

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЦІНЮВАННЯ СМАРТПОТЕНЦІАЛУ РЕГІОНІВ В КОНТЕКСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

К. Д. Підгорна, к. т. н., доцент, УДУНТ, k.d.pidgorna@ust.edu.ua, orcid.org/0009-0005-7837-1025,

К. О. Удачина, к. е. н., доцент, УДУНТ, k.o.udachina@ust.edu.ua, orcid.org/0000-0002-0043-6010,

В. О. Підгорний, аспірант, УДУНТ, v.zakupka@ukr.net, orcid.org/0009-0000-0497-5372

Методологія дослідження. Методологічну основу дослідження становить системний підхід, що поєднує теоретичні засади смартекономіки з практичними інструментами оцінювання регіонального потенціалу. Для побудови інтегрального смартіндексу використано багатовимірний підхід до вибору індикаторів, метод нормалізації даних для усунення розмірностей, а також ентропійний метод для визначення вагових коефіцієнтів індикаторів. Модельна частина базується на економіко-математичних методах, зокрема кластерному аналізі (алгоритм k-середніх) для групування регіонів за схожими профілями смартрозвитку, а також регресійному аналізі для встановлення залежностей між рівнем смартпотенціалу та показниками соціально-економічного розвитку. Запропонований підхід дозволяє забезпечити об'єктивну кількісну оцінку смартпотенціалу та сформулювати практичні рекомендації щодо регіональної політики в умовах цифрової трансформації.

Результати. Розроблено методичний інструментарій, який передбачає нормалізацію різнорідних індикаторів, визначення вагових коефіцієнтів за допомогою ентропійного аналізу та обчислення інтегрального індексу. Формалізовано процедуру розрахунку індексу на основі субіндексів для кожного блоку смартпотенціалу з використанням математичних формул. Методологія включає кластерний аналіз для групування регіонів за подібністю їх смартпрофілів та регресійні моделі для визначення взаємозв'язку між рівнем смартпотенціалу та показниками соціально-економічного розвитку.

Новизна. Наукова новизна дослідження полягає у формуванні багатовимірного підходу до оцінювання, що враховує не лише традиційні фінансово-виробничі показники, але й аспекти цифрової трансформації. Удосконалено методичний інструментарій оцінювання регіонального розвитку шляхом розробки формалізованої математичної моделі.

Практична значущість. Практичне значення результатів зумовлене створенням універсального інструменту для порівняльного аналізу регіонів України, що дозволяє здійснювати об'єктивне рейтингування, виявляти сильні та слабкі сторони територій, формувати обґрунтовані управлінські рішення щодо пріоритетів інвестицій і програм підтримки інноваційного розвитку. Запропонована модель адаптована до національних особливостей інформаційного забезпечення, що робить її практично застосовною в умовах України.

Ключові слова: смартпотенціал регіонів, інтегральний смартіндекс, моделювання, цифрова трансформація регіонів, інформаційно-аналітична модель, кластеризація регіонів, регресійний аналіз, нормалізація та зважування показників, регіональна політика розвитку.

Постановка проблеми. У сучасних умовах трансформації економіки на основі цифрових технологій та інноваційного розвитку зростає значення формування інтелектуального середовища, що сприяє появі так

званих «розумних» регіонів (смартрегіонів). Регіональна політика дедалі більше фокусується на підвищенні ефективності використання наявного потенціалу з урахуванням цифровізації, відкритості до технологічних

змін і здатності адаптуватися до викликів глобальної конкуренції.

У цьому контексті актуальним стає питання оцінки рівня «розумності» регіонів, що охоплює не лише цифрову інфраструктуру, а й інші важливі компоненти – людський капітал, управлінські практики, екологічну відповідальність, підприємницьке середовище тощо.

Незважаючи на зростаючу увагу до цієї теми, в Україні поки що відсутня єдина підходяща система оцінки смартпотенціалу регіонів, яка дозволила б порівнювати їх між собою, виявляти сильні й слабкі сторони, а також визначати пріоритети для державної підтримки та інвестицій. Крім того, значна частина наявних підходів до аналізу інноваційного потенціалу не враховує специфіку сучасних викликів цифрової трансформації.

У зв'язку з цим виникає необхідність розробки інтегрованого підходу до кількісної оцінки смартпотенціалу регіонів України. Такий підхід має передбачати формування системи індикаторів, що охоплюють ключові аспекти «розумного» розвитку, їх нормалізацію, визначення вагових коефіцієнтів та обчислення узагальненого індексу. На основі отриманих значень стає можливим здійснення порівняльного аналізу регіонів, ідентифікація закономірностей та формування рекомендацій щодо підвищення інноваційної спроможності території.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній науковій та прикладній літературі поняття «смартрегіон» трактується як територіальна система, здатна використовувати сучасні цифрові технології, інтелектуальні ресурси та інноваційні підходи для забезпечення сталого соціально-економічного розвитку, підвищення якості життя населення та ефективного управління ресурсами [1, 2]. Такий регіон відзначається високим рівнем взаємодії між владою, бізнесом, наукою та громадянами, що забезпечується завдяки застосуванню розумних технологічних рішень у різних сферах – від інфраструктури до управління даними.

Відповідно, смартпотенціал регіону можна визначити як сукупність ресурсів, інфраструктурних можливостей, організаційних і технологічних чинників, які дозво-

ляють йому реалізовувати концепцію «розумного розвитку». До складу цього потенціалу зазвичай включають такі компоненти [3, 4]:

- цифрову інфраструктуру (розвиненість інформаційно-комунікаційних технологій, наявність високошвидкісного Інтернету, цифрові сервіси);
- людський капітал (рівень освіти, цифрова грамотність, інноваційна активність населення);
- інституційне середовище (ефективність місцевого управління, рівень прозорості та доступності електронних послуг);
- економічну інноваційність (частка витрат на дослідження й розробки, кількість стартапів, впровадження нових технологій);
- екологічну складову (енергоефективність, сталий транспорт, управління відходами тощо).

Поняття смартпотенціалу тісно пов'язане з концепцією інноваційної економіки, адже саме здатність регіону до впровадження технологічних та організаційних новацій виступає запорукою його сталого розвитку в умовах цифрової трансформації [5]. Високий рівень смартпотенціалу, як правило, корелює з активністю інноваційного середовища, ефективністю використання ресурсів та конкурентоспроможністю регіональної економіки.

У світовій практиці протягом останнього десятиліття сформувалося кілька підходів до оцінки рівня смартрозвитку. Одним із найвідоміших є індекс Smart City, що розробляється різними організаціями, зокрема IESE Cities in Motion Index, Smart City Index від IMD, а також European Smart City Model [6]. У більшості таких моделей оцінювання базується на використанні груп індикаторів, які охоплюють такі напрями, як:

- розумне управління (smart governance);
- розумна економіка (smart economy);
- розумна мобільність (smart mobility);
- розумне середовище (smart environment);
- розумне життя (smart living);
- розумні люди (smart people).

Варто зауважити, що переважна більшість наявних індексів орієнтовані на міста, однак частина з них адаптована до регіо-

нального рівня. Так, у межах Європейського Союзу впроваджується підхід до «розумної спеціалізації» регіонів, який передбачає виявлення сильних сторін територій, стимулювання інноваційних екосистем та підтримку технологічних кластерів [3]. Ці підходи можуть слугувати основою для створення методик оцінювання смартпотенціалу не лише в міських агломераціях, а й у ширших територіальних одиницях.

У національному контексті оцінка смартпотенціалу може стати важливим доповненням до загальноприйнятих методик аналізу інноваційного потенціалу регіонів [2, 4]. Традиційні оцінки, які базуються переважно на фінансових і виробничих показниках, не завжди враховують нові виклики цифрової трансформації, зокрема рівень цифрової готовності громад, наявність електронного урядування чи ступінь включеності громадян до процесів управління. Водночас смартпідхід дозволяє подивитися на потенціал регіону з урахуванням широкого спектру соціально-технологічних факторів, що забезпечують не лише інноваційність, але й адаптивність та сталий розвиток.

Таким чином, розробка адаптованої до українських реалій моделі оцінки смартпотенціалу є актуальним науковим завданням, що поєднує концептуальні підходи світового досвіду з потребами регіональної політики України [1, 5]. Це дає змогу визначити слабкі ланки в системі регіонального розвитку та сформулювати більш точкові, ефективні управлінські рішення.

Формулювання мети статті. Метою статті є обґрунтування концептуального підходу та розробка економіко-математичної моделі оцінювання смартпотенціалу регіонів України, що ґрунтується на системі релевантних індикаторів і дозволяє здійснювати комплексну діагностику, враховуючи показники цифрової інфраструктури, людського капіталу, управління та прозорості, енергоефективності та екологічності, підприємницького середовища.

Виклад основного матеріалу дослідження. Оцінювання смартпотенціалу регіону передбачає передусім чітке розуміння його складових та можливість їх кількісного вимірювання. У цьому контексті ключовим завданням є побудова такої системи індика-

торів, яка відображала б не лише наявний рівень розвитку, а й здатність регіону до динамічного зростання в умовах цифрової трансформації та інноваційної конкуренції. Система має бути збалансованою за змістом, структурою та джерелами інформації, а також пристосованою до умов реального інформаційного забезпечення на регіональному рівні в Україні.

Доцільно орієнтуватися на багатовимірний підхід, у межах якого смартпотенціал розглядається як складне соціально-економічне явище, що поєднує як традиційні елементи регіонального розвитку, так і нові параметри, пов'язані з цифровізацією, відкритими даними та технологічною адаптивністю. Особливе місце займає цифрова інфраструктура, яка формується не лише за рахунок технічного забезпечення (наприклад, доступ до широкосмтового інтернету), а й за допомогою розвинених електронних сервісів, рівня цифрової взаємодії між громадянами та владою, а також доступності онлайн-платформ у сфері освіти, медицини, транспорту й управління ресурсами.

Водночас оцінювання рівня людського капіталу не обмежується стандартними показниками освіти, а охоплює і такі важливі характеристики, як готовність до освоєння цифрових інструментів, участь у безперервному навчанні, наявність кадрів для інноваційної економіки. Варто також враховувати ступінь участі населення в громадських ініціативах, які пов'язані з розвитком міського середовища, інклюзивністю та соціальною відповідальністю.

У системі індикаторів не менш важливу роль відіграє характеристика інституційного середовища. В умовах регіональної диференціації в Україні показники прозорості органів місцевого самоврядування, ефективності публічного адміністрування та доступності публічних послуг стають маркером того, наскільки регіон готовий до інтеграції в цифрову економіку. Так само увага приділяється питанням енергоефективності та екологічної відповідальності, адже сучасні тренди розвитку передбачають не лише технічну модернізацію, а й перехід до сталих форм господарювання.

Окремий пласт формують індикатори, що стосуються підприємницького середо-

вища та інноваційної активності. Їх оцінка дозволяє виявити рівень розвитку малого та середнього бізнесу, залучення інвестицій, кількість реалізованих інноваційних проєктів, а також наявність умов для появи стартапів і технологічних ініціатив. Важливо, що ці параметри нерідко пов'язані не лише з об'єктивними економічними чинниками, а й з дією сприятливого інституційного та інформаційного фону.

Під час формування індикаторної бази дослідження доцільно використовувати відкриті статистичні джерела, зокрема дані Державної служби статистики України, аналітичні матеріали про стан реалізації регіональних стратегій розвитку, інформацію з національної платформи моніторингу сталого розвитку та показники, що збираються в межах цифрових дашбордів Міністерства цифрової трансформації. За наявності можливостей доцільно залучати й міжнародні бази даних, наприклад, матеріали Євростату, Світового банку, OECD, які дозволяють зіставляти українські регіони з аналогічними

адміністративними одиницями в Європі за вибраними критеріями.

Таким чином, побудова системи індикаторів для оцінки смартпотенціалу є критично важливою передумовою для подальшого моделювання [7]. Вона забезпечує основу для кількісного аналізу, обґрунтування регіональної політики та впровадження практичних рішень у сфері розвитку «розумних» територій в Україні.

Узагальнення викладеного дозволяє виокремити п'ять ключових рівнів реалізації підходу до моделювання смартпотенціалу регіонів. Кожен із них відображає певний аспект – від теоретичних засад до практичного застосування результатів моделювання для потреб регіональної політики.

На рисунку 1.1 наведено концептуальну схему моделювання смартпотенціалу регіонів України, яка відображає послідовність і взаємозв'язок таких рівнів: теоретико-методологічного, методичного, інструментального, модельного та практичного.

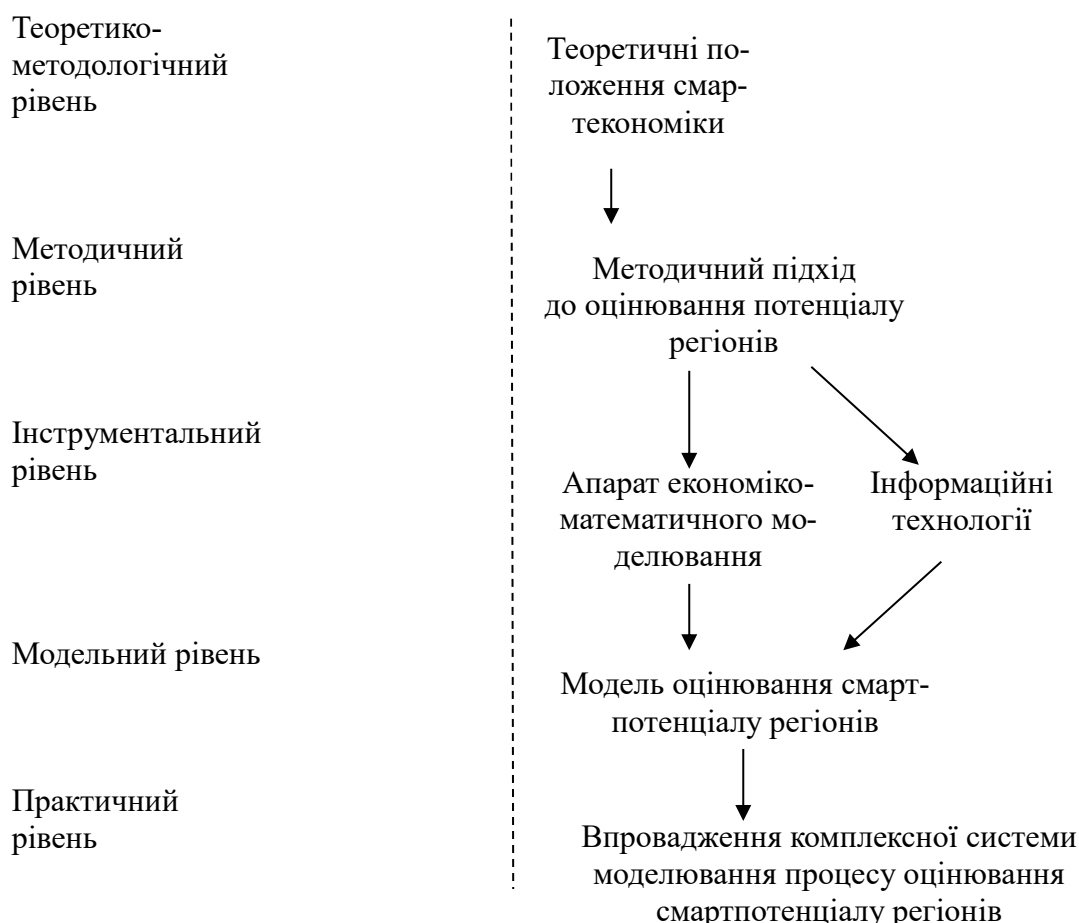


Рис. 1. Схема концепції моделювання процесу оцінювання смартпотенціалу регіонів
Джерело: авторська розробка

Такий підхід забезпечує цілісність і логіку реалізації дослідження – від осмислення основ смартекономіки до формування прикладного інструменту для підтримки управлінських рішень у сфері регіонального розвитку.

Загальну логіку дослідження та послідовність етапів моделювання смартпотенці-

алу регіонів України для оцінки їх інноваційного розвитку представлено на рисунку 2. Запропонована схема ілюструє комплексний підхід, що охоплює процес від формування системи індикаторів до розробки практичних рекомендацій щодо регіональної політики на основі проведеного аналізу.

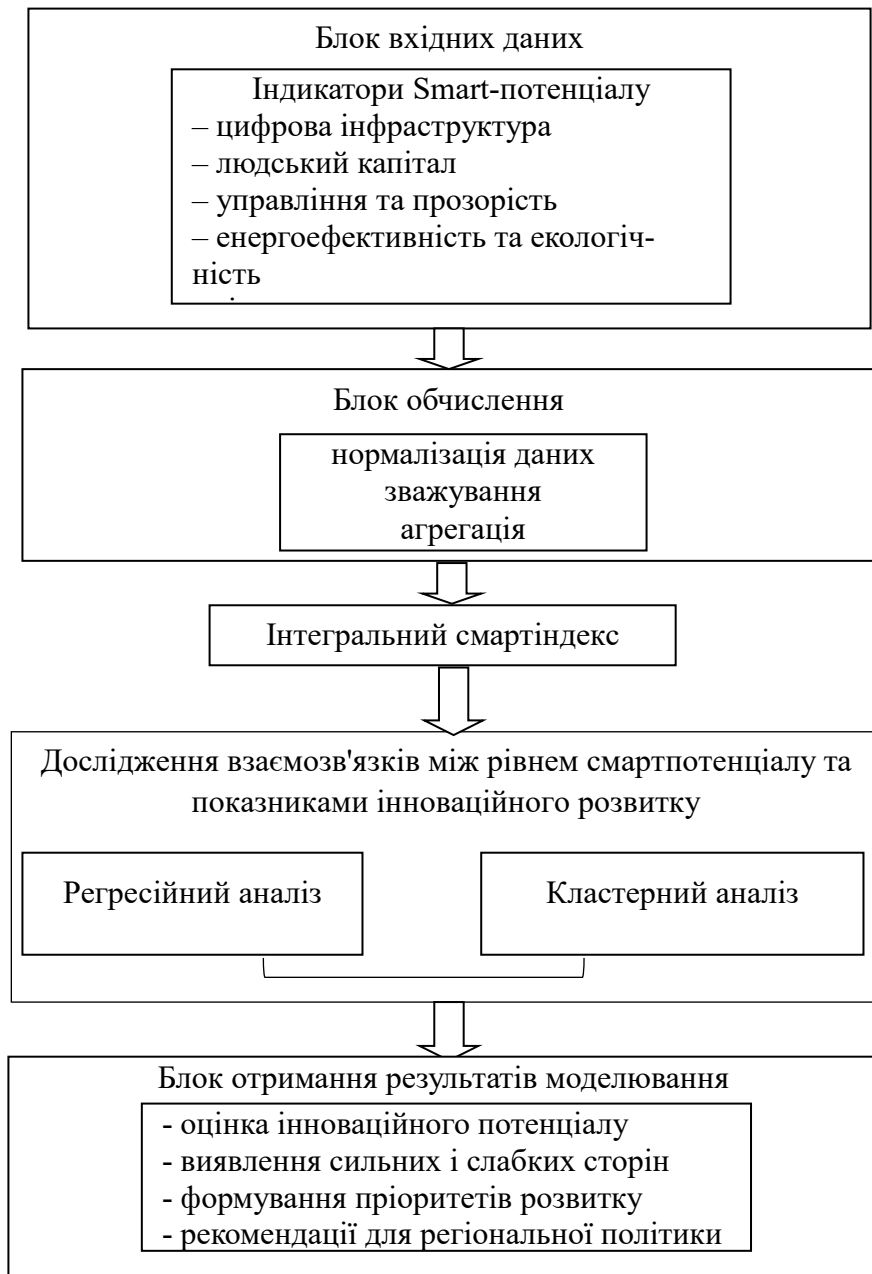


Рис. 2. Моделювання процесу оцінювання смартпотенціалу регіонів України
Джерело: авторська розробка

Побудова ефективної моделі оцінювання смартпотенціалу регіонів України потребує не лише теоретичного обґрунтування, але й практичного підходу до уза-

гальнення та інтерпретації багатовимірної інформації. У межах даного дослідження пропонується концептуальна структура, яка дозволяє перевести розрізнені показники,

зібрані на етапі формування індикаторної бази, у формалізовану систему – інтегральний смартіндекс. Такий індекс має слугувати універсальним вимірником, що дає змогу порівнювати регіони між собою, виявляти лідерів і аутсайдерів у контексті цифрової та інноваційної трансформації, а також виявляти зв'язки з іншими ключовими параметрами соціально-економічного розвитку.

Першим етапом побудови моделі є підготовка вихідних даних. Оскільки індикатори вимірюються в різних одиницях і мають різний масштаб, доцільно застосувати процедуру нормалізації. Це дозволяє привести всі показники до єдиного інтервалу, зазвичай від 0 до 1, що забезпечує їх коректну інтеграцію в загальну формулу. Для цього можуть використовуватись як класичні методи лінійного перетворення, так і більш складні варіанти, які враховують особливості розподілу значень, наявність викидів або асиметрії.

Нормалізація різних типів індикаторів [8, 9]:

– для показників-стимуляторів (чим більше значення, тим кращий рівень розвитку):

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (1)$$

– для показників-дестимуляторів (чим менше значення, тим кращий рівень розвитку):

$$z_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (2)$$

де z_{ij} – нормалізоване значення j -го показника для i -го регіону; x_{ij} – вихідне значення показника; $x_{\min}$ та $x_{\max}$ – мінімальне та максимальне значення даного показника серед усіх регіонів.

Наступним важливим кроком є визначення вагової структури індикаторів. У контексті смартпотенціалу, де поєднуються як кількісні, так і якісні характеристики, постає питання: чи варто надавати однакову вагу всім компонентам, чи враховувати їхню реальну значущість? Існує кілька підходів до цього завдання. Один із них передбачає залучення експертів, які надають оцінки за допомогою методів парного порівняння або шкалювання. Інший базується на викорис-

танні статистичних методів, зокрема ентропійного аналізу, що дозволяє обчислити ваги на основі внутрішньої варіативності кожного показника: чим вищий рівень інформаційної насиченості індикатора, тим більшою є його роль у загальному індексі. Також можливо використання ієрархічного підходу, наприклад, АНР (Analytic Hierarchy Process), який дозволяє узгодити суб'єктивні оцінки з формалізованою структурою.

Розрахунок вагових коефіцієнтів методом ентропійного аналізу [10, 11]:

$$w_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^m (1 - E_j)}, \quad (3)$$

де w_j – вага j -го показника; E_j – ентропія j -го показника, яка розраховується за формулою:

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (4)$$

де n – кількість регіонів; p_{ij} – частка i -го регіону в загальній сумі j -го показника.

На основі нормалізованих та зважених даних інтегральний індекс обчислюється як агрегована оцінка, що узагальнює всі часткові показники. Структурно він може мати як просту адитивну форму, де всі індикатори додаються з відповідними вагами, так і більш складну – з урахуванням взаємозв'язків між підсистемами або із застосуванням багатовимірної індексування. Наприклад, модель може передбачати побудову окремих субіндексів для кожного блоку смартпотенціалу – цифрової інфраструктури, людського капіталу, енергоефективності тощо – з подальшим їх об'єднанням у загальний показник.

Розрахунок інтегрального смартіндексу [12]:

$$SI_i = \sum w_j \times z_{ij}, \quad (5)$$

де SI_i – значення смартіндексу для i -го регіону; w_j – вага j -го показника, z_{ij} – нормалізоване значення j -го показника для i -го регіону.

Розрахунок окремих субіндексів для кожного блоку смартпотенціалу:

$$SI_i^k = \sum w_j^k \times z_{ij}^k, \quad (6)$$

де SI_i^k – значення k -го субіндексу для i -го регіону; w_j^k – вага j -го показника в ме-

жах k -го субіндексу; Z_{ij}^k – нормалізоване значення j -го показника k -го субіндексу для i -го регіону.

Розроблена модель дозволяє не тільки здійснювати рейтингування регіонів, а й застосовувати її для глибшого аналізу шляхом використання методів економіко-математичного моделювання. Зокрема, кластерний аналіз дає змогу об'єднати регіони за подібністю їх смартпрофілів. Одним із найбільш придатних методів є кластеризація за алгоритмом k -середніх, яка дозволяє виявити типові групи регіонів – наприклад, цифрові лідери, перспективні зони розвитку, або регіони з недостатньою динамікою смарт-складової.

Розрахунок відстані між об'єктами при кластеризації методом k -середніх [13]:

$$d(i, j) = \sqrt{\sum (SI_i^k - SI_j^k)^2}, \quad (7)$$

де $d(i, j)$ – відстань між i -м та j -м регіонами, SI_i^k та SI_j^k – значення k -го субіндексу для i -го та j -го регіонів відповідно.

Окрім того, регресійний аналіз допомагає дослідити взаємозв'язок між рівнем смартпотенціалу та іншими індикаторами соціально-економічного розвитку, зокрема – індексом інноваційної активності, ВРП на душу населення, рівнем зайнятості в секторах економіки, що продукують знання. Наявність значущих кореляцій уможливорює побудову моделей прогнозування, що в свою чергу дозволяє регіональним адміністраціям приймати обґрунтовані рішення щодо пріоритетів інвестицій і програм підтримки.

Формула для побудови регресійної моделі, яка оцінює взаємозв'язок між рівнем смартпотенціалу та показниками інноваційного розвитку:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 SI_i + \sum_m \beta_m X_{im} + \varepsilon_i, \quad (8)$$

де Y_i – показник інноваційного розвитку i -го регіону (наприклад, ВРП на душу населення); SI_i – значення смартіндексу для i -го регіону; X_{im} – контрольні змінні; β_0 , β_1 , β_m – коефіцієнти регресії, ε_i – випадкова похибка.

Таким чином, формалізація оцінки смартпотенціалу через розробку концепту-

альної та математичної моделі створює передумови для об'єктивного вимірювання й активного управління розвитком регіонів у контексті цифрової трансформації.

Висновки. В умовах цифрової трансформації та зростаючої потреби у підвищенні конкурентоспроможності регіонів України особливої актуальності набуває комплексна оцінка їхнього смартпотенціалу. Проведене дослідження підтвердило доцільність використання багаторівневої моделі, що охоплює теоретико-методологічний, методичний, інструментальний, модельний і практичний рівні. Застосування інтегрального смартіндексу на основі системи індикаторів дозволяє об'єктивно оцінити здатність регіонів до цифрового, соціального, інституційного, екологічного та інноваційного розвитку.

Запропонована методика дозволяє формалізовано порівнювати регіони, виявляти їхні сильні й слабкі сторони, здійснювати кластеризацію за типами смартрозвитку та прогнозувати вплив окремих факторів на соціально-економічну динаміку. Залучення економіко-математичних методів – зокрема нормалізації, ентропійного аналізу, кластеризації та регресійного моделювання – забезпечує аналітичну глибину та обґрунтованість результатів.

Практична реалізація моделі може бути корисною для органів державної влади та місцевого самоврядування при прийнятті стратегічних рішень, формуванні регіональних програм розвитку, розподілі інвестиційних ресурсів і стимулюванні цифрових трансформацій на місцях. Вона також може бути інтегрована у державні та муніципальні системи моніторингу та оцінювання соціально-економічного потенціалу територій.

Результати дослідження свідчать про необхідність розробки цільових інструментів підтримки смартініціатив у регіонах, особливо в умовах нерівномірного розвитку та регіональної диспропорції. Подальші наукові розвідки можуть бути зосереджені на оцінці ефективності реалізованих смарт-проектів, адаптації моделі до рівня територіальних громад, а також врахуванні нових факторів цифрової зрілості, таких як штучний інтелект, відкриті дані, кібербезпека та стійкість до цифрових ризиків.

Література

1. Возняк Г.В. Теоретико-методологічні аспекти формування моделі смарт-спеціалізації України. Регіональна економіка. 2021. № 2. С. 27-36.
2. Єгоров І. (Ред.). Формування «розумної спеціалізації» в економіці України. Кол. моногр. НАН України; ДУ «Ін-т екон. та прогноз. НАН України». Київ, 2020. URL: <http://ief.org.ua/docs/mg/331.pdf>
3. Caroline Cohen Implementing Smart Specialisation: An analysis of practices across Europe. 2019. URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bits/tream/JRC118729/implementation_examples_final_pubsy.27.11.2019_vf_online.pdf
4. Вишневецький О., Рабошук С., Лісовець І., Гончаренко М. Напрями вдосконалення стратегування смарт-спеціалізації регіонів України з позицій шumpетеріанства, інституціоналізму та девелопменталізму. Економіка промисловості. 2023. №1(101). С. 40-50. DOI: <https://doi.org/10/15407/econindustry2023.01.040>
5. Брич В., Пуцентейло П., Костецький Я., Гунько С. Смарт-спеціалізація як драйвер системи інноваційного регіонального розвитку. Інноваційна економіка. 2022. №1(90). С. 141-151. DOI: <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.1.19>
6. Hassink R., Huiwen G. Six critical questions about smart specialization. 2019. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09654313.2019.1650898?journalCode=ceps20>
7. Удачина К.О., Підгорна К.Д., Підгорний В.О. Індикаторна модель оцінки смарт-потенціалу регіонів України. Актуальні проблеми соціально-економічних систем в умовах трансформаційної економіки: Збірник наукових статей за матеріалами Х Всеукраїнської науково-практичної конференції (24-25 квітня 2025 р.). Дніпро: ПІБТ УДУНТ, 2025. С. 150-152.
8. Харазішвілі Ю.М. Системна безпека сталого розвитку: інструментарій оцінки, резерви та стратегічні сценарії реалізації: монографія. НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ. 2019. 304 с.
9. Ярова І.Є. Методологія оцінки національної безпеки у контексті принципів сталого просторового розвитку. Збалансоване природокористування. 2020. №3. С. 30-42. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2020.212599>.
10. Yue C. Entropy-Based Weights on Decision Makers in Group Decision-Making Setting with Hybrid Preference Representations // Applied Soft Computing. 2017. Vol. 60. P. 737-749.
11. Возна Н.Я. Теоретичні засади методу оцінки ентропії структуризованих поліфункціональних даних. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні системи та мережі. 2016. № 857. С. 17-28.
12. Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S. Tools for Composite Indicators Building. – European Commission, Joint Research Centre, 2005. 134 p. URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/tools-composite-indicators-building>
13. Xie J., Jiang S., Xie W., Gao X. An efficient global K-means clustering algorithm. Journal of

Computers. 2011. Vol. 6, No. 2. P. 271-279. URL: https://www.researchgate.net/publication/220405167_An_Efficient_Global_K-means_Clustering_Algorithm.

References

1. Vozniak, H.V. (2021). Teoretyko-metodolohichni aspekty formuvannia modeli smart-spetsializatsii Ukrainy. Rehionalna ekonomika, (2), 27-36. <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2021-2-3>
2. Yehorov, I. (Ed.). (2020). Formuvannia «rozumnoi spetsializatsii» v ekonomitsi Ukrainy. NAN Ukrainy; DU «Instytut ekonomiky ta prohnozuвання NAN Ukrainy». Kyiv. Retrieved from <http://ief.org.ua/docs/mg/331.pdf>
3. Cohen, C. (2019). *Implementing Smart Specialisation: An analysis of practices across Europe*. EUR 29976 EN. European Commission, Joint Research Centre. Retrieved from https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC118729/implementation_examples_final_pubsy.27.11.2019_vf_online.pdf
4. Vyshnevskyi, O., Raboshuk, S., Lisovets, I., & Honcharenko, M. (2023). Napriamy vdoskonallennia stratehuvannia smart-spetsializatsii rehioniv Ukrainy z pozytsii shumpeterianstva, instytutsionalizmu ta developepmmentalizmu. Ekonomika promyslovosti, 1(101), 40-50. <https://doi.org/10/15407/econindustry2023.01.040>
5. Brych, V., Putsenteilo, P., Kostetskyi, Ya., & Hunko, S. (2022). Smart-spetsializatsiia yak draiver systemy innovatsiinoho rehionalnoho rozvytku. Innovatsiina ekonomika, 1(90), 141-151. <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.1.19>
6. Hassink, R., & Huiwen, G. (2019). Six critical questions about smart specialization. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09654313.2019.1650898?journalCode=ceps20>
7. Udachyna, K.O., Pidhorna, K.D., & Pidhornyi, V.O. (2025). Indykatorna model otsinky smart-potentsialu rehioniv Ukrainy. Aktualni problemy sotsialno-ekonomichnykh system v umovakh transformatsiinoy ekonomiky: Proceedings from MIIM '25: X Vseukrainska naukovopraktychna konferentsiia «Aktualni problemy sotsialno-ekonomichnykh system v umovakh transformatsiinoy ekonomiky» (24-25 kvitnia 2025 r.). (pp. 150-152). Dnipro: IPBT UDUNT.
8. Kharazishvili, Yu.M. (2019). Systemna bezpeka staloho rozvytku: instrumentariy otsinky, rezervy ta stratehichni stsenarii realizatsii. Kyiv: NAN Ukrainy, Instytut ekonomiky promyslovosti.
9. Yarova, I.Ye. (2020). Metodolohiia otsinky natsionalnoi bezpeky u konteksti pryntsyviv staloho prostorovoho rozvytku. Zbalansovane pryrodokorystuvannia, (3), 30-42. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2020.212599>
10. Yue, C. (2017). Entropy-Based Weights on Decision Makers in Group Decision-Making Setting with Hybrid Preference Representations. Applied Soft Computing, 60, 737-749. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.07.033>

11. Vozna, N. Ya. (2016). Teoretychni zasady metodu otsinky entropii strukturyzovanykh polifunktsionalnykh danykh. Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Kompiuterni systemy ta merezhi, (857), 17-28.

12. Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., & Tarantola, S. (2005). Tools for Composite Indicators Building. European Commission, Joint Research Centre,

134 p. Retrieved from <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/tools-composite-indicators-building>

13. Xie, J., Jiang, S., Xie, W., & Gao, X. (2011). An efficient global K-means clustering algorithm. Journal of Computers, 6(2), 271-279. <https://doi.org/10.4304/jcp.6.2.271-279>

MODELLING THE PROCESS OF ASSESSING THE SMART POTENTIAL OF REGIONS IN THE CONTEXT OF INNOVATIVE DEVELOPMENT

K. D. Pidhorna, Ph. D (Tech.), Associate Professor, Ukrainian State University of Science and Technologies,

K. O. Udachyna, Ph. D (Econ.), Associate Professor, Ukrainian State University of Science and Technologies,

V. O. Pidhornyi, Post-graduate Student, Ukrainian State University of Science and Technologies

Methods. The methodological foundation of the research is based on a systems approach that integrates the theoretical principles of the smart economy with practical tools for assessing regional potential. To construct the integrated smart index, a multidimensional approach was used for the selection of indicators, a data normalization method was applied to eliminate dimensionality, and the entropy method was employed to determine the weight coefficients of the indicators. The modeling part is based on economic and mathematical methods, in particular cluster analysis (k-means algorithm) to group regions by similar smart development profiles, as well as regression analysis to identify relationships between the level of smart potential and socio-economic development indicators. The proposed approach enables an objective quantitative assessment of smart potential and the development of practical recommendations for regional policy in the context of digital transformation.

Results. A methodological toolkit has been developed, which includes the normalization of heterogeneous indicators, determination of weight coefficients using entropy analysis, and calculation of an integrated index. The procedure for calculating the index based on sub-indices for each block of smart potential has been formalized using mathematical formulas. The methodology incorporates cluster analysis to group regions based on the similarity of their smart profiles and regression models to determine the relationship between the level of smart potential and socio-economic development indicators.

Novelty. The scientific novelty of the research lies in the formation of a multidimensional approach to assessment, which considers not only traditional financial and production indicators but also aspects of digital transformation. The methodological toolkit for assessing regional development has been improved by developing a formalized mathematical model.

Practical value. The practical value of the results is due to the creation of a universal tool for comparative analysis of Ukrainian regions, which allows for objective ranking, identification of strengths and weaknesses of territories, and the formulation of well-grounded management decisions regarding investment priorities and programs for supporting innovative development. The proposed model is adapted to national characteristics of information support, which makes it practically applicable in the context of Ukraine.

Keywords: regional smart potential, integrated smart index, modeling, digital transformation of regions, information-analytical model, regional clustering, regression analysis, normalization and weighting of indicators, regional development policy.

Надійшла до редакції 12.05.25 р.