-0,112	-0,087	-0,062	-0,037	-0,013	0,012
0,038	0,064	0,09	0,116	0,142	0,169	0,195	0,221

У результаті прогнозування встановлено, що позитивні зрушення інтегрального показника забезпечені при зростанні системного просторового чинника на 8 % [34].

На основі прогнозування визначено, що позитивна динаміка інтегрального показника забезпечується при зростанні системного функціонального чинника використання земель у всіх регіонах у 2 рази або на 100 %. Для забезпечення позитивних зрушень узагальнюючого показника використання земель у всіх регіонах необхідно вирішити складне завдання щодо зростання інвестиційних чинників у 3,5 рази. Це свідчить, що у сучасних неоднозначних умовах, спостерігається значне зниження інвестиційної привабливості земель, скорочуються можливості для залучення інвестицій, що потребує значних трансформацій у сфері інвестиційного забезпечення сфери використання земель на регіональному рівні. У результаті прогнозування встановлено, що зростання системного екологічного чинника на 15 % забезпечило збільшення інтегрального показника рівня використання земель у всіх регіонах. У результаті дослідження визначено, що зростання інтегрального показника рівня використання нерухомості забезпечено збільшенням системного екологічного чинника на 15 % у всіх регіонах [34].

Таким чином, у результаті математичного моделювання визначено вплив системних чинників на інтегральний показник рівня використання земель регіонів. Визначено, що необхідно забезпечити зростання системних просторових, функціональних, інвестиційних та екологічних чинників для підвищення рівня використання земель у всіх регіонах. Причому, по функціональним й інвестиційним чинникам необхідно створити умови для кардинальних змін, зокрема забезпечити їх зростання у 2 та 3,5 рази, що є

складним завданням і потребує розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення ефективності використання земель у всіх регіонах [34].

16.2 Визначення «точок зростання» інтегрального показника. Розробка заходів підвищення ефективності використання земель

Розробка та реалізація науково обґрунтованих рекомендацій підвищення ефективності використання земель на регіональному рівні базується на визначеному інтегральному показнику рівня використання земель регіонів. У цьому контексті запропоновані напрями зростання інтегрального показника через призму збільшення:

а) просторових чинників на 8 % шляхом:

- забезпечення доступу до геопросторових та метаданих;
- реалізації можливостей та доступу до національної інфраструктури геопросторових даних;
- використання та реалізації моніторингу використання геопросторових даних;
- зростання рівня інформаційного забезпечення національної інфраструктури геопросторових даних;
- формування та застосування організаційно-технологічної основи функціонування національної інфраструктури геопросторових даних;
- активна організація виробництва, оновлення, оброблення, зберігання, постачання та використання базових і тематичних геопросторових даних;
- забезпечення оприлюднення та візуалізації геопросторових та метаданих;
- забезпечення умов поширення та використання геопросторових даних і геоінформаційних сервісів;
- створення умов доступу до геопросторових даних;
- застосування електронної взаємодії щодо формування та використання геопросторових даних;

- зростання рівня поінформованості суб'єктів господарювання, які мають у власності та/або в користуванні земельні ділянки щодо внесення до Державного земельного кадастру відомостей про земельні ділянки сертифікованими інженерами-землевпорядниками;
- збільшення рівня поінформованості органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування, уповноважених розпоряджатися земельними ділянками державної чи комунальної власності щодо внесення до Державного земельного кадастру відомостей про земельні ділянки сертифікованими інженерами-землевпорядниками;
- зростання рівня професійної підготовки та кадрового забезпечення у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності;
- створення умов для саморегулювання у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності;
- підвищення ефективності державного управління у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності;
- зростання рівня технічного та технологічного забезпечення топографо-геодезичної і картографічної діяльності;
- забезпечення формування картографо-геодезичного фонду;
- зростання можливостей користування топографо-геодезичними і картографічними матеріалами та даними;
- збільшення рівня фінансування топографо-геодезичної і картографічної діяльності;
- формування геодезичних пунктів та забезпечення їх охорони;
- зростання рівня ефективності державного геодезичного нагляду;
- забезпечення відповідальності за порушення законодавства у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності;
- створення умов та реалізація напрямів міжнародного співробітництва у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності;

- зростання рівня топографічного картографування території та забезпечення розвитку національної системи картографування, створення та оновлення топографічних карт;

- забезпечення встановлення, унормування, обліку, реєстрації, використання та збереження географічних назв

- забезпечення створення та ведення Державного реєстру географічних назв;

- поглиблення та активізація робіт із демаркації державного кордону України;

- забезпечення ефективності використання земель сільськогосподарського призначення [34];

б) функціональних чинників у 2 рази на основі:

- забезпечення ефективності планування і забудови територій;

- створення умов формування законодавства у сфері містобудівної діяльності, враховуючи інтереси різних груп стейкхолдерів, що взаємодіють у сфері використання земель;

- зростання ефективності управління у сфері містобудівної діяльності;

- збільшення рівня та ефективності фінансування містобудівної діяльності;

- зростання рівня розроблення та реалізації програм комплексного відновлення території територіальної громади;

- збільшення рівня розроблення і реалізації комплексних планів просторового розвитку території територіальної громади;

- забезпечення генерального планування та зонування територій;

- забезпечення ефективності функціонування архітектурно-містобудівних рад;

- зростання рівня громадського обговорення проєктів містобудівної документації;

- забезпечення громадського обговорення проєктів програм комплексного відновлення на регіональному рівні;

- зростання рівня формування та використання містобудівного кадастру;
- створення умов та зростання рівня для формування та використання електронної системи у сфері будівництва;
- підвищення ефективності будівельної діяльності, враховуючи сучасні неоднозначні умови господарювання;
- зростання ефективності регулювання земельних відносин при здійсненні містобудівної діяльності;
- забезпечення регулювання та ефективності забудови територій;
- забезпечення прозорості формування та використання дозвільної документації;
- створення умов для спрощення ліцензування господарської діяльності з будівництва об'єктів;
- формування та використання інформації про готовність об'єкта до експлуатації;
- забезпечення повноти огляду, обстеження та паспортизації об'єктів;
- перманентна технічна інвентаризація об'єктів нерухомого майна;
- забезпечення повноти та прозорості державного архітектурно-будівельного контролю та нагляду;
- забезпечення відповідальності за правопорушення у сфері містобудівної діяльності;
- зростання ефективності взаємодії із стекхолдерами, що взаємодіють у сфері містобудівної діяльності відносно використання земель (із державними органами влади; регіональними органами влади; представниками територіальних громад; державними органами, що забезпечують регулювання та контроль за використанням нерухомості на регіональному рівні; громадськими організаціями, що забезпечують ефективність використання нерухомості; саморегульованими організаціями, що забезпечують формування та реалізацію архітектурного, будівельного контролю, здійснення оцінної діяльності; ріелторами та іншими агентствами нерухомості; підрядниками; замовниками будівельної продукції; споживачами нерухомості; нотаріальними

та іншими юридичними організаціями, що забезпечують супровід передачі прав на використання нерухомості; банківськими та іншими фінансовими установами; іншими громадськими організаціями; організаціями, що забезпечують інформаційну підтримку використання нерухомістю на регіональному рівні; іншими організаціями, підприємствами, що функціонують у сфері використання нерухомістю);

- зростання показників функціонування будівельної сфери (індексів будівельної продукції за регіонами України; загальної площі житлових будівель за досліджений період; загальної площі нежитлових будівель за досліджений період) [34];

в) інвестиційних чинників у 3,5 разів за рахунок:

- забезпечення активності здійснення інвестиційної діяльності;
- зростання ефективності розробки й реалізації інвестиційних проєктів;
- збільшення ефективності державного регулювання інвестиційної діяльності;
- забезпечення повноти та можливостей застосування джерел фінансування інвестиційної діяльності у сфері використання земель на регіональному рівні;
- створення умов для забезпечення гарантій суб'єктів інвестиційної діяльності;
- зростання рівня захисту інвестицій;
- створення умов для залучення й зростання ефективності іноземних інвестицій;
- забезпечення правового режиму формування та використання іноземних інвестицій;
- зростання рівня ефективності здійснення компенсації та відшкодування іноземним інвесторам на регіональному рівні;
- забезпечення контролю за іноземними інвестиціями;
- створення умов для зростання рівня ефективності реалізації договірних зобов'язань у контексті залучення та використання іноземних інвестицій;

- розвиток спеціальних (вільних) економічних зонах на регіональному рівні;
- забезпечення рівня захисту іноземних інвестицій на регіональному рівні;
- зростання інвестиційної привабливості регіонів;
- збільшення індекс капітальних інвестицій до відповідного періоду минулого року за регіонами України;
- зростання питомої ваги населених пунктів, де здійснена нормативна грошова оцінка земель до загальної їх кількості на регіональному рівні [34];
- г) екологічних чинників на 15 % шляхом:
 - зростання ефективності реалізації державних цільових та інших екологічних програм;
 - забезпечення освіти і виховання в галузі охорони навколишнього природного середовища;
 - забезпечення екологічних прав та виконання обов’язків;
 - забезпечення та реалізації повноважень рад у сфері охорони навколишнього природного середовища за принципами партнерства;
 - забезпечення та реалізація повноважень органів управління у сфері охорони навколишнього природного середовища за принципами партнерства;
 - перманентне спостереження, прогнозування, облік та інформування в сфері навколишнього природного середовища;
 - забезпечення повноти та достовірності нормування в сфері охорони навколишнього природного середовища;
 - формування перманентного контролю та нагляду у сфері охорони навколишнього природного середовища;
 - розробка та застосування економічного механізму;
 - перманентна реалізація заходів екологічної безпеки;
 - своєчасне реагування на надзвичайні екологічні ситуації та їх попередження;

- забезпечення відповідальності за порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища;
- формування та застосування геоекологічного моніторингу;
- зростання показників екологічного розвитку регіонів (індексів загального обсягу утворення відходів на регіональному рівні та обсягу утилізованих відходів на регіональному рівні; темпів зростання (зниження) викидів забруднюючих речовин і парникових газів від пересувних джерел забруднення на одну особу, зростання (зниження) викидів забруднюючих речовин і парникових газів від стаціонарних джерел забруднення на одну особу; індексів витрат на охорону навколишнього природного середовища по регіонах та капітальних інвестицій на охорону природного навколишнього середовища за регіонами) [34].

Визначення «точок зростання» рівня використання земель, підвищення ефективності землекористування здійснюють за результатами прогнозування і визначеними прогнозними значеннями чинників, де інтегральний показник зростає у всіх регіонах.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Математичне моделювання чинників використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів [Електрон. ресурс] / К. А. Мамонов, Р. С. В'яткін, Е. С. Штерндок, А. В. Штерндок // Комунальне господарство міст. – Електрон. текст. дані. – 2024. – Том 1, Вип. 182. – С. 132–136. – (Серія: Геодезія та землеустрій). – Режим доступу : <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-1-182-132-136>, вільний (дата звернення : 09.09.2025). – Назва з екрана.

2. Mathematical modeling of factors of land use of nature reserve fund regions [Electronic resource] / K. A. Mamonov, R. S. Viatkin, E. S. Shterndok, A. V. Shterndok // Municipal Economy of Cities. – Electronic text data. – 2024. – Vol. 1, Is. 182. – P. 132–136. – (Series: Geodesy and Land Management). – Regime of access: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.2.2023.286728>, free (application date: 20.05.2025). – Header from the screen.

3. Mathematical modeling for assessment of the level of land use of objects of the nature and preserve fund of the regions [Electronic resource] / K. Mamonov, R. Viatkin, E. Shterndok, A. Shterndok // The Scientific Heritage. – Electronic text data. – 2023. – № 128. – Pp. 28–32. – Regime of access: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10468007>, free (application date: 20.05.2025). – Header from the screen.

4. Мамонов К. А. Розробка методу інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад [Електрон. ресурс] / К. А. Мамонов, Лю Чан, О. М. Канівець // Комунальне господарство міст. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Т. 4, Вип. 171. – С. 87–91. – (Серія: Геодезія та землеустрій). – Режим доступу : <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-4-171-87-91>, вільний (дата звернення : 09.09.2025). – Назва з екрана.

5. Econometric modeling of investment attractiveness of enterprises [Electronic resource] / K. Mamonov, E. Grytskov, V. Velychko, S. Haidenko, V. Prasol, A. Abolhacanzad // Ukrainian Metrological Journal. – Electronic text data. – 2020. –

№ 4. – Рр. 57–63. – Regime of access: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.4.2020.224305>, free (application date: 20.05.2025). – Header from the screen.

6. Математичне моделювання використання об'єктів екомережі регіонів [Електрон. ресурс] / К. А. Мамонов, Р. С. В'яткін, О. С. Камєнєв, В. І. Троян // Український метрологічний журнал. – Електрон. текст. дані. – 2020. – № 3. – С. 65–70. – Режим доступу : <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3.2020.216864>, вільний (дата звернення : 09.09.2025). – Назва з екрана.

7. Mathematical modelling of the factors of land use of the objects of the nature reserve fund of the regions [Electronic resource] / K. Mamonov, R. Viatkin, E. Shterndok, A. Shterndok // Municipal Economy of Cities. – Electronic text data. – 2024. – № 1(182). – Рр. 132–136. – Regime of access: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-1-182-132-136>, free (application date: 20.05.2025). – Header from the screen.

8. Мамонов К. А. Територіальний розвиток використання земель регіону : напрями та особливості оцінки [Електрон. ресурс] : монографія / К. А. Мамонов. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020.– 403 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/57454/>, вільний (дата звернення: 09.09.2025). – Назва з екрана.

9. Мамонов К. А. Територіальний розвиток використання земель регіону : визначення, оцінка та напрями трансформацій [Електрон. ресурс] : монографія / К. А. Мамонов. – Електрон. текст. дані. – Харків : ФОП Панов А. М., 2019. – 332 с. – Режим доступу: <https://koha.kname.edu.ua/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=157589>, вільний (дата звернення: 09.09.2025). – Назва з екрана.

10. Бейко І. В. Задачі, методи і алгоритми оптимізації [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / І. В. Бейко, П. М. Зінько, О. Г. Наконечний. – Електрон. текст. дані. – Рівне : НУВГП, 2011.– 624 с. – Режим доступу: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2017/1/715823%20zah.pdf>, вільний (дата звернення: 09.09.2025). – Назва з екрана.

11. Gowtham G. Mathematical modelling and PID control system implementation for quadcopter frame Tarot FY650 [Electronic resource] / G. Gowtham, R. Jagar Raj // Aircraft Engineering and Aerospace Technology. – Electronic text data. – 2024. – Vol. 96, № 2. – Pp. 273–284. – Regime of access: <https://doi.org/10.1108/AEAT-06-2023-0154>, free (application date: 20.05.2025). – Header from the screen.

12. Kim N. A New Model for Agricultural Land-Use Modeling and Prediction in England Using Spatially High-Resolution Data [Electronic resource] / N. Kim, P. Wongsart, I. J. Bateman // Essays in Honor of Joon Y. Park: Econometric Methodology in Empirical Applications (Advances in Econometrics, 2023. Vol. 45B). – Electronic text data. – Emerald Publishing Limited, Leeds. – Pp. 291–317. – Regime of access: <https://doi.org/10.1108/S0731-90532023000045B013>, free (application date: 20.05.2025). – Header from the screen.

13. Щепак В. В. Економіко-математичні методи і моделювання в землеустрої [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / В. В. Щепак, А. М. Карюк, В. В. Тимошевський. – Електрон. текст. дані. – Полтава : ПолтНТУ, 2019. – 134 с. – Режим доступу: <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/5999>, вільний (дата звернення: 09.09.2025). – Назва з екрана.

14. Коренюк П. Методика оцінки ефективності використання та відтворення продуктивних угідь сільськогосподарських підприємств [Електрон. ресурс] / П. Коренюк, М. Чмуленко // Економіка природокористування. – Електрон. текст. дані. – 2012. – Економіст, № 1. – С. 47–50. – Режим доступу: <https://www.google.com/url?sa=t&rct>, вільний (дата звернення: 09.09.2025). – Назва з екрана.

15. Канівець О. М. Формування моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад : дис. ... д-ра філософії : 193 – Геодезія та землеустрої / О. М. Канівець. – Харків, 2023. – 261 с.

16. Величко В. А. Екологія родючості ґрунтів / В. А. Величко. – Київ : Аграрна наука, 2010. – 274 с.

17. Коренюк П. І. Менеджмент навколишнього природного середовища : монографія / П. І. Коренюк. – Дніпропетровськ : НГАУ, 2001. – 222 с.
18. Ніколаєнко Т. С. Соціо-еколого-економічна ефективність землекористування в Україні : просторовий аспект / Т. С. Ніколаєнко ; під ред. Б. М. Данилишина. – Київ : РВПС України НАН України, 2007. – 72 с.
19. Розумний І. А. Еколого-економічне вивчення та екологобезпечне використання сільськогосподарських угідь : науково-методичні та практичні аспекти / І. А. Розумний. – Київ : Ротапринт, Інститут землеустрою УАНН, 1996. – 196 с.
20. Грек М. О. Метод і моделі впливу містобудівних факторів на використання земель міст : дис. ... канд. техн. наук : 05.24.04 – кадастр і моніторинг земель / М. О. Грек. – Харків : Харківський нац. ун-т міського господарства ім. О. М. Бекетова, 2017. – 185 с.
21. Корнієць А. В. Інформаційне забезпечення геоекологічного моніторингу використання земель регіону : дис. ... канд. техн. наук : 05.24.04 – кадастр і моніторинг земель / А. В. Корнієць. – Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2018. – 225 с.
22. Радзінська Ю. Б. Метод і моделі визначення інвестиційної привабливості земель міст : дис. ... канд. техн. наук : 05.24.04 – кадастр і моніторинг земель / Ю. Б. Радзінська. – Харків : Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2018. – 213 с.
23. Штерндок Е. С. Моделювання впливу просторових факторів на оцінку та використання земель мегаполісу : дис. ... канд. техн. наук : 05.24.04 – кадастр і моніторинг земель / Е. С. Штерндок. – Харків : Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2017. – 246 с.
24. Про стимулювання розвитку регіонів [Електрон. ресурс] : Закон України від 08.09.2005 № 2850-IV. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2850-15>, вільний (дата звернення: 19.09.2025). – Назва з екрана.

25. Про співробітництво територіальних громад [Електрон. ресурс] : Закон України № 1508-VII від 17.06.2014. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1508-18>, вільний (дата звернення: 19.09.2025). – Назва з екрана.

26. Про місцеве самоврядування в Україні [Електрон. ресурс] : Закон України № 280/97-ВР від 21.05.1997. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/280/97-vr/page6>, вільний (дата звернення: 19.09.2025). – Назва з екрана.

27. Земельний Кодекс України [Електрон. ресурс] : Закон від 25.10.2001/ – № 2768-III. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>, вільний (дата звернення: 19.09.2025). – Назва з екрана.

28. Про державний контроль за використанням та охороною земель [Електрон. ресурс] : Закон України № 963-IV від 19.06.2003. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/963-15>, вільний (дата звернення: 19.09.2025). – Назва з екрана.

29. Про регулювання містобудівної діяльності [Електрон. ресурс] : Закон України № 3038-VI від 17.02.2011. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3038-17>, вільний (дата звернення: 19.09.2025). – Назва з екрана.

30. Про відходи [Електрон. ресурс] : Закон України № 187/98-ВР від 05.03.1998. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/187/98-vr/page3>, вільний (дата звернення: 19.09.2025). – Назва з екрана.

31. Величко В. А. Теоретико-методологічні засади формування та реалізації стейкхолдерно-орієнтованої стратегії управління будівельних підприємств : дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.04 / В. А. Величко. – Харків, 2022. – 644 с.

32. Про Методику нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення та населених пунктів [Електрон. ресурс] :

Постанова Кабінету Міністрів України від 23.03.1995 № 213. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>, вільний (дата звернення: 19.09.2025). – Назва з екрана.

33. Національний стандарт № 2 «Оцінка нерухомого майна» [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 28.10.2004 № 1442. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1442-2004-п>, вільний (дата звернення: 19.09.2025). – Назва з екрана.

34. Кондратюк І. В. Метод і моделі використання нерухомості на регіональному рівні : дис. ... д-ра філософії : 193 – геодезія та землеустрій / І. В. Кондратюк. – Харків, 2024. – 285 с.

Електронне навчальне видання

МАМОНОВ Костянтин Анатолійович,
ГОЙ Василь Васильович,
КОВАЛЬЧУК Василь Степанович

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ І МОДЕЛІ В СИСТЕМІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського)
рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання
зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Відповідальний за випуск *О. В. Афанасьєв*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *Р. С. В'яткін*

План 2025, поз. 247Л

Підп. до друку 24.09.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 10,1.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідectво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.