

УДК 519.87

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.46590

МОДЕЛЮВАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСТ ДЛЯ КРАЇН, ЩО РОЗВИВАЮТЬСЯ

© К. О. Ільченко, А. А. Лісогор

У статті досліджується проблема моделювання сталого розвитку міст у країнах, що розвиваються. Запропоновано метод оцінювання, який базується на використанні складних ієрархічних індикаторних структур. Запропонована модель має п'ять рівнів та об'єднує три компоненти, десять індексів та 84 індикатори. У якості прикладу розглянуто місто Славутич, для якого було розраховано індекс сталого розвитку

Ключові слова: сталий розвиток міст, математичне моделювання, індикаторна структура, ієрархічна модель

The issue of sustainable development modeling for cities in emerging countries was investigated in the article. The method of evaluation that based on the usage of complete hierarchical indexing indicator structure is proposed. The drawn out model consists of five levels and unites three components, ten indexes and 84 indicators. The city Slavutych was taken as an example and index of sustainable development was calculated

Keywords: sustainable urban development, mathematical modeling, indicator structure, hierarchical model

1. Вступ

Починаючи з ХХ століття проблеми надмірного використання невідновлюваних природних ресурсів, забруднення середовища, перенаселення планети, неконтрольованого розвитку хвороб, соціальної нерівності, голоду та бідності у окремих регіонах постали перед людством. Але тільки протягом останніх років дослідники та науковці почали розробку системних підходів для вирішення цих проблем. Враховуючи складність формалізації таких комплексних об'єктів як світ, країна чи територія, що в першу чергу зумовлюється нелінійними зв'язками між їх компонентами, їх оцінювання та керування ними стає нетривіальним завданням.

Концепція сталого розвитку, запропонована ООН, виявляє стратегічні цілі глобальної динаміки. Загальноприйнятою практикою є використання аналізу основних статистичних даних з різних сфер та галузей діяльності життя людини для оцінювання та моделювання динаміки розвитку в цьому напрямку. В основному наукові дослідження зосереджуються на таких макрооб'єктах як світ, територія чи регіон, але з огляду на те, що більш ніж 50 % людства живе у містах та відносної автономності цих об'єктів, вважається необхідним моделювання сталого розвитку міст як відокремлених компонентів країн чи регіонів.

2. Постановка проблеми

Мета дослідження полягає у розробці методів для оцінювання сталого розвитку міст у країнах, що розвиваються з використанням складної ієрархічної індикаторної структури.

Виходячи з поставленої мети було виділено наступні завдання:

– провести аналіз предметної області та виявити методи формалізації сталого розвитку складних багатовимірних об'єктів;

– проаналізувати існуючі моделі та методи для оцінювання та керування складними багатовимірними автономними об'єктами регіонального рівня;

– побудувати концептуальну модель сталого розвитку муніципалітетів та обґрунтувати необхідність її компонентів;

– створити математичну модель сталого розвитку муніципалітетів;

– перевірка створених методів на адекватність на практичному прикладі.

Для виконання мети та завдань наукової роботи були використані наступні методи дослідження: системний аналіз, методи побудови складних ієрархічних індикаторних структур, методи аналізу даних, економетричні та статистичні методи, кореляційний аналіз.

3. Літературний огляд наукової проблеми**3. 1. Ретроспективний аналіз концепції сталого розвитку**

В процесі літературного огляду наукової теми було визначено, що фундаментальні принципи сталого розвитку були закладені ще у XVII–XVIII сторіччя. П'єр Буагільбер (Pierre Le Pesant de Boisguilbert) та Франсуа Кене (François Quesnay) досліджували раціональне використання відновлюваних природних ресурсів, проблеми зuboжіння та бідності населення і робили перші спроби моделювання економічної діяльності та екологічної рівноваги.

Першими суттєвими кроками у напрямку систематичного вивчення сталого розвитку стали дослідження «Римського клубу» («Club of Rome») у 50–60-тих роках ХХ сторіччя. Представники цієї організації сформулювали основні «проблематики» кризи, прояви якої можна було спостерігати вже тоді, та побудували імітаційну модель світового розвитку. «Римським клубом» були виділені такі основні проблеми людства: перенаселення, соціальна нерівність у суспільстві, соціальна несправедливість і голод, безробіття і інфляція, виснаження природних ресурсів, диспропорції в міжнародній торгівлі та фінансах тощо [1].

У 1972 році було опубліковано доповідь «Межі зростання» («The Limits to Growth»), в основу якої лягли результати прогнозування світового розвитку на основі економіко-математичної моделі «Світ-3» Денніса Медоуза (Dennis Meadows) (удосконалена модель «Світ-2» Джея Форрестера (Jay Wright Forrester)), прикладної математики Массачусетського технологічного інституту [2].

Пізніше у 1974 році колективом авторів під керівництвом професора М. Месаровича та директора інституту теоретичної механіки Е. Пестеля для «Римського клубу» була розроблена друга доповідь «Mankind at the Turning Point». Автори проекту запропонували ідею «органічного диференційного росту», за якою модель світового господарства складається з 10-ти географічних регіонів: Північна Америка, Західна Європа, Японія та інші розвинені регіони. Вся система в сукупності являє собою ієрархічну модель, тобто кожний рівень знаходиться у певній підпорядкованості від інших рівнів.

У 1976 році групою експертів ООН під керівництвом економіста В. Леонт'єва було побудовано економіко-математичну модель світової економіки та створено 8 можливих сценаріїв розвитку світу у період з 1990 до 2000 років. Модель не розглядала прогнози майбутніх тенденцій розвитку, а відображала гіпотези майбутніх темпів росту. Модель складається з 2625 рівнянь та відображає тенденції розвитку 15-ти регіонів світу.

У 1980-тих роках стали періодом осягнення необхідності стратегічного планування сталого розвитку суспільства. У 1980 році було представлено «Global Report 2000» [3], в якому містився 20-ти літній прогноз можливих змін у чисельності населення та ресурсах планети, економіці та навколишнього середовища. Доповідь базувалася на даних та моделях, наданих 14-тьма урядовими органами та Світовим Банком (WorldBank). Це був перший раз у історії, коли держава зробила оцінку всім своїм попереднім зусиллям для довгострокового прогнозування розвитку.

У 1983 році була заснована спеціальна комісія, яка повинна була надати доповідь по екологічним та глобальним проблемам до 2000 року і на подальший період і запропонувати стратегії в цілях сталого розвитку. Пізніше комісія отримала назву Всесвітньої комісії по питанням оточуючого середовища та розвитку. У 1987 році комісія опублікувала доповідь «Our Common Future» [4], яка була присвячена пошуку оптимальних напрямків для вирішення проблем, пов'язаних з взаємовпливом економічних, соціально-культурних та екологічних факторів, тобто було вперше запропоновано триєдину концепцію сталого (еколого-соціально-економічного) розвитку [5].

У 1992 році на Конференції ООН було прийнято «Agenda 21» – програмний план, основними цілями якого були досягнення стабільності навколишнього середовища та здорової економіки для всіх народів світу, задоволення потреб людей і збереження сталого розвитку протягом тривалого періоду [6].

Крім глобальних моделей світової динаміки також створювались прогнозні моделі розвитку, які

орієнтовані на прогнозування однієї з глобальних проблем світу: загальноекономічні моделі, енергетичні та продовольчі. Прикладом таких моделей є модель Робертса «SARUM», проект Ліннемана, система ЛІНК (під керівництвом Клейна), проект групи Д. Габора тощо [7].

3. 2. Моделювання сталого розвитку міст

В процесі обговорення концепції сталого розвитку, часто проводять розмежування між глобальними екологічними загрозами людському життю на планеті з одного боку, та локальними проблемами з іншого боку, які є більш узгодженими та схильними до гармонізації. В цьому обговоренні міста та міські території відіграють важливу роль: мешканці міст стикаються з різними економічними, соціальними проблемами, забрудненням повітря та низьким рівнем життя, але одночасно міста спричинюють більшість глобальних екологічних проблем; на сьогоднішній день у містах проживають близько 50 % людей планети.

У 1995 році Європейська агенція довкілля (European Environment Agency) опублікувала основні задачі на шляху досягнення сталого розвитку міст:

- мінімізація використання простору та природних ресурсів;
- раціоналізація та оптимізація міського управління;
- охорона здоров'я міського населення;
- забезпечення однакового доступу до ресурсів та послуг;
- підтримка культурного та соціального різноманіття.

Існує велика кількість моделей для оцінки сталого розвитку міст, однією з найбільш відомих є модель PROPOLIS, яка була розроблена в рамках дослідження «City of Tomorrow and Cultural Heritage» для 5-ої Рамкової програми з наукових досліджень та технологічного розвитку Європейського Союзу. Основною задачею розробки цієї моделі була оцінка стратегій міського розвитку та демонстрація їх довготривалого ефекту в європейських містах у напрямку сталого розвитку. Для розв'язання задачі була розроблена всебічна система методів, що включає використання земельних ресурсів, моделювання транспортної інфраструктури та навколишнього середовища, а також індикацію, оцінку та презентацію вищезгаданого.

В основі цієї моделі лежить класична модель сталого розвитку, що складається з трьох компонент: соціальної, економічної та екологічної. Також визначено 35 ключових індикаторів та 9 індексів, серед яких оцінка глобальної кліматичної зміни, забруднення повітря, використання природних ресурсів, якість навколишнього середовища, рівень здоров'я населення, рівень справедливості, рівень доступності міста та транспорту, оцінка можливостей міста (житлових стандартів, життєздатність міста та приміських регіонів тощо), та загальний прибуток міста з транспортної інфраструктури.

В основі побудови моделі лежать моделі транспортних інфраструктур в яких враховуються

населення міста, величина трафіку, взаємозв'язок різних частин міста. Використовуючи транспортну модель та індикатори розраховуються показники сталого розвитку [13].

Серед розроблених міжнародним суспільством моделей оцінювання сталого розвитку міст слід відзначити індекс сталого розвитку для оцінювання міст Китаю [8], що була розроблена за спільної ініціативи дослідників університету Колумбія, університету Циньхуа та консалтингової компанії McKinsey & Company. Індекс складається з п'яти індикаторів: базові потреби населення, стан навколишнього середовища, ефективність використання природних ресурсів, людський вплив на навколишнє середовище та вклад у майбутній сталий розвиток міста.

Також доречно зазначити модель «Низьковуглецеве місто» (Low Carbon Model Towns), яка була розроблена для техніко-економічного дослідження Азійсько-Тихоокеанського регіону Азійсько-Тихоокеанським економічним співробітництвом (Asia-Pacific Economic Cooperation) [9]. В 2007 році в рамках дослідження було розроблено набір індикаторів для оцінювання екологічного, соціального та економічного розвитку міст. Модель складається з 22-х кількісних та 4-х якісних показників, які поділяються на чотири основні групи: незіпсоване природне середовище, стійкий баланс у середовищі, зробленому людиною, корисні тренди життя, розвиток динамічної та ефективної економіки.

Актуальним є також європейський проект «Розумне європейське місто» (European Smart Cities) [10]. Проект має три версії, які розроблялися у зв'язку зі зміною трендів розвитку міст, глобалізаційними та інтеграційними процесами. Розробка досліджень відбувалася у рамках проекту «Планування енергетично ефективних міст» (Planning for energy efficient cities (PLEEC)) та при Віденському технічному університеті. На даний час існує три версії моделі: 1.0 (2007 року), 2.0 (2013 року) та 3.0 (2014 року).

Модель є складною ієрархічною індикаторно-структурою, що складається з п'яти рівнів: індекс, ключові поля, галузі, компоненти та дані (рис. 1).

Модель складається з 6-ти основних характеристик: розумна економія, розумне управління, розумне життя, розумне населення, розумне навколишнє середовище та розумна мобільність.

Модель націлена на оцінювання сталого розвитку європейських міст середнього розміру. В рамках дослідження було оцінено 77 європейських міст регіонального значення з різних країн Європи (Іспанія, Великобританія, Франція, Німеччина, Польща та ін.).

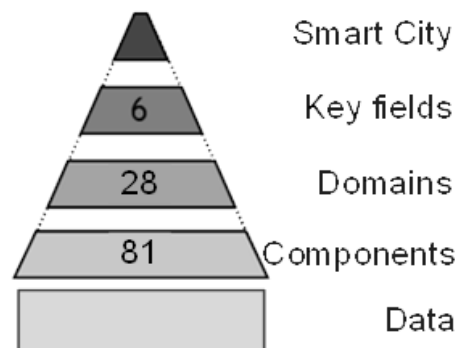


Рис. 1. Будова моделі «Розумне місто»

Також організацією United Nations Division for Sustainable Development було розроблено набір індикаторів сталого розвитку для моніторингу та контролювання процесу, які було обрано серед таких категорій: індикатор бідності, заробітної платні, продуктивності міста, рівень здоров'я та освіти, соціальної інтеграції, оцінка розвитку інфраструктур (житлової, транспортної тощо), управління навколишнім середовищем, оцінка міського самоуправління тощо.

4. Моделювання сталого міст

4.1. Формування концептуальної моделі

Використовуючи методологію, яка була розроблена під науковим керівництвом М. Згуровського [11], було розроблено модель сталого розвитку міст. В основу концептуальної моделі було покладено класичну модель сталого розвитку, яка складається з трьох основних компонент: економічної, соціальної та екологічної. В основі концепції сталого розвитку лежить ідея збалансованого розвитку кожної з цих компонент для задоволення сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь.

Для більш глибокого дослідження сталого розвитку муніципалітетів кожна компонента моделі була розділена на декілька індикаторних груп, які продемонстровано у табл. 1.

Таблиця 1

Індикаторні групи		
Індекс	Складова	Індикаторні групи
Індекс сталого розвитку	Екологічна	Екологічне управління
		Стабільність екосистем
		Стан довкілля
	Економічна	Інноваційно-кадровий потенціал
		Конкурентоспроможність
		Рівень людського потенціалу
	Соціальна	Якість життя
		Інституціональний розвиток
		Соціальна інфраструктура

Рівень соціального розвитку залежить від великої кількості різних індексів. Основна мета соціального розвитку – досягнення оптимального людського існування теперішнього та майбутнього поколінь, сприймаючи при цьому людину як активного учасника суспільної діяльності, тому для оцінювання соціальної складової було виділено чотири основні індикаторні групи: рівень людського

потенціалу, якість життя, міська інфраструктури та інституціональний розвиток.

Індекс рівня людського потенціалу оцінює людський ресурс муніципалітету та потенціал його розвитку за допомогою таких компонент як рівень освіти, рівень здоров'я, демографічний розвиток та культурний потенціал населення (табл. 2).

Таблиця 2

Рівень людського потенціалу

Індекс	Складова	Індикаторні групи
Рівень людського потенціалу	Рівень освіти	Рівень освіченості дітей
		Доступність дошкільної освіти
		Кількість спеціалістів з вищою освітою
		Можливість отримання вищої або спеціальної вищої освіти
		Очікувана тривалість навчання
		Якість середньої освіти
	Рівень здоров'я	Санітарно-курортні оздоровчі заклади
		Об'єкти фізичної культури та спорту
		Кількість середнього медичного персоналу
		Пропускна здатність медичних закладів
		Дитяча смертність
		Кількість лікарів
	Демографічний розвиток	Очікувана тривалість життя
		Природний приріст (скорочення)
		Міграційний приріст (скорочення)
	Культурний потенціал	Заходи культурного опосередкування
		Кількість бібліотек
		Бібліотечний фонд
		Кількість музейних експонатів

Показник рівня освіти проводиться за допомогою показників кількості людей з базовою середньою та вищою освітою, доступності дошкільного навчання, якості середньої освіти, яка була отримана за допомогою балів ЗНО, та загальної кількості закладів вищої або спеціальної освіти.

Показник рівня здоров'я. Цей показник було включено до оцінки соціального розвитку міста, оскільки вимір цього індикатора відображає можливість людей прожити тривале та здорове життя. Оцінка проводиться на основі показників рівня розвитку сфери медичного обслуговування, зокрема, пропускної здатності медичних закладів, наявності санітарно-курортних закладів та об'єктів фізичної культури та спорту, забезпеченість лікарями та середнім медичним персоналом, що показує теоретичну доступність медичного обслуговування в місті.

Показник демографічного розвитку. Демографічний розвиток інтегрує результати минулих та сучасних соціально-демографічних процесів через три основні індикатори. Індикатор природного приросту характеризує напрямок відтворення населення – його скорочення або збільшення.

Показник культурного потенціалу. Розвиток культурного потенціалу має важливе значення для оцінювання соціального розвитку, так як, з одного боку, він сильно впливає на загальну задоволеність життям населення, та, з іншого боку, також впливає на рівень культурної освіченості та самовизначеності населення.

За визначенням Всесвітньої Організації Здоров'я (ВОЗ) якість життя – це оптимальний стан і ступінь сприйняття окремими людьми та населенням в цілому задоволення їх потреби надання можливостей для досягнення благополуччя та самореалізації. Частково цей індекс перетинається з економічною складовою сталого розвитку, тому індикатори показника якості життя були підібрані таким чином, щоб не виникало проблем при кореляційному порівнянні. Тому індекс якості життя оцінюється за допомогою таких характеристик, як економічне благополуччя та безпека життя (табл. 3).

В основу показника *безпеки життя* покладений принцип безумовного превалювання безпеки як найважливішого елементу соціального прогресу. Реальний стан злочинності відображається за допомогою показників загальної кількості злочинів та потерпілих від злочинів, що зареєстровано органами внутрішніх справ. Також безпека життя характеризується транспортною безпекою, зокрема, загальною кількістю ДТП, та безпекою на виробництві. Ще додатково враховується індикатор смертності від зовнішніх дій, таких як самогубство, насильство тощо.

Показник *економічного благополуччя* був розглянутий у якості економічного благополуччя не економічно активного населення, зокрема, пенсіонерів, та певних соціальних верств населення, які потребують фінансової допомоги.

Соціальна інфраструктура – це сукупність галузей обслуговування, діяльність яких спрямована на забезпечення життєдіяльності населення муніципалітету. Було використано два основні показники: показник транспортної інфраструктури та житлового фонду міста.

У індекс інституціонального розвитку увійшли такі індикатори, які визначають зміст і загальний напрям суспільних перетворень: політична свідомість, вплив релігійних інституцій, індикатор ефективності місцевого самоврядування та індикатор розвитку інформаційного суспільства (табл. 4).

Таблиця 3

Індекс якості життя

Індекс	Сфери впливу	Індикатор
Якість життя	Економічне благополуччя	Рівень пенсійних виплат
		Фінансування соціальних послуг
	Безпека життя	Кількість ДТП
		Загальна кількість злочинів
		Потерпілі на виробництві
		Потерпілі від злочинів
		Смертність від зовнішніх дій

Таблиця 4

Показник інституціонального розвитку

Індекс	Сфери впливу	Індикатор
Інституціональний розвиток	Розвиток інформаційного суспільства	Доступ до мережі Інтернет
		Наявність персональних комп'ютерів у домогосподарствах
		Обсяг місцевого мовлення
		Випуск періодичних видань
	Політична свідомість	Громадські об'єднання
		Активність населення на виборах
	Вплив релігійних інституцій	Кількість релігійних організацій
		Кількість прихожан
	Ефективність місцевого самоврядування	Активність прийняття рішень
		Розгляд суспільних проблем

Показник розвитку інформаційного суспільства є індикатором, який почали розглядати тільки протягом останніх років з огляду на його вплив на підтримку прийняття рішень. Такі показники, як доступ до мережі Інтернет та наявність персональних комп'ютерів, обсяг місцевого радіо-, телемовлення та видання преси показує заінтересованість мешканців новинами (як місцевими, так і позамуніципалітетними) та можливостями інституційного впливу на громадян.

Показник політичної свідомості розглядається як засіб специфічного відображення процесу саморегулювання суспільного життя, то розгляд індикаторів активності пересічних громадян щодо участі в громадських організаціях та муніципальних виборах є необхідним. З іншого боку, будь-які докорінні зміни в суспільстві, спрямовані на стабільний розвиток соціально-політичної сфери, не можуть бути здійснені без підтримки населенням існуючих інститутів влади, що в свою чергу пояснює необхідність введення вищезазначеного показника.

В основу показника ефективності місцевого самоврядування покладено її розуміння як комплексної характеристики потенційних та реальних результатів функціонування системи. При формуванні такої оцінки враховувались ефективність прийняття

рішень у відповідності до громадських потреб та активність місцевого самоврядування.

Показник впливу релігійних інституцій представлений такими індикаторами, як кількість релігійних організацій та сила впливу церкви на громадян (як індикатор кількості прихожан). Релігія разом з політикою та державною владою відображає інституціональний розвиток країни. Вплив різних конфесій на свідомість та поведінку соціуму може бути спрямований і на утвердження засад сталого розвитку через використання гуманістичного потенціалу релігії.

З погляду екології сталий розвиток має забезпечити цілісність біологічних і фізичних природних систем, їх життєздатність, від чого залежить глобальна стабільність усієї біосфери. Особливого значення набуває здатність таких систем самооновлюватися й адаптуватися до різноманітних змін замість збереження в певному статичному стані або деградації та втрати біологічної різноманітності [11].

Розрахунок степені сталого розвитку за екологічною складовою проводиться на основі трьох індексів. В перший входять індикатори, які демонструють поточний екологічний стан довкілля в областях чистоти повітря, радіологічного забруднення довкілля, якості води, відходів та деякі загальні показники.

В другий індекс входять індикатори, за допомогою яких оцінюється стабільність екосистем, тобто враховується сумарний вплив всіх факторів, що діють на екосистему, а саме оцінюється вплив забруднення та використання ресурсів на поточний стан екосистеми.

Третій індекс оцінює ефективність екологічного управління, тобто дії влади та мешканців для мінімізації шкідливого впливу на екосистему. Оцінка виконується за допомогою індикаторів законодавчого управління (виділення коштів на природоохоронні заходи та штрафні санкції), відновлення екосистем (відтворення лісів, насадження зелених масивів, утилізація відходів), використання альтернативних джерел та обмеження антропогенного фактору.

Трансформаційні процеси в економіці, що зумовлені плином глобальної економічної кризи, по-

ставили перед дослідниками низку завдань, що стосуються насамперед розробки методичного інструментарію вирішення проблем щодо проведення упереджених заходів, стабілізаційних дій та соціально-економічних реформ на засадах концепції сталого розвитку. Об'єктивна необхідність регулювання сталого розвитку саме пов'язана з функціонуванням економічних законів.

Економічна складова сталого розвитку відображає ту чи іншу сферу діяльності певного сектору економіки і складається з двох основних індексів: економічної конкурентоспроможності та інноваційно-кадрового потенціалу.

Індекс економічної конкурентоспроможності, в свою чергу, представлений двома сферами впливу: рівнем доходів та витрат населення і підприємницькою та виробничою діяльністю (табл. 5).

Таблиця 5

Індекс економічної конкурентоспроможності		
Індекс	Сфери впливу	Індикатор
Конкурентоспроможність	Рівень доходів та витрат	Рівень середньої заробітної платні
		Рівень витрат
		Диференціації доходів
	Підприємницька та виробнича діяльність	Збиткові організації
		Активні підприємства
		Промислова продукція
		Реалізована продукція підприємств

Сфера впливу підприємницької та виробничої діяльності фактично визначає напрямок соціально-економічного розвитку, так як для міста промислова діяльність слугує важливим джерелом формування доходів муніципального бюджету, а виробнича діяльність дає необхідні населенню товари та послуги і дає додаткові можливості розвитку економіки. Оцінка ефективності економічної діяльності будується на визначенні частки збиткових підприємств: значна частка збиткових організацій є показником базових проблем муніципалітету: низької конкурентоспроможності підприємств, нестабільності градотворчих галузей відносно криз, поганому підприємницький клімат. Цей показник є важливим в першу чергу для визначення найбільш та найменш перспективних

муніципалітетів с точки зору інвестиційної привабливості.

Рівень доходів та витрат населення фактично оцінює рівень добробуту населення через відношення рівня заробітної плати до середнього прожиткового мінімуму. З іншого боку використовується непряма оцінка добробуту за середніми витратами домогосподарств.

Також дуже важливим є використання децильного коефіцієнту диференціації доходів населення – статистичного показника степені розшарування муніципалітету за різними ознаками, зокрема, за рівнем доходу.

Оцінка інноваційно-кадрового потенціалу складається з двох складових: показника ринку праці та інноваційно-інвестиційних можливостей (табл. 6).

Таблиця 6

Оцінка інноваційно-кадрового потенціалу		
Індекс	Сфери впливу	Індикатор
Інноваційно-кадровий потенціал	Ринок праці	Економічне активне населення
		Рівень безробіття
		Потреба в працівниках
		Створені робочі місця
		Перекваліфікація населення
	Інноваційно-інвестиційні можливості	Охоронні документи на об'єкти інтелектуальної власності
		Наукові та науково-технічні розробки
		Фінансування інноваційної діяльності
		Капітальні вкладення
		Іноземні інвестиції

Індекс інноваційно-інвестиційних можливостей муніципалітету характеризує тренди розвитку

економіки в середньо- та довгостроковій перспективі. Чим більші вкладення в економіку, тим більш високе

зростання економічних показників можна прогнозувати в найближчій перспективі. Крім того, інноваційно-інвестиційні можливості можуть мати сильний мультиплікативний ефект в інших сферах соціально-економічного розвитку муніципалітету: створення нових робочих місць, оптимізація технологій, зростання заробітної платні. Якщо значення цього індексу по муніципалітету низьке, то виникає фізичне застарівання основних фондів, модернізація виробництв затримується, в результаті чого виникає загальний занепад міста та відставання у розвитку продуктивності праці.

Індекс ринку праці характеризує поточну ситуацію з працездатністю населення, а саме рівнем безробіття, новими робочими місцями, можливою перекваліфікацією населення та загальною кількістю економічно активного населення. Людський ресурс – це основний ресурс, яким може володіти муніципалітет, і низький рівень показнику ринку праці свідчить про неоптимальне управління і можливість настання кризи у короткостроковому періоді.

4. 2. Фундаментальні підходи до створення моделі сталого розвитку

В основу побудованої математичної моделі сталого розвитку була покладена метрика вимірювання сталого розвитку (МВСР) (Sustainable Development Gauging Matrix, SDGM). Згідно МВСР, індекс сталого розвитку \vec{I} представляється у вигляді радіус-вектора, координатами якого є складові соціального (I_{soc}), економічного (I_{ec}), та екологічного (I_{env}) сталого розвитку.

Кількісна міра сталого розвитку муніципалітету визначається як норма проекції вектора \vec{I} на ідеальний вектор з координатами (1;1;1):

$$I = \sqrt{I_{soc}^2 + I_{env}^2 + I_{ec}^2} \cdot \cos(\alpha). \quad (1)$$

Для керування процесом сталого розвитку було розглянуто показник «гармонійності» сталого розвитку, який можна оцінити за допомогою просторового положення вектора \vec{I} у просторовій системі координат (I_{soc}, I_{ec}, I_{env}). Рівновіддаленість вектора від кожної з осей буде відповідати найбільшій гармонійності системи та стабільності сталого розвитку, а наближення вектора до однієї з координат буде вказувати на пріоритетний розвиток за відповідною складовою (відповідно дестабілізації системи).

Ступінь гармонізації системи можна визначити за формулою:

$$G = 1 - \alpha, \quad (2)$$

де α – кут відхилення радіус-вектора \vec{I} від ідеального вектора (1;1;1), який визначається за формулою:

$$\alpha = \arccos \frac{I_{soc} + I_{ec} + I_{env}}{\sqrt{3} \sqrt{I_{soc}^2 + I_{ec}^2 + I_{env}^2}}, \quad (3)$$

$$0 \leq \alpha \leq \arccos \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Оцінювання складових сталого розвитку ґрунтуються на даних про широкий спектр явищ різної природи і є інтегрованими, тобто характеризують певну сторону життєдіяльності людини як цілісну систему. З метою кількісного оцінювання складових сталого розвитку використовуються принципи побудови ієрархічної системи показників та індексів, які визначаються як L_1 – норми:

$$X_i^{(s)} = \sum_{j=1}^n \omega_j x_{i,j}^{(s-1)}, s=1, \dots, m, \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \quad (4)$$

в просторі показників $X^1 \times X^2 \times \dots \times X^m$, що характеризують економічну, екологічну та соціальну складові на кожному S-тому рівні ієрархії.

Вагові коефіцієнти ω_j у формулі визначаються за допомогою побудови кореляційної матриці $A = (a_{pk})_{n \times n}$ для критеріїв x_1, \dots, x_n за формулою лінійного коефіцієнта кореляції для ненульової дисперсії (або коефіцієнта кореляції Пірсона):

$$a_{pk} = \frac{\sum_{t=1}^h (x_{pt} - \bar{x}_p) \cdot (x_{kt} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{t=1}^h (x_{pt} - \bar{x}_p)^2 \cdot \sum_{t=1}^h (x_{kt} - \bar{x}_k)^2}}, \quad (5)$$

де $\bar{x}_p = \frac{1}{h} \sum_{t=1}^h x_{pt}$ – середнє значення вибірки

x_{p1}, \dots, x_{ph} , $\bar{x}_k = \frac{1}{h} \sum_{t=1}^h x_{kt}$ – середнє значення вибірки

x_{k1}, \dots, x_{kh} . Так як коефіцієнт кореляції набуває значень на проміжку $[-1, 1]$, а нас цікавить тільки сила зв'язку, а не напрямок, то ми будемо розглядати $|a_{pk}| \in [0; 1]$.

Тоді за допомогою попарного порівняння критеріїв за відносною важністю – метода Т.Сааті (США), де важність критеріїв задається коефіцієнтами кореляції, розрахунок вагових коефіцієнтів можна зробити за формулами [12]:

$$\omega_p = \frac{c_p}{\sum_{k=1}^n c_k}, c_p = \left(\prod_{k=1}^n |a_{pk}| \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (6)$$

Використання формули (4) потребує узгодження різноманітних даних як за одиницями виміру, так і за діапазоном значень. Тому, якщо показник $X_i^{(s)}$ має позитивний вплив на сталий розвиток муніципалітету, то застосовується логістичне нормування значень показників за формулою (7):

$$C_{norm}(x_{i,j}) = \left(1 + e^{\frac{\bar{x} - x_{i,j}}{\sigma}} \right)^{-1}, \quad (7)$$

де \bar{x} – середнє значення, а σ – середньоквадратичне відхилення по вибірці індикаторів за роками, що аналізуються.

Якщо показник $X_i^{(s)}$ має негативний вплив на сталий розвиток муніципалітету, то застосовується обернена до (7) величина, яка розраховується за формулою (8):

$$C_{norm}(x_{i,j}) = 1 - \left(1 + e^{\frac{\bar{x} - x_{i,j}}{\sigma}}\right)^{-1}, \quad (8)$$

Таким чином, досягається узгодження даних різної природи та розмірності, що дозволяє провести кількісне оцінювання сталого розвитку.

5. Апробація результатів дослідження

Для аналізу практичної можливості використання розроблених методів було обрано місто-супутник атомної електростанції Славутич, для якого було зібрано та оброблено статистичні дані з офіційних відкритих джерел інформації.

В результаті моделювання сталого розвитку міста було отримано такі результати:

Компоненти сталого розвитку м. Славутич

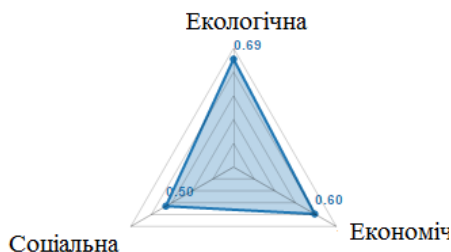


Рис. 2. Розрахований індекс сталого розвитку

Можна зробити висновок, що складові економічного, соціального та екологічного розвитку є достатньо збалансованими між собою, оскільки відхиляються від ідеального вектора (1;1;1) на приблизно однакову величину. Цей факт одночасно підтверджується тим, що розрахований ступінь гармонізації системи $G=0,87$, а загальний індекс сталого розвитку $I=1,03$.

Зробивши аналіз динаміки індексу сталого розвитку за період 2008–2013 рр. (рис. 3), можна зробити висновок про різке збільшення значення індексу сталого розвитку у 2010 році, що можна пояснити проведеними у 2010 році виборами нового депутатського корпусу у місті Славутич, і як наслідок, розробками та впровадженням нових проектів та програм розвитку міста.

На основі ретроспективного аналізу було зроблено висновок, що різкий зріст індексу сталого розвитку у 2010 році спричинений саме новими економічними реформами, що спостерігається у аналогічному різкому зростанні компоненти економічного розвитку у той самий період.

При аналізі даних (рис. 4) було виявлено, що спад економічної складової може бути спричинений тим, що основний бюджет міста направлений на по-

кращення екологічної складової. У місті відсутні організації, що займаються інноваційними розробками, фінансування інноваційної діяльності достатньо мале при достатньо великих іноземних інвестиціях, та наявний відносно великий відсоток збиткових організацій.

Індекс сталого розвитку м. Славутич (2008-2013 рр.)

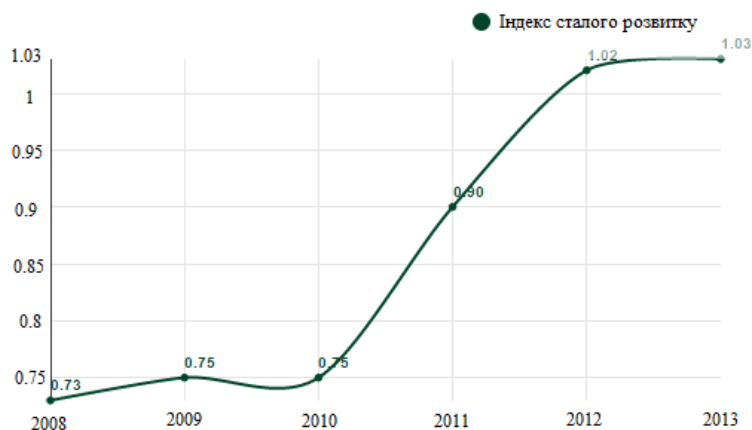


Рис. 3. Динаміка індексу сталого розвитку

Динаміка економічної складової м. Славутич (2008-2013 рр.)

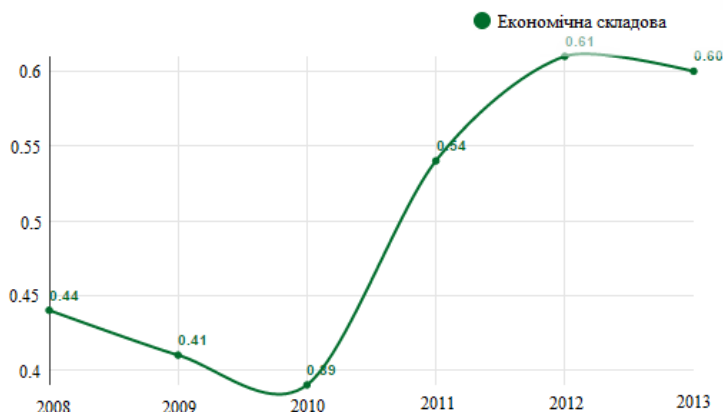


Рис. 4. Динаміка розвитку економічної складової

Саме тому стратегія розвитку може будуватися на розвитку наукової діяльності, на капітальних інвестиціях у інноваційну сферу, на підтримку малого та середнього бізнесу. В такому разі очікується зріст значення економічної складової та ступеню гармонійності системи при сталому значенні соціальної складової та індексу сталого розвитку. Але в такому випадку можливий незначний спад значення екологічної складової.

6. Висновки

Було проведено аналіз предметної області та виявлено методи формалізації сталого розвитку складних багатовимірних об'єктів, проаналізовано існуючі моделі та методи для оцінювання та керування складними багатовимірними автономними об'єктами регіонального рівня та виконано їх порівняння.

Детально розглянуто методологію побудови складної індикаторної структури, її етапи та методи, концептуальна схема якої базується на моделі оцінювання сталого розвитку регіонів України СЦД та обґрунтовано необхідність її компонентів. Також було сформовано власну математичну модель для кількісного оцінювання індексу сталого розвитку муніципалітетів. Нововведенням сформованої математичної моделі є спосіб обрахування вагових коефіцієнтів, який базується на методі Т. Сааті, але з використанням кореляційного коефіцієнту Пірсона.

Було зібрано та оброблено статистичні дані, створено СППР для програмної реалізації обрахунків та забезпечення візуалізації даних. Якість розробленої СППР була проаналізована на статистичних даних міста-супутника Чорнобильської АЕС, а в результаті роботи програми було побудовано можливі стратегії розвитку міста.

Література

1. Соляник, С. Идеи Римского клуба [Текст] / С. Соляник, К. Захваткин // Вестник «Зеленое спасение». Устойчивое развитие: к истории концепции. – 1995. – Вып. 3. – С. 35–42.
2. Махов, С. А. Математическое моделирование мировой динамики и устойчивого развития на примере модели Форрестера [Текст] / С. А. Махов. – Препринт. – М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2005. – 24 с.
3. Speth, G. The Global 2000 Report to the President [Electronic Resource] / G. Speth // Boston College Environmental Affairs Law Review. – 1980. – Vol. 8, Issue 4. – Available at: <http://lawdigitalcommons.bc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1792&context=ealr>
4. «Наше общее будущее» [Электронный ресурс]. – Доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития на 42-ой сессии Генеральной Ассамблеи. Организация Объединенных Наций, 1987. – Режим доступа: <http://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf>
5. Кузнецова, Ю. А. Этапы формирования и развития концепции устойчивого развития [Текст] / Ю. А. Кузнецова // Молодой ученый. – 2013. – № 5. – С. 337–339.
6. Куратов, С. Разочарованный разум [Текст] / С. Куратов, К. Захваткин // Вестник «Зеленое спасение». – 1995. – Вып. 3. – С. 43–52.
7. Корочкин, Е. Ф. Материалы международной конференции [Текст] / Е. Ф. Корочкин // «Устойчивое развитие: природа – общество – человек». – 2006. – Т. 1. – С. 234.
8. The Urban Sustainability Index: A New Tool for Measuring China's Cities [Electronic resource]. – The Urban China Initiative, 2010. – Available at: <http://urbanchinainitiative.typepad.com/files/usi.pdf>
9. Key Performance Indicators for Eco Cities in the Asia-Pacific Region [Electronic resource]. – Available at: <http://sustainablecitiescollective.com/david-thorpe/256536/key-performance-indicators-eco-cities-asia-pacific-region>
10. European Smart City Model [Electronic Resource]. – Available at: <http://www.smart-cities.eu/index.php?cid=1&ver=3>
11. Аналіз сталого розвитку: глобальний і регіональний контексти: монографія. Міжнар. рада з науки (ICSU) та ін. Ч. 2 [Текст]. – К. : НТУУ «КПІ». – Україна в індикаторах сталого розвитку (2013), 2014. – 172 с.
12. Петровский, А. Б. Теория принятия решений [Текст]: учебник / А. Б.Петровский. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.
13. Spiekermann, K. Michael Wegener Modelling Urban Sustainability [Text] / K. Spiekermann, M. Wegener // International Journal of Urban Sciences. – 2003. – Vol. 7, Issue 1. – P. 47–64. doi: 10.1080/12265934.2003.9693522

References

1. Soljanik, S., Zahvatkin, K. (1995). Idei Rimskogo. Vestnik «Zelenoe spasenie». Ustojchivoe razvitie: k istorii koncepcii, 3, 35–42.
2. Mahov, S. A. (2005). Matematicheskoe modelirovanie mirovoj dinamiki i ustojchivogo razvitija na primere modeli Forrester. Preprint. Moscow: IPM im. M. V. Keldysha, 24.
3. Speth, G. (1980). The Global 2000 Report to the. Boston College Environmental Affairs Law Review, 8 (4). Available at: <http://lawdigitalcommons.bc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1792&context=ealr>
4. Nashe obshee budushhee (1987). Doklad Vsemirnoj komissii po voprosam okruzhajushhej srede i razvitija na 42-oj sessii General'noj Assamblei. Organizacija Ob#edinennyh Nacij. Available at: <http://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf>
5. Kuznecova, Ju. A. (2013). Jetapy formirovanija i razvitija koncepcii ustojchivogo razvitija. Molodoj uchenyj, 5, 337–339.
6. Kuratov, S., Zahvatkin, K. (1995). Razocharovannyj razum. Vestnik «Zelenoe spasenie», 3, 43–52.
7. Korochkin, E. F. (2006). Materialy mezhdunarodnoj konferencii. Ustojchivoe razvitie: priroda – obshhestvo – chelovek, 1, 234.
8. The Urban Sustainability Index: A New Tool for Measuring China's Cities (2010). The Urban China Initiative. Available at: <http://urbanchinainitiative.typepad.com/files/usi.pdf>
9. Key Performance Indicators for Eco Cities in the Asia-Pacific Region. Available at: <http://sustainablecitiescollective.com/david-thorpe/256536/key-performance-indicators-eco-cities-asia-pacific-region>
10. European Smart City Model. Available at: <http://www.smart-cities.eu/index.php?cid=1&ver=3>
11. Analiz stalogo rozvitku: global'nij i regional'nij konteksti: monografija. Mizhnar. rada z nauki (ICSU) ta in. Part 2 (2014). Kiev: NTUU «KPI». Ukraina v indikatorah stalogo rozvitku (2013), 172.
12. Petrovskij, A. B. (2009). Teorija prinjatija. Moscow: Izdatel'skij centr «Akademija», 400.
13. Spiekermann, K., Wegener, M. (2003). Modelling Urban Sustainability. International Journal of Urban Sciences, 7 (1), 47–64. doi: 10.1080/12265934.2003.9693522

*Рекомендовано до публікації д-р екон. наук, професор Войтко С. В.
Дата надходження рукопису 22.06.2015*

Ільченко Ксенія Олександрівна, кандидат економічних наук, завідувач лабораторії, Лабораторія економетрики та прогнозування, Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку, пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056, E-mail: ilchenko@wdc.org.ua

Лісогор Анастасія Андріївна, Інститут прикладного системного аналізу, Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку, пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна 03056
E-mail: anaslisogor@gmail.com