

РОЗДІЛ 1. МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ВИМІРІВ ГЛОБАЛЬНОГО СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Багато проблем, з якими стикається світ сьогодні, є результатом нестабільного розвитку. Глобальні зміни клімату, діри в озоновому шарі, виснаження ресурсів, космічне сміття, зменшення біорізноманіття, недоїдання, вимираючі екосистеми, глобальна нерівність та ризик безпрецедентних ядерних воєн, ймовірно, є одними з найбільш відомих, але далеко не єдиними прикладами.

Основним питанням у вивченні проблем сталого розвитку є розробка стратегій, які б надали можливість уникнути екологічної та соціальної катастроф. Щоб краще зрозуміти проблеми сталого розвитку та прийняти правильні рішення, необхідні сучасні інструменти аналізу, які базуються на різних аналітичних, математичних та обчислювальних методах.

Традиційно дослідження проблем сталого розвитку мали тенденцію зосереджуватися на аспектах екологічного чи стійкого розвитку та ігнорували не менш важливі сфери. Зокрема, це проблеми несправедливого розвитку, крайня бідність і голодування, ресурсні війни, найчастіше за нафту. Проте в найближчому майбутньому вода також може стати предметом конфліктів, оскільки її дефіцит стає все більш екстремальним.

Сьогодні стійкість потрібно розглядати не як простий проект, який впроваджують різні фахівці з урахуванням інтелектуального управління ресурсами. Це парадигма, де майбутнє розглядається як баланс трьох його компонентів (економічних, соціальних та екологічних), а метою є розвиток і покращення якості життя. Сталий розвиток — це лише окреслена концепція, яка постійно змінюється та збагачується різними аспектами визначення цього поняття.

Дослідження проблем сталого розвитку проводились протягом не одного десятиліття. Однак, попередній аналіз мав тенденцію використовувати «м'які» підходи, які не потребують використання інструментів аналітичних, математичних або обчислювальних методів. Проте складність та інтерактивність отримання розв'язків багатьох взаємопов'язаних проблем сталого розвитку, які можуть бути використані при розробці компромісів та підтримці прийняття рішень у складних, невизначених умовах, потребують неодмінного застосування апарату математичних та обчислювальних методів.

Математичні моделі стійкості є результатом міждисциплінарних досліджень, які виконують постійно та послідовно. Немає загального методу розробки таких моделей, тому вітчизняні та зарубіжні вчені постійно пропонують нові інноваційні моделі та розробляють теоре-

Моделі сталого розвитку

тичні концепції для обґрунтування вибору показників, що визначають рівень сталого розвитку.

Зокрема, моделюванням сталого розвитку у різні роки займалися М. Херш (M. Hersh), Дж. Ремейер (J. Rehmeyer), В. Меллор (W. Mellor), Р. Кліфт (R. Clift), Р. Буланжер (P. Boulanger), Т. Брекет (T. Brechet), Т. Брекет (T. Brechet), М. Кіссінджер (M. Кіссінджер), W. Rees (В. Рейс), S. Faucheux (С. Фауче), D. Pearce (Д. Пірс), J. Proops (Дж. Пропс), В. Тодоров (V. Todorov), Д. Марінова (D. Marinova), Г. Малінецький (G. Malinetskiy), А. Потапов (A. Potapov), Б. Карпінський, І. Ляшенко, М. Згуровський, Н. Панкратова, М. Коробова, І. Горіцина, А. Васильків та багато інших науковців.

Велику увагу приділяють дослідженню питань сталого розвитку і на вітчизняних теренах. Так у 2006 році в структурі Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» було створено Українське відділення Світових центрів даних з геоінформатики та сталого розвитку (СЦД-Україна). Основним напрямом його діяльності є геоінформатика та сталий розвиток («Форсайт економіки України», 2015). Одним з вагомих досягнень СЦД стала розробка інформаційної платформи сценарного аналізу у вигляді математичного забезпечення вирішення задач передбачення щодо виявлення перспективних напрямів стратегічного розвитку на рівні великих підприємств, галузей та регіонів (Панкратова, 2011).

Хоча сталий розвиток може здаватися цілком нормативним процесом, на сьогодні серед науковців немає консенсусу щодо характеру та швидкості необхідних дій у цьому напрямку. Окрім того, існують суперечності щодо різних інтересів, які можуть бути порушені. Багато рішень, необхідних для забезпечення сталого розвитку, такі як зменшення викидів вуглекислого газу, вимагають високого рівня глобального консенсусу, який може бути сформований лише на основі строгих наукових фактів (знань). Вирішальне значення для отримання фактів мають саме математичні методи.

Побудувати ідеальну модель неможливо, тому важливо чітко враховувати невизначеність різних модельних компонент. Особливо це стосується моделей, що описують складні екологічні та соціальні системи, де часто доступна лише якісна та неточна інформація. Тому доцільним є використовувати різні методики моделювання для вирішення задач сталого розвитку, аналізу й прогнозування його основних вимірників та отримання достовірних і надійних результатів. Побудовані моделі можуть надати дуже важливу та корисну інформацію для соціальних інституцій та політиків.

1.1. Моделювання значущих вимірів сталого розвитку

1.1.1. Методологія розробки індикаторів сталого розвитку

Соціальні показники, а отже, і показники сталого розвитку, є науковими конструкціями, основна мета яких — надання інформації для ефективного проведення державної політики. Їх корисність залежить від обраних компромісів між науковою стійкістю та жорсткістю, політичною ефективністю та демократичною легітимністю. При побудові показників сталого розвитку виділяють три важливих етапи: визначення різних вимірів, що лежать в основі концепції сталого розвитку, агрегування вимірюваних індикаторів у складні комплексні індекси та визначення ваг на різних рівнях ієрархії індикаторів. Загалом при визначенні рівня стійкості традиційно використовують індикатори чотирьох найбільш поширених концепцій сталого розвитку з точки зору основних складових (економіка, суспільство та навколишнє середовище), ресурсів та виробничих фондів (виробничий, природний, людський та соціальний капітали), добробуту людини (потреби, можливості) та норм (ефективність, справедливість, задоволеність тощо). Такий підхід передбачає побудову синтетичних показників, здатних при оцінюванні стійкості конкурувати з валовим внутрішнім продуктом (ВВП) і доповнювати його як індикатор розвитку.

Необхідність розробки надійних та відповідних показників для управління процесом сталого розвитку, яка у різні часи вивчалась науковцями, була визнана на конференції Організації Об'єднаних Націй в Ріо-де-Жанейро ще у 1992 р. Підтвердженням цього факту стали і низка розділів «Порядку денного на XXI століття» — програмного документа, узгодженого на цьому саміті. Пошук ефективних підходів до вимірювання стійкості став центральною темою з питань вироблення інформації, необхідної для прийняття рішень (Boulanger, 2008).

На сучасному етапі відомі показники (включаючи ВВП), які традиційно використовувались для оцінки стійкості систем, не можна вважати адекватними, відповідними та прийнятними для всіх учасників процесу розвитку.

Показники як вимірники та синтетичні індекси

Поняття показників спочатку використовували в суто науковому контексті соціологічного дослідження. Теоретичні (абстрактні) поняття відображали за допомогою очевидних змінних. Таким чином наукові гіпотези, що оперують цими поняттями, могли бути використані у ем-

Моделі сталого розвитку

піричних дослідженнях. Вперше поняття «показник» використав Лазарсфельд у своїх працях про операціоналізацію соціологічних теорій (Lazarsfeld, 1958), де вперше були чітко визначені та проаналізовані різні етапи переведення понять в індекси. Показник є очевидною змінною, яка використовується для відображення неочевидної реальності.

Поняття «індекс» використовують для означення синтетичного індикатора, побудованого шляхом об'єднання інших, так званих «базових» показників. Більшість вимірників, які використовують у формуванні державної політики, фактично є показниками. Наприклад, ВВП, Індекс споживчих цін, фондові індекси, такі як промисловий індекс Доу-Джонса (Dow-Jones Index) та Індекс людського розвитку (Human Development Index, HDI) Програми розвитку Об'єднаних націй (United Nations Development Programme, UNDP). Невдовзі після публікації статті Лазарсфельда набув популярності термін «соціальний індикатор» як вимірник суспільних надбань та вимірник у сфері публічної політики.

Термін «індикатор» фактично мав два смислових значення. Перше — це поняття статистики в оригінальному значенні цього слова, тобто методичне дослідження соціальних фактів кількісними процесами (класифікація, підсумовування, кількісні описи, переписи) з метою надання інформації та допомоги урядам у прийнятті ефективних рішень.

Друге значення термін «індикатор» набув у результаті появи численних рухів щодо соціальної та медичної реформ під час промислової революції. На початку XIX століття філантропи (зазвичай лікарі або священнослужителі) використовували статистичні дані про житло та умови життя, доходи, алкоголізм, в'язниці тощо з метою реформування суспільства і поліпшення становища непривілейованих (Lazarsfeld, 1958).

Починаючи з 60-х років XX століття поняття «соціальний показник» протягом кількох десятиліть не використовувалось як соціальний індикатор. Лише у 2000-х цей термін отримав нове значення у контексті вимірювання добробуту та людського розвитку, а пізніше і поняття стійкості та сталого розвитку. Низка дослідників, серед яких Гадрі та Джані-Кетріце (Gadrey et al., 2003), Пеппе (Perret, 2002) та Шарп (Osberg et al., 2002) висловлювали думку, що визначати рівень сталого розвитку лише на основі значення ВВП є нераціональним, принаймні потрібно доповнити його більш адекватним синтетичним вимірником благополуччя.

Найбільш поширені індикатори сталого розвитку

Індекс людського розвитку, ІЛР (Human Development Index, HDI)

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

створений Об'єднаною програмою розвитку ООН (ПРООН), зокрема на основі наукових праць Сена (Sen, 1999). Цей індикатор консолідує три основних показника: тривалість життя при народженні, дохід та рівень освіти, що вимірюється рівнем грамотності дорослих у поєднанні з прогнозованим рівнем освіченості дітей шкільного віку.

Індекс сталого економічного добробуту (Index of Sustainable Economic Welfare, ISEW) — монетарний індекс, тобто ВВП, скоригований на кілька пунктів щодо нерівності отримання доходів, мобільності, дорожньо-транспортних пригод, забруднення повітря та води, шуму, втрати природних екосистем, виснаження запасів не відновлюваних ресурсів, боротьби з глобальним потеплінням та ерозії озонового шару. З іншого боку, неоплачувана домашня робота та витрати на охорону здоров'я й освіту складають позитивний внесок у добробут.

Індекс справжнього прогресу (Genuine Progress Indicator, GPI) вперше почав розраховувати для Сполучених Штатів Каліфорнійський інститут «Переосмислення прогресу» у 1995 році. Фактично це дещо змінений ISEW, який враховує позитивний внесок добровільної праці, товарів тривалого використання і транспортної інфраструктури та негативний ефект від окремих додаткових витрат, таких як витрати на розвиток сім'ї, безробіття, втрату вільного часу та природних територій тощо.

Міра внутрішнього прогресу (Measure of Domestic Progress, MDP) є похідним індексом від ISEW і близьким до GPI, його своєрідною британською версією. Його специфіка полягає в тому, що він враховує витрати на оборону і витрати домашніх господарств на охорону здоров'я та освіту, а також екологічні витрати.

Індекс економічного добробуту (Index of Economic Well-being), створений Шарпом (Sharpe) та Осбергом (Osberg et al., 2002), складається з чотирьох середньозважених показників:

- основних синтетичних вимірників потоків споживання в широкому сенсі цього терміну;
- запасів багатства (економічних, людських та екологічних);
- економічної нерівності та бідності;
- економічної незахищеності (оригінальний вимір, що враховує економічні ризики, пов'язані з безробіттям, хворобами та неповними сім'ями).

Економічні та соціальні аспекти відіграють дуже важливу роль, зокрема щодо екологічних проблем.

Індекс добробуту людини (Human Well-being Index, HWI) — один із показників (разом з індексом збереження екосистем — Ecosystem

Моделі сталого розвитку

Well-being Index, EWI), запропонований Прескотт-Алленом у книзі «Благополуччя народів» (Prescott-Allen, 2001). Він складається з декількох основних показників, що стосуються здоров'я (очікуваної тривалості життя) та сімейного життя (стабільність у сім'ї), доходів та ступеня задоволення основних потреб, здоров'я економіки (інфляція, безробіття, заборгованість), рівня освіти, засобів комунікації (включаючи телефон та Інтернет), політичні та громадянські права, стан миру або збройних конфліктів (внутрішніх чи зовнішніх), злочинність та рівність.

З вище перерахованих спроб створити адекватний індикатор сталого розвитку лише Індекс розвитку людського потенціалу, розроблений ПРООН, отримав широке практичне застосування. Всі інші, включаючи Індекс сталого економічного добробуту, розроблений Далі та Коббом (Daly, 1990), Індекс справжнього прогресу (Talberth et al., 2006), Міру внутрішнього прогресу (Jackson, 2004), Індекс економічного добробуту (Osberg et al., 2002 p.), Індекс людського добробуту (Prescott-Allen, 2001 p.), не були визнані широким загалом як ефективні вимірники стійкості.

Індекс людського розвитку є достатньо відомим, зокрема завдяки тому, що його ефективність визнав лауреат Нобелівської премії з економічних наук Амартья Сен (Sen, 1999).

Основні етапи побудови індикаторів стійкості (рис. 1.1.1)

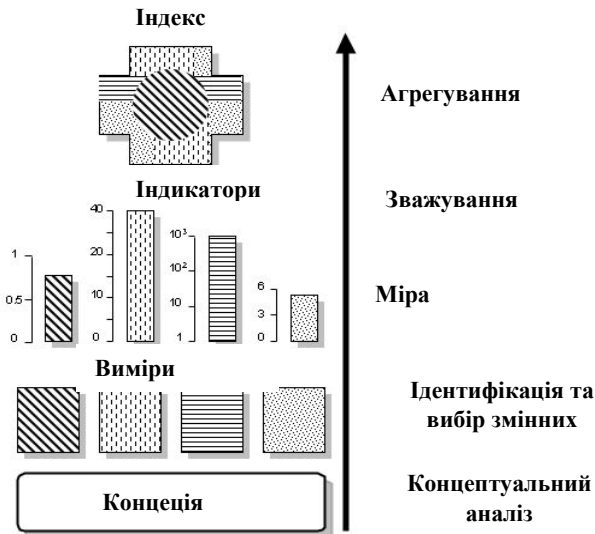


Рис. 1.1.1. Послідовні фази побудови показників за Лазарсфельдом

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

Джерело: (Boulanger, 2008)

1. Визначення вимірів відповідно до концепції

Перша фаза полягає у визначенні різних вимірів, що відображають багатовимірні поняття концепції. Поняття бідності, наприклад, охоплює матеріальний, соціальний та культурний виміри. Матеріальний вимір сам по собі багатогранний. Він включає фінансові компоненти (доходи, рівень заборгованості, додаткове фінансове навантаження) та нефінансові (здоров'я, житло, права). Кожен з цих матеріальних вимірів є складним. Дохід, наприклад, може вимірюватись у грошовій та негрошовій формах. Окрім того, регулярний чи нестабільний характер доходів має вагоміше значення, ніж рівень доходів за окремий період.

2. Вибір індикаторів, що відповідають вимірам

На наступному етапі різні виміри реструктуруються на змінні, окремі з яких будуть зберігатись як показники, оскільки їх простіше виміряти. Незважаючи на те, що вибір показників часто базується на оцінці обмежень спостереження та вимірювань, він завжди відповідає теоретичним припущенням. Наприклад, кого вважати бідним: тих, що не мають мінімального доходу для забезпечення необхідних потреб чи тих, що мають значно менший дохід, ніж інші.

У першому випадку межу бідності розраховують як суму, необхідну для задоволення потреб, які вважаються важливими. У другому випадку вимірювання бідності полягає у встановленні еталонного рівня (визначається середнім або медіаною) та порівнянні з ним емпіричних значень домогосподарств чи індивідуумів за відповідною шкалою.

3. Вимірювання показників

Після визначення показників їх необхідно виміряти та визначити точність, просторову, часову та інші шкали, які будуть використані для дослідження. Найчастіше індикатори мають різну точність і вимірюються у різних одиницях, що ускладнює процес агрегування вимірювань у синтетичний індикатор. Наприклад, поняття соціального статусу, який базується на таких показниках, як тривалість навчання, рівень освіти, дохід та тип роботи, є міксом кількісних (дохід), порядкових даних (рівень освіти) та номінальних (робота). При проведенні емпіричних досліджень зазвичай доводиться змінювати шкали вимірювання, використовуючи простіші рівні значень показників, що спричиняє втрату інформації.

Моделі сталого розвитку

4. Обчислення індексів на основі вимірювань

Остання операція, важлива в контексті застосування наукової концепції при проведенні емпіричних досліджень, полягає в об'єднанні різних показників у синтетичний індикатор. Під час тестування наукової гіпотези (окрім випадку соціальних показників) лише синтетичний показник вважається значущим. Необхідною умовою легітимності агрегування є співвимірність показників. Це стосується таких монетарних показників, як ВВП, індекс цін тощо. Якщо ж не існує загальноприйнятої спільної одиниці вимірювання, такого як валюта, різновимірні показники мають бути стандартизовані.

Стандартизація

Є кілька видів стандартизації, кожна з яких цілком придатна.

Статистична стандартизація полягає у перетворенні значень змінних таким чином, щоб їх середнє значення дорівнювало нулю:

$$\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma},$$

де \bar{x} — середнє, σ — середньоквадратичне відхилення (Ковальчук, 2016).

Цей тип стандартизації застосовують до великої кількості статистичних моделей, однак, не в контексті соціальних показників, оскільки кожне нове спостереження передбачає новий розрахунок середнього значення та зумовлює нову стандартизацію.

Емпірична стандартизація може бути виконана за допомогою різних методів. Одним із найбільш поширених з них полягає у використанні в якості основи для розрахунку базового періоду (наприклад, року, коли почався статистичний огляд) і вираження всіх наступних значень у відсотках відповідних відхилень від початкового значення. Цей підхід корисний для аналізу з точки зору оцінки прогресу початкової ситуації. Інший метод полягає в присвоєнні значення 0 (min) спостереженню, що відповідає найгіршому випадку і 1 (або 10, 100) тому, що містить найкращий результат (max). Всі проміжні значення розраховують за формулою

$$Y = X - \frac{\min}{\max - \min}$$

таким чином, щоб усі значення знаходились у межах проміжку від 0 до 1 (або 10, 100 і т.д.). Основною проблемою такого типу стандартизації є мінливість мінімальних та максимальних значень. Якщо нове

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

спостереження виявляється новим екстремумом, всі змінні повинні бути повторно стандартизовані.

Аксиологічна стандартизація — це процес, ідентичний емпіричній стандартизації з мінімальною та максимальною межами, за винятком того, що межі не визначаються базою даних (спостережуваними значеннями), а вибираються з урахуванням контексту явища чи його оцінки. Ситуації, яка потребує змін, присвоюється значення 0, і ситуації, яка розглядається як ідеальна (відповідає або не відповідає стратегічній цілі), присвоюється значення 1.

Математична стандартизація полягає у застосуванні математичного перетворення (функції) до даних таким чином, щоб вони залишалися у межах між нижньою та верхньою границями (наприклад, -1 та +1 або 0 і 1). Логістичні та гіперболічні дотичні функції найчастіше використовують у цих цілях. Проте такі маніпуляції не рекомендовані для соціальних показників, оскільки дещо спотворюють початковий розподіл, але головним чином тому, що не є зрозумілими для непрофесійного користувача. Вибір методу та екстремальних меж, які використовуються для стандартизації, не залежить від змісту та використання показників. Ряд авторів. (Bouyssou et al., 2000) наводять приклади спотворень результатів досліджень внаслідок незначних відмінностей у виборі базового значення. Наприклад, однією з трьох компонентів Індексу людського розвитку є очікувана тривалість життя при народженні. Спостережувані значення стандартизовані з нижньою та верхньою межами відповідно 25 та 85 років. Якщо в якості верхньої межі обрати 80 років, а не 85, інтервал між максимальним та мінімальним значенням зміниться від 60 до 55 (зменшиться на 9%). 55-річна очікувана тривалість життя буде оцінена як 0,545 на відміну від попередніх 0,50 (на 9% більше). Якщо інші компоненти індексу не змінилися, то результат буде збільшеним на 9% від ваги очікуваної тривалості життя при розрахунку загальної кількості. Отже, необхідний загальноприйнятий підхід до вибору екстремальних значень таким чином, щоб вони відповідали цілям дослідження (Boulanger, 2008).

Агрегування — це операція, яка полягає у стисненні інформації, що задовольняє певній умові (критерію), в один окремий квант інформації. При цьому постає питання надання ваг критеріям, що складають індекс, та встановлення взаємозв'язку між показником та його складовими.

Проблема зважування є вирішальною та достатньо складною. Вона полягає в приписуванні ваги, а значить, і конкретної вартості для

Моделі сталого розвитку

різних вимірів концепції. Наприклад, у випадку визначення індексу бідності матеріальному виміру можна надати більшу вагу, ніж соціальному (ізоляція, відчуження) або культурному аспекту.

Виміри та індикатори, що складають індекс, можуть бути представлені у вигляді деревовидної діаграми. Обчислювальний індекс є стволом дерева, а кожна гілка, що представляє один з вимірів, у свою чергу розбивається на підгілки, що закінчуються листям, яке представляє фактичні (виміряні) показники.

На рис. 1.1.2 наведено приклад такої схеми дерева, де концепція сталого розвитку поділена на три виміри, що відповідають відомим економічним, соціальним та екологічним сферам.

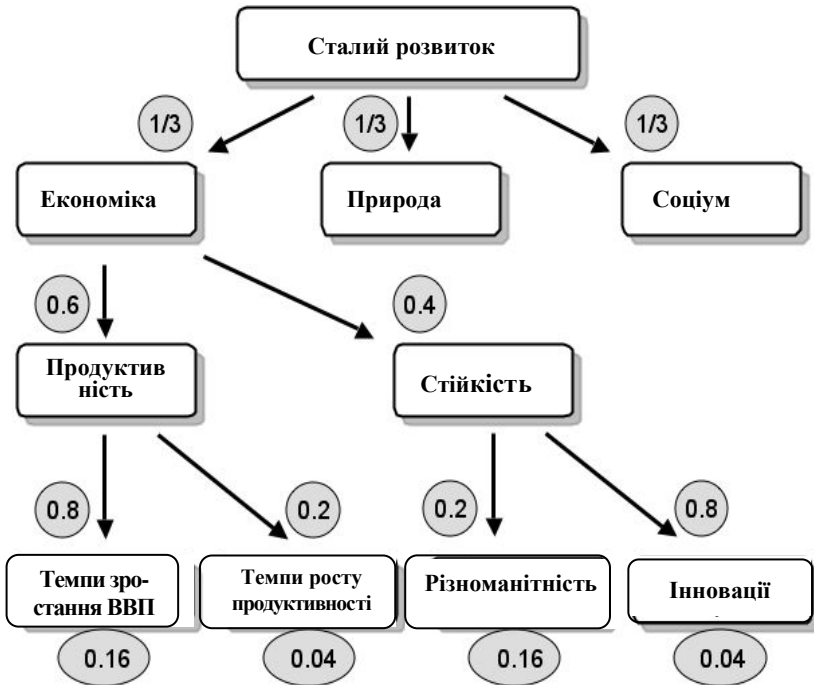


Рис. 1.1.2. Діаграма дерева вимірів та індикаторів

Джерело: (Boulanger, 2008)

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

Далі розгалужується лише економічна галузь з двома складовими вимірами — продуктивністю та стійкістю. Продуктивність оцінюється за допомогою двох показників — темпів зростання ВВП та продуктивності. Стійкість також породжує два аспекти — різноманітність та інновації. Каскадний ваговий процес ілюструється кінцевою вагою кожного показника, яка є добутком власної ваги та всіх попередніх ваг.

Побудова показників та багатокритеріальне прийняття рішень

Описаний вище аналіз ієрархічного дерева нагадує окремі способи прийняття рішень з множинними атрибутами, які використовують один і той самий тип дерева рішень — метод АП, або аналітичний ієрархічний процес (Analytical Hierarchy Process, АНР). Процес побудови показників є, по суті, проблемою рішень із множинними критеріями або багатокритеріальними рішеннями (Bouyssou et al., 2000). Він складається з набору $C = \{C_1, \dots, C_n\}$ цілей або критеріїв, які потрібно враховувати (наприклад, ціна, безпека, продуктивність) та скінченного набору $S = A = \{A_1, \dots, A_m\}$ альтернативних засобів для досягнення цих цілей або відповідностей цим критеріям та множини $W = \{W_1, \dots, W_n\}$ (можливо порожньої) вагових коефіцієнтів критеріїв C , таких що

$$\sum_{i=1}^n W_i = 0.$$

Прийняття рішення означає впорядкування m альтернатив на основі обраного єдиного критерію, який складається з n агрегованих цілей (критеріїв) або кількох різних критеріїв (багатокритеріальний підхід) для вибору оптимальної альтернативи (Boulanger et al., 2003).

Підхід полягає у формуванні матриці альтернатив (критеріїв), що складаються з оцінок, наданих експертами для кожної альтернативи, оскільки вона стосується кожного критерію. Інтерпретація значень елементів матриці дає можливість отримати градацію різних альтернатив і визначити оптимальну. У випадку багатокритеріального (агрегатного) підходу матриця буде вектором, що містить лише одне значення для кожної альтернативи.

Щоб визначити країну, яка є найефективнішою з точки зору сталого розвитку, потрібно спочатку визначити набір економічних, соціальних та екологічних показників, зібрати відповідні дані протягом певної кількості років та вивчити результати різних країн з точки зору сталого розвитку. Це фактично проблема прийняття рішень, де критеріями ви-

Моделі сталого розвитку

бору є показники класифікації альтернатив (країн), які можуть бути зваженими та агрегованими або, принаймні, синтезованими.

Методи та інструменти, розроблені для надання допомоги у прийнятті рішень, можуть однаково застосовуватись як до зважених критеріїв, так і до сукупності альтернатив сталого розвитку. Однак, визначення показників стійкості є питанням колективного рішення, а отже і соціального вибору. Саме в цьому контексті і доцільно розглядати це питання.

Зважування

Якщо методи стандартизації та агрегування супроводжуються серйозними теоретичними та практичними труднощами, стосовно зважування виникають переважно наукові та демократичні проблеми. Рациональне обґрунтування використовуваних вагових коефіцієнтів є складним (Perret, 2002). Важко прийняти рішення, якій зі складових (соціальної, економічної чи екологічної) надати більшої ваги. Сучасні наукові теорії не можуть обґрунтувати жоден вибір.

Низка вчених висували пропозицію взагалі відмовитись від ідеї зважування та використовувати багатокритеріальні та багатозадачні аналітичні методи. Однак, кожне рішення, індивідуальне чи колективне, приймається з врахуванням окремих індивідуальних критеріїв, зазвичай підсвідомих та прихованих, таких як вибір між сьогодишнім та завтрашнім, нами або ними, економічним зростанням або захистом навколишнього середовища, зайнятості або якості життя тощо. У сфері державної політики, а отже і при обчисленні ІЛР ваги є відображеннями або наслідками відносної сили різних соціальних груп. Але вимоги сталого розвитку фактично передбачають оцінку цих довільних виборів у контексті демократичних дебатів та у світлі етичних та наукових критеріїв. Тому на політичному порядку денному сьогодні оцінка цих виборів і ваг, які є складовими життя в суспільстві, необхідність побудови синтетичних показників для сталого розвитку.

Метою соціальних показників є оцінка загального розвитку суспільства, а не лише інформування уряду, хоча офіційні доповіді адресовані уряду, і це дає можливість громадянському суспільству оцінювати державну політику. На відміну від офіційної статистики, соціальні показники мають стати інструментом демократичної оцінки та управління владою.

Виміри сталого розвитку

Для вибору індикаторів, які можна вважати вимірами сталого розвитку, потрібно сформулювати загальноприйнятую концепцію сталого розвитку, що визначає тип об'єктів, яких вона стосується. Проте, на

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

поточний момент у цьому питанні відсутній консенсус. Одним із визначень стійкості є задоволення потреб і прагнень сучасного та майбутніх поколінь («Brundtland Report», 1987), що чітко стосується людей та їх благополуччя. Сьогодні відомо багато різних підходів до вибору набору показників оцінювання сталого розвитку. Усі їх можна узагальнити до чотирьох основних класів об'єктів дослідження: соціально-природний сектор (системи), ресурси, люди, стандарти.

Крім того, у словосполученні «сталий розвиток» акцент може бути поставлений як на перше, так і на друге з цих слів. Наприклад, Порядок денний на XXI століття наголошує на сталості («The Hague Agenda», 2000). У таблиці 1.1.1 представлено області вимірів сталого розвитку як функції чотирьох визначених об'єктів та пари розвиток і сталий розвиток. Останній рядок таблиці вказує на інституційний рівень, для якого описаний підхід виглядає найбільш придатним. Більшість систем індикаторів, побудованих у міжнародних установах або країнах, базуються на кількох парадигмах. Жоден список не обмежується лише однією точкою зору (Boulanger et al., 2003).

Таблиця 1.1.1. Простір вимірів сталого розвитку

	<i>Системи секторів</i>	<i>Ресурси капіталу</i>	<i>Люди</i>	<i>Норми</i>
Розвиток			благополуччя можливості функції	ефективність участь свобода тощо
Сталий розвиток	рівновага відсутній зв'язок коеволюція тощо	реальні заощадження екологічний слід максимальний стійкий вихід		власний капітал ефективність стійкість розсудливість
Рівень	державна регіон	державна планета	цивілізація	локально-глобальний

Джерело: (Boulanger, 2008)

Секторальний підхід був використаний при найбільшій кількості спроб визначити показники сталого розвитку. Вибір вимірів обмежується відомими «стовпами» сталого розвитку — економікою, соціумом та еко-

Моделі сталого розвитку

логією, які розглядаються окремо. Цей підхід зосереджений на стійкості у сенсі рівноваги у розвитку кожної з цих галузей, однак практично не передбачає аналізу аспекту розвитку. Розвиток за замовчуванням включається в економічне зростання разом з певними соціальними умовами (не надто багато безробіття, невисока ступінь соціального забезпечення тощо), певними екологічними умовами (якість повітря та води, забруднення). Ця концепція сталого розвитку, ймовірно, є найближчою до домінуючих політичних та ідеологічних уявлень, що пояснює її широке визнання в політичних та промислових колах у багатих країнах.

Такий підхід зберігає баланс між показниками економічної, соціальної та екологічної сфер і забезпечує рівновагу між важливими елементами. Однак, він не є несумісним з розрахунком відокремлених показників та використанням галузевих синтетичних індексів, таких як ВВП, в економічній сфері. Недоліком галузевого підходу є незначущість отриманих результатів в силу ігнорування реальних вимог сталого розвитку.

Ресурсний підхід також не враховує проблем розвитку. Він орієнтований на стійкість у сенсі обмеженого сталого використання природних ресурсів та збереження сукупного запасу продуктивного капіталу на душу населення, достатнього для майбутніх поколінь у сенсі виробництва товарів і послуг, необхідних для їхнього благополуччя. Майже всі екологічні синтетичні показники можуть бути включені в наступні категорії: екологічний слід (Chambers et al., 2000), Індекс екологічної стійкості (Environmental Sustainability Index of the World Economic Forum, 2002), Індекс добробуту екосистем (Ecosystem Wellbeing Index) (Prescott-Allen, 2001) тощо. Більшість з цих показників розглядають як перспективи «сильної стійкості», тобто можливість заміщення природного капіталу техногенним.

Індикатор справжньої економії (Hamilton et al., 1999) базується на радикально протилежній гіпотезі. Цей монетарний індекс заснований частково на національних рахунках та спрямований на оцінку ступеня справжнього збагачення національної економіки. При обчисленні його значення як від'ємні складові враховуються валові національні заощадження, знецінення штучного капіталу, зниження вартості природних ресурсів, значення заподіяння шкоди навколишньому середовищу, а також зовнішній борг та як додатні — витрати на охорону здоров'я та освіти, які розглядаються як інвестиції в людський капітал. Додатне значення індикатора означає, що нинішні покоління не витрачають надмірну частку національного продукту та передають достатню про-

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

дуктивну спадщину для майбутніх поколінь. Таким чином, справжнє заощадження є виключно показником справедливості між поколіннями. Крім того, існує припущення про ідеальну взаємозамінність між трьома формами капіталу: природною, виробничою (або виробниками) та людьми (Boulanger et al., 2008).

Підхід з точки зору добробуту відповідає визначенню розвитку. Це підхід, орієнтований на людей, їх потреби та благополуччя. Розвиток розглядається як збільшення добробуту для максимально можливої кількості людей сьогодні і в майбутньому. Підхід, заснований на добробуті, не обов'язково означає прийняття утилітарної програми, яку передбачає економіка добробуту. Теорія А. Сена (Sen, 1999) заснована на благополуччі як здатності діяти та отримувати досвід задоволення (благополуччя) і розрізняє можливості та функціонування. Її філософський контекст дуже далекий від утилітаризму. З цієї причини Сен був першим визнаним економістом, який запропонував багатовимірне бачення розвитку, спрямованого не на економічне зростання чи збільшення грошових доходів, а на збільшення реальної свободи для досягнення своїх цілей.

На думку Сена, добробуту людей сприяє не кошик споживчих товарів, до якого вони мають доступ, а й сама можливість обирати товари з відповідними характеристиками — фізичними, ментальними та соціальними, а також зовнішні обставини. Ці три фактори визначають поняття, яке Сен називає функціонуванням (Saith, 2001).

Можливості ж визначають здатність індивідів діяти відповідно до власних цілей та цінностей. У цьому ракурсі розвиток, у принципі, полягає в розширенні можливостей, доступних для людей, а отже, і спектру бажаних життєвих виборів, доступних для людей.

На основі підходу з точки зору добробуту було зроблено багато спроб побудувати синтетичні показники стійкості: монетарний індекс, Індекс справжнього прогресу, міру внутрішнього прогресу, Індекс економічного добробуту тощо. Жоден з цих показників, за винятком монетарного індексу, не враховують аспект сталого розвитку.

Описані вище підходи розглядають сталий розвиток з точки зору соціуму, економіки та зовнішнього середовища і базуються на ресурсах та добробуті. Однак, існує і процедурний підхід, який вивчає питання сталого розвитку у ракурсі нормативних засадах. З цієї точки зору будь-яка форма соціальної дії, що задовольняє цим нормам та/або процедурам, розглядається як стійкий розвиток. У такому сенсі поняття «розвиток» вимірюють як повагу до стандартів ефективності, участі

Моделі сталого розвитку

та свободи. Сталий розвиток визначається власним капіталом, ефективністю, стійкістю та обачністю (застереження та запобігання). Вибір цих характеристик, безумовно, є дискусійним та потребує поглибленого вивчення. Нормативний підхід передбачає, що участь не може обмежуватися лише правом голосу. Громадяни повинні мати можливість отримувати інформацію про будь-яке прийняте рішення, що може вплинути на їхнє життя на всіх рівнях та у всіх сферах, включаючи економічні питання (Boulanger et al., 2008).

Стандарти стійкості розглядають дві форми справедливості, що складають сталий розвиток. Отже, розвиток, який не забезпечує рівних можливостей для всіх поколінь, не можна вважати більш стійким, ніж розвиток, який допускає вичерпування ресурсів, необхідних для майбутніх поколінь. Тому ефективність не можна ототожнювати лише з економічною ефективністю, як це визначається процедурами аналізу витрат/вигод або витрат/ефективності. Це загальна ефективність з врахуванням обмежень на використання всіх ресурсів — природних, людських, соціальних та культурних. Вимога подвійної справедливості нівелює інші норми. Тому для забезпечення дійсної справедливості потрібно забезпечити раціональне використання ресурсів, бережливе ставлення, виконання принципів запобігання та застереження, щоб забезпечити життєздатність систем тощо.

Нормативний підхід має перевагу перед іншими щодо адекватності всіх рівнів дій та різних типів об'єктів. Такий підхід може бути застосований при оцінці проектів та програм, для бізнесу та побудови моделей виробництва і споживання, національної економіки тощо. Однак, при використанні такого підходу важко підібрати адекватні виміри та спостережувані показники. Тому його рідко використовують для формування наборів індикаторів, за допомогою яких можна виміряти справедливість, ефективність або участь. Поодиноким прикладом розробки системи показників на основі нормативного підходу є набір показників сталого розвитку, прийнятий Швецією (Nyman, 2003), який базується на чотирьох наступних постулатах: ефективність, рівність/участь, адаптованість, цінності та ресурси для майбутніх поколінь.

Незважаючи на труднощі у його впровадженні, нормативний підхід має свої переваги, зокрема, він базується на достатньо жорстких теоріях справедливості (Barry, 1999, Holland, 1999). Ще однією перевагою є те, що він зосереджений на суб'єктах розвитку, проектах та

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

політиці, яка базується на справжніх основах концепції сталого розвитку — справедливості та рівності.

З врахуванням чотирьох аспектів, розглянутих вище, лише концепції, що базуються на нормах, можна вважати завершеними, оскільки вони є такими ж важливими для розвитку, як і для на сталості. На практиці різноманітні підходи переплітаються. І з цієї точки зору комбінація добробуту та збереження ресурсів є найкращим компромісом для розробки інформаційної системи сталого розвитку. На цій підставі ієрархія (схема дерева) може бути обґрунтована, з одного боку, синтетичним індикатором добробуту та всіма його компонентами, а з іншого — синтетичним індикатором навколишнього середовища, кожен з яких деагредований на основні показники. Однак, існує велика ймовірність, що ці дві групи індексів (індекси людського розвитку та синтетичні індекси навколишнього середовища) будуть розвиватися в протилежних напрямках (Cherchye, 2006), про що свідчить таблиця 1.1.2 коефіцієнтів кореляції Спірмена.

Таблиця 1.1.2. Коефіцієнти кореляції між соціально-економічними та екологічними показниками

	HDI	HWI	HALE	EWI	EF	ESI₁	ESI₂
HDI							
HWI	0,9538						
HALE	0,9467	0,901					
EWI	-0,2421	-0,2362	-0,2775				
EF	-0,9058	-0,8789	-0,8388	0,2746			
ESI₁	0,7	0,969	-0,201	0,1488	-0,1244		
ESI₂	-0,2654	-0,1873	-0,2521	0,928	0,3022	0,2431	

HDI — Індекс людського розвитку, HWI — Індексу добробуту населення, HALE — індексу очікуваної тривалості життя, EWI — індекс збереження екосистем, EF — екологічний слід, ESI₁ та ESI₂ — показники екологічної стійкості: індикатор стану та показник тиску відповідно.

Існує щільна зворотна кореляція між EF та трьома показниками людського розвитку. Слабка зворотна кореляція спостерігається і між цими ж показниками людського розвитку та EWI і ESI₂. Однак різні соціально-економічні показники та екологічні індикатори (окрім EWI та EF, які розвиваються в протилежних напрямках) додатно корелюють між собою. Цей факт свідчить про можливість наявності невідповідності чи навіть протиріччя між виконанням соціально-економічних

Моделі сталого розвитку

цілей та окремими вимогами щодо справедливості між поколіннями. Тому на сьогодні актуальною є проблема поглибленого вивчення протиріч, які спричиняють синтетичні показники сталого розвитку, а також пошук причин їх виникнення та формування нових наборів адекватних вимірюваних індикаторів для їх обчислення.

Найвагоміші, дієві та надійні соціальні показники відображають соціально значущі цілі та цілі політики. Їх розробляють на основі загальноновизнаних технічних методологій.

У цьому відношенні наука загалом і суспільні науки зокрема відіграють важливу роль. Місія науки полягає у вивченні та аналізі ефективності відомих показників сталого розвитку та максимально широкому поширенні результатів проведених досліджень. Отримані висновки повинні зацікавити широку громадськість та різні спільноти, здатні контролювати наслідки своїх дій у глобальному масштабі в умовах нових викликів глобалізації та стрімкого розвитку технологій. Це завдання, як ніколи, вимагає нагального вирішення.

1.1.2. Аналіз основних вимірів сталого розвитку

Сталий розвиток — загальна модель суспільства, яка передбачає дотримання балансу між задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, зокрема безпечне та здорове середовище існування (Butlin, 1987). Це керований розвиток, основою якого є системний підхід та сучасні інформаційні технології, що дають змогу швидко та якісно моделювати різні можливі варіанти розвитку, з високою ймовірністю прогнозувати їх результати та приймати найбільш дієві рішення.

Питання вибору оптимального варіанта розвитку є важливим для кожної країни, оскільки розвиток економіки пов'язаний з природними обмеженнями (Грінів, 2001). Однак, існують країни, для яких виживання — єдина стратегічна мета. Такі країни провокують загрози та виклики міжнародній безпеці. Близькість сусідніх держав створює екологічні ризики. Стрімка глобалізація сприяє утворенню та загостренню економічних та соціальних небезпек. Тому досягнення сталого розвитку регіонів є надзвичайно важливою проблемою. Напрямок сталого економічного розвитку обрали ряд розвинених держав, серед них США, Японія, країни Європейського Союзу (Шевчук, 2006).

Міжнародні критерії оцінки рівня життя

Сучасне розуміння терміну «рівень життя» — це не лише характеристика економічного добробуту населення, виміряна як реальний

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

дохід на душу населення та кількість населення за межею бідності. Це поняття включає й різноманітні неекономічні чинники — соціальні, політичні, культурні, інноваційні, екологічні та інші. Сьогодні важливим є не лише виживання, а, насамперед, якість та безпека, гідне існування, рівні можливості для всіх, добробут населення, рівень людського розвитку та нагромадження людського капіталу.

Суспільство XXI століття вважають високорозвинутою цивілізацією, однак 1,2 мільярда людей у світі змушені жити не більше, ніж на \$ 1,25 на день. За даними Програми розвитку Організації Об'єднаних Націй (ПРООН) у злиднях живуть майже 1,5 мільярда чоловік у 91 країні, що розвиваються («Глобальний сайт ООН», 2016). Вони позбавлені можливостей у галузі охорони здоров'я, освіти та гідного рівня життя. У цілому масштаби зубожіння скорочуються, однак майже 800 мільйонів людей у світі ризикують опинитись за межею бідності.

Одним із найбільш авторитетних рейтингів серед багатьох міжнародних показників, за допомогою яких вимірюють рівень розвитку людського потенціалу окремої країни, є Індекс людського розвитку (ІЛР). Його розробили, щоб ствердити, що люди та їхні можливості мають стати остаточним критерієм оцінки розвитку країни, а не лише її економічного зростання. Аналіз ІЛР може виявити окремі не вирішені питання та необхідність прийняття кардинально нових рішень у сфері соціальної та національної політики країни.

На сьогодні Індекс людського розвитку є найбільш популярним серед основних критеріїв, за якими оцінюють рівень життя в країні чи регіоні. Це узагальнений показник, який розраховують на основі середньостатистичних даних окремих країн. Він не враховує внутрішньої нерівності. Окрім нього, використовують ще ряд показників для визначення рівня розвитку людського потенціалу. Це Індекс людського розвитку, скоригований з урахуванням соціально-економічної нерівності (ІЛРН); Індекс гендерної нерівності (ІГН) та Індекс багатомірної бідності (убогості) населення (ІУН).

Індекс людського розвитку (Human Development Index, HDI) — класичний засіб для узагальненого порівняння рівня життя різних країн і регіонів світу. До 2013 року він носив назву Індекс розвитку людського потенціалу (ІРЛП). Є варіант оригінального перекладу терміну Human Development Index як Індексу гуманітарного розвитку (ІГР).

Індекс введений групою пакистанських економістів під керівництвом Махбубом-уль-Хака (Mahbub ul Haq). Сучасного вигляду показ-

Моделі сталого розвитку

ник набув у 90-х роках минулого століття після багаточисельних доопрацювань його концептуальної структури групою економістів під керівництвом Амартія Сен (Bossel, 1999). Даний індекс використовують для порівняння життя громадян різних країн та регіонів.

Щорічно індекс розраховують експерти Програми розвитку Організації Об'єднаних Націй спільно з групою незалежних міжнародних експертів для міждержавного порівняння основних характеристик людського потенціалу досліджуваної території і використовують у рамках спеціальної серії доповідей ООН про розвиток людини («Human Development Reports», 2016). Доповідь дає можливість оцінити в порівнянні і довгостроковій перспективі рівень життя населення 187 країн світу.

Доповіді про розвиток людського потенціалу готують на різних рівнях: регіональному, національному та міжнародному. У підсумковій доповіді при визначенні місця країни у світовому рейтингу враховують практично всі основні показники рівня життя населення:

- рівень грамотності і освіти;
- тривалість життя;
- рівень народжуваності;
- рівень смертності;
- рівень ВВП на душу населення;
- індекс споживчих цін;
- кількість користувачів мобільного зв'язку та Інтернет;
- якість питної води;
- кількість ВІЛ-інфікованих;
- розвиток охорони здоров'я;
- споживання різних видів енергії;
- площа лісів;
- ступінь гендерної нерівності;
- становище в галузі прав людини;
- стан навколишнього середовища;
- рівень злочинності;
- рівень безробіття тощо.

Основну доповідь, що містить індекс (рейтинг) розвитку, готують тисячі фахівців у більш, ніж 600 проміжних доповідях. В основній доповіді визначаються чотири індекси: HDI — індекс розвитку людського потенціалу (сумарні вимірювання людського розвитку), GDI — гендерні питання (нерівність між чоловіками та жінками), GEM —

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

заходи з реалізації прав жінок, ІРР — індекс убогості населення (рівень бідності) («Human Development Reports», 2016).

На сьогодні розроблена і науково обґрунтована узагальнена система показників, що характеризує кількісні та якісні характеристики соціально-економічної диференціації соціального розвитку, що включає:

- коефіцієнт диференціації індексу розвитку людського потенціалу, який характеризує ступінь відмінності в соціально-економічному розвитку аналізованих країн, регіонів усередині країни, соціальних груп;
- коефіцієнт диференціації індексу здоров'я (довголіття), що показує, наскільки стан здоров'я в одній країні, регіоні кращій, ніж в іншому;
- коефіцієнт диференціації індексу освіти визначає ступінь перевищення рівня освіти населення в одній країні (регіоні або іншому об'єкті дослідження) над рівнем освіти (грамотності) населення іншої країни;
- коефіцієнт диференціації індексу доходу, який визначає ступінь економічної диференціації аналізованих країн або регіонів;
- коефіцієнт диференціації індексу смертності як показник відмінностей у стані здоров'я порівнюваних країн або регіонів;
- коефіцієнт диференціації рівня професійної освіти, що відображає відмінності в ступені охоплення навчанням другого і третього ступенів освіти в досліджуваних країнах або регіонах.

ІРР є узагальненим вимірником оцінки якості життя населення в окремій країні за трьома основними показниками: очікувана тривалість життя при народженні, рівень освіченості населення, рівень реальних доходів населення. Для його розрахунку спеціалісти використовують аналітичні розробки та статистичні дані національних інститутів і міжнародних організацій.

У залежності від значення ІРР країни прийнято класифікувати за рівнем розвитку: найвищий (42 країни), високий (43 країни), середній (42 країни) і низький (42 країни) рівень.

При розрахунку ІРР використовують не номінальний ВВП на душу населення, а саме ВВП, розрахований за паритетом купівельної спроможності. Курс головних світових валют, перш за все долара, по відношенню до більшості національних валют надто завищений у порівнянні з їх реальною купівельною спроможністю. Наприклад,

Моделі сталого розвитку

курс долара щодо китайського юаня завищений майже у 8 разів. Про українську гривню та російський рубль наразі навіть не доводиться говорити. Це один із механізмів пограбування країн Третього світу та пострадянського простору державами західного капіталу, які задешево скуповують у слаборозвинених країнах їх товари, послуги, природні багатства і робочу силу, а свої товари та послуги продають дорожче (Ляшенко та ін., 2016).

Диспаритет валют означає, що реальний «розрив» у рівні життя розвинених країн (зокрема США) та слаборозвинених країн насправді є нижчим, ніж виражений через номінальний ВВП на душу населення. Тому цю обставину необхідно враховувати при визначенні реального рівня життя в країні.

1.1.3. Моделювання показника Індексу людського розвитку як індикатора стійкості

Методологію розрахунку ІЛР постійно уточнюють і вдосконалюють. Найбільші труднощі пов'язані з необхідністю отримання порівнянних показників за відсутності необхідної соціальної статистики в більшості країн, що розвиваються, а за окремими показниками і в країнах з перехідною економікою.

Індекс ІЛР, як зведений показник, розраховують як середньозважене декількох індексів (Lutz et al., 2011; Anand, 1994):

- очікувана тривалість життя як вимірник довголіття;
- рівень життя, оцінений через величину валового національного доходу (ВНД) на душу населення за паритетом купівельної спроможності у доларах США;
- рівень грамотності населення країни (середня тривалість отриманої освіти дорослим населенням) та очікувана тривалість навчання дітей шкільного віку.

Довголіття характеризує здатність прожити довге і здорове життя, що є природним життєвим вибором і однією з основних універсальних потреб людини. Базовий показник довголіття — очікувана тривалість життя, яку вимірюють як середню тривалість майбутнього життя при народженні. Цей показник обчислюють окремо для чоловічого і жіночого населення та розраховують на основі статистичних даних про умовне покоління, що складається із сукупності людей різного віку, які померли у поточному році.

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

Очікувана тривалість життя одним числом виражає інтенсивність смертності населення окремо взятої країни (регіону тощо) у поточному календарному році — характеризує довголіття гіпотетичного новонародженого, який проживе все життя в умовах такої інтенсивності смертності.

Насправді за умов постійного вдосконалення системи охорони здоров'я та підвищення якості життя реальний новонароджений у поточному році проживе, в середньому, довше, ніж гіпотетичний.

Освіченість розглядають як здатність набувати та накопичувати знання, спілкуватися та обмінюватися інформацією. Характеристиками освіченості є грамотність дорослого населення та повнота його охоплення навчанням. Грамотність розглядають як здатність людини прочитати, зрозуміти і написати короткий простий текст, що стосується повсякденного життя.

Рівень грамотності дорослого населення (частка грамотних у віці 15 років і старше) є найважливішим базовим показником цього напрямку людського розвитку. Рівень грамотності характеризує реальне населення. Він є показником стану освіти і в деякій мірі залежить від грамотності населення напередні 10-20 років.

Для індустріальних країн з ринковою економікою рівень грамотності встановлюють рівним 99%. Враховуючи тенденції підвищення освітнього рівня і необхідність більш адекватного відображення відмінностей між індустріальними країнами, освіченість почали оцінювати комбінацією двох базових показників: рівнем грамотності дорослого населення та сукупною часткою учнів.

Останній показник розраховують як відношення загальної кількості учнів (зараховані) на всіх ступенях навчання (початкової, середньої, середньої спеціальної, вищої, післядипломної) незалежно від їх віку до загальної кількості населення у віці від 6 до 24 років.

Рівень життя характеризує доступ до матеріальних ресурсів, необхідних для гідного існування, включаючи ведення здорового способу життя, забезпечення територіальної та соціальної мобільності, обмін інформацією та участь у житті суспільства.

Рівень життя, на відміну від довголіття й освіченості, тільки відкриває можливості, що є у людини, але не визначає їх використання. Це засіб, що розширює можливість вибору, але не власне вибір. Рівень життя є непрямим індикатором можливостей.

Вибір базового показника, який би адекватно відображав даний напрямок людського розвитку, є серйозною проблемою. Ідеальний показник рівня життя повинен враховувати численні фактори. Зокрема, особистий дохід, розподіл доходів між верствами суспільства, на-

Моделі сталого розвитку

копичену власність, доступ до земельних ресурсів і кредитів, розвиненість інфраструктури і механізм доступу до громадських фондів споживання (охорони здоров'я, освіти, транспорту, комунальних послуг і т.ін), індивідуальний стиль життя, розмір і структуру сім'ї, блага, вироблені в домашньому господарстві, природно-кліматичні та екологічні умови в місці проживання і тощо.

Оскільки в ІЛР об'єднані натуральні та вартісні показники, кожен з них індексується у межах від 0 до 1. Індекси визначають відхилення показників регіону від мінімальних і максимальних значень відповідних індикаторів. При розрахунках ІЛР для кожного з них встановлено фіксовані граничні значення.

Загальна формула переведення показника (x) в індекс: $x_{ind} = (x - \min(x)) / (\max(x) - \min(x))$, де $\min(x)$ і $\max(x)$ — відповідно мінімальне та максимальне значення показника x .

Індекс людського розвитку конкретної країни обчислюють як середнє арифметичне наступних показників:

- індекс тривалості життя $T_r = \frac{ST - 25}{85 - 25}$;
- індекс освіти $O = 2/3 \times GR + 1/3 \times SC$;
- індекс грамотності дорослого населення $G = 0,01 \times RG$;
- індекс сукупної частки учнів $C = 0,01 \times SC$;
- індекс ВВП $VVP_{ind} = (\log(VVP) - \log(100)) / (\log(4000) - \log(100))$,

де ST — середня тривалість життя,

G — рівень грамотності дорослого населення у відсотках,

C — сукупна частка учнів,

VVP — ВВП на душу населення, розрахований за паритетом купівельної спроможності (у доларах США).

Загальний показник має діапазон від 0,001 до 1. Його розраховують для кожної країни. За величиною ІЛР визначають її місце у світовому рейтингу.

Регресійна модель світового людського розвитку

За даними досліджень рівня життя населення 187 країн світу, здійснених Програмою розвитку Організації Об'єднаних Націй для формування доповідей ООН про розвиток людини за 2014 р. («Human Development Reports», 2014), проведено аналіз аналітичної моделі обчислення індексу людського розвитку. Дослідження виконано у середовищі програмного пакету Statistica, одного з найбільш популярних статистичних засобів для пошуку закономірностей, прогнозування, класифікації та візуалізації даних.

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

Специфікацію моделі (аналітичну форму економетричної моделі) запишемо у вигляді (Ляшенко та ін., 2016):

$$I = b_0 + b_1Tr + b_2VVP + b_3G + b_4SC + \varepsilon,$$

де Tr — очікувана тривалість життя, VVP — валовий національний дохід на душу населення, G — середня тривалість отриманої освіти дорослого населення, SC — очікувана тривалість навчання дітей шкільного віку.

З отриманих результатів регресійного аналізу випливає, що залежність між показником і факторами щільна ($R^2 = 0,96$). Побудована лінійна регресія адекватно описує взаємозв'язок між показником і факторами. Вільний член та всі регресійні коефіцієнти є статистично значущими ($p < 0,01$).

Отримано наступні точкові оцінки параметрів моделі:

- вільний член $b_0 = -0,177857$;
- коефіцієнт (при незалежній змінній Tr) $b_1 = 0,007333$;
- коефіцієнт (при незалежній змінній VVP) $b_2 = -0,000045$;
- коефіцієнт (при незалежній змінній G) $b_3 = 0,018173$;
- коефіцієнт (при незалежній змінній SC) $b_4 = 0,015934$.

Коефіцієнти b^* оцінюють за стандартизованими даними, що мають вибіркове середнє, рівне 0, і стандартне відхилення, яке дорівнює 1. Тому величини b^* дають змогу оцінити внески кожного фактора у прогнозування показника.

За підсумковою таблицею регресії побудуємо модель наступного вигляду:

$$I = -0,177857 + 0,007333Tr - 0,000045VVP + 0,018173G + 0,015934SC + \varepsilon.$$

Для оцінки значущості отриманих коефіцієнтів регресійного рівняння використаємо t -критерій Стьюдента. У пакеті STATISTICA значення t -критерію (t_p) визначаються як відношення взятого за модулем коефіцієнта регресії до його стандартної похибки.

Обчислене значення t -критерію з рівнем значущості $\alpha = 0,01$ і кількістю ступенів вільності $df = 181$, $t_t = 4,182$. Порівняємо значення t_p і t_t для кожного з отриманих параметрів:

$$t_p = -8,31245 > t_t \text{ — для вільного члена } b_0;$$

$$t_p = 17,82288 > t_t \text{ — для коефіцієнта } b_1;$$

$$t_p = -2,35837 < t_t \text{ — для коефіцієнта } b_2;$$

$$t_p = 14,06631 > t_t \text{ — для коефіцієнта } b_3;$$

$$t_p = 10,97998 > t_t \text{ — для коефіцієнта } b_4.$$

Статистично значущими є коефіцієнти b_0 , b_1 , b_3 та b_4 . Коефіцієнт b_2 сформований під впливом випадкових чинників. Це пояснює той факт, що при розрахунку ІЛР використовують не номінальний ВВП на душу насе-

Моделі сталого розвитку

лення, а ВВП, розрахований за паритетом купівельної спроможності із завищеним курсом долара. Тому фактор VVP можна виключити з моделі як неінформативний. Аналогічний висновок можна зробити, порівнюючи значення рівня значущості з прийнятим нами рівнем $\alpha = 0,01$. Для b_0, b_1, b_3, b_4 показник імовірності випадкових значень параметрів регресії менший за 1% ($0,01 \cdot 100\%$). Тому можна зробити висновок про те, що отримані коефіцієнти статистично значущі та надійні. Для b_2 робимо висновок про випадковість його значення, оскільки $\alpha = 0,19 \cdot 100\% = 20\% > 1\%$. Це дає можливість розглядати b_2 як неінформативний фактор. Його можна вилучити з рівняння для покращення моделі.

Вільний член b_0 оцінює агрегований вплив інших (крім врахованих у моделі Tr, VVP, G, SC) факторів на результат I . Коефіцієнти b_1, b_2, b_3, b_4 вказують на те, що зі збільшенням на одиницю значень Tr, G та SC залежна змінна I збільшується на 0,007333, 0,018173 та 0,015934 відповідно. I зменшується на 0,000045 при збільшенні VVP на 1. Порівнювати ці значення не можна, оскільки вони залежать від одиниць вимірювання кожної ознаки і є незрівнянними між собою. Для їх порівняння використовують відносні показники — β -коефіцієнти.

Отримані значення парних коефіцієнтів кореляції свідчать про тісний зв'язок індексу людського розвитку країни (I) як з показником тривалості життя (Tr) — 0,9, так і з середньою тривалістю отриманої освіти дорослого населення (G) — 0,9 та очікуваною тривалістю навчання дітей шкільного віку (SC) — 0,9. При цьому потрібно враховувати тісний міжфакторний зв'язок G з SC (0,8). Для покращення моделі фактор VVP можна виключити як недостатньо статистично надійний.

Оцінити тісноту зв'язку значень двох змінних, без впливу всіх інших змінних, представлених у рівнянні множинної регресії, можна за допомогою матриці лінійних коефіцієнтів часткової кореляції.

Коефіцієнти часткової кореляції дають точнішу характеристику тісноти залежності двох ознак, ніж коефіцієнти парної кореляції, тому що «очищують» парну залежність від взаємодії даної пари ознак з іншими представленими в моделі ознаками. Найбільш тісно Індекс людського розвитку країни (I) пов'язаний з показником тривалості життя (Tr) — 0,8, з середньою тривалістю отриманої освіти дорослого населення (G) — 0,7 та очікуваною тривалістю навчання дітей шкільного віку (SC) — 0,6 у порівнянні зі зв'язком I з ВВП (VVP) — 0,2. Цей факт свідчить про доцільність виключення фактору VVP з моделі.

Напівчасткова кореляція — кореляція фактору та показника в припущенні, що контролюється вплив інших факторів на даний фактор, але не контролюється вплив факторів на показник. Якщо напівча-

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

сткова кореляція мала, у той час як часткова кореляція відносно велика, то відповідний фактор може мати самостійну частку у поясненні мінливості залежної змінної, тобто частку, що не пояснюється іншими факторами. У нашому випадку фактори Tr , G та SC вносять самостійну частку в пояснення мінливості відгуку.

Часткові коефіцієнти кореляції змінних Tr , G та SC значущі на заданому рівні значущості $p \leq 0,01$, а частковий коефіцієнт кореляції змінної VVP значущий при рівні значущості $p = 0,2$.

Значення коефіцієнтів множинної детермінації дають можливість зробити висновок про достатньо високу (більше за 60%) детермінованість результатної ознаки I в моделі факторними ознаками Tr , G та SC .

Оцінка адекватності моделі на основі аналізу залишків

Залишки — це різниці між спостережуваними значеннями (емпіричними) та модельованими (аналітичними), тобто значеннями, підрахованими за моделлю з оціненими параметрами. Модель можна вважати задовільною, якщо залишки некорельовані й розподілені (приблизно) за нормальним законом (Ковальчук, 2016).

Для візуального аналізу розподілу залишків використовуємо Р-Р діаграму порівняння залишків моделі з нормальним розподілом (рис. 1.1.3).

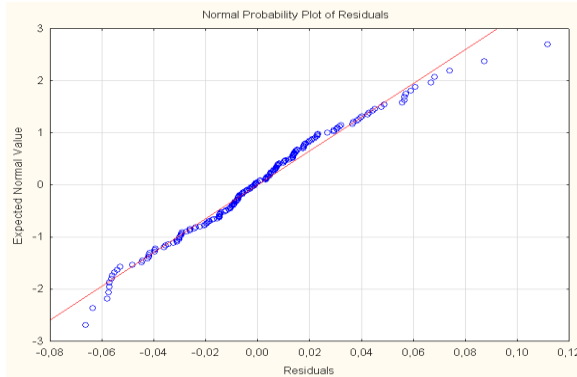


Рис. 1.1.3. Р-Р діаграма порівняння залишків моделі з нормальним розподілом

Побудуємо графік порівняння спостережуваних і прогнозованих значень показника (рис. 1.1.4).

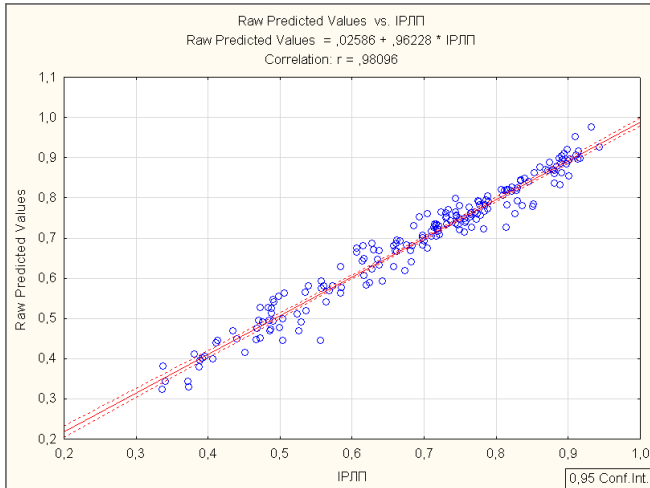


Рис. 1.1.4. Графік порівняння спостережуваних і прогнозних значень показника

Однією з умов коректного застосування регресійного аналізу є відповідність залишків нормальному закону розподілу (рис. 1.1.5).

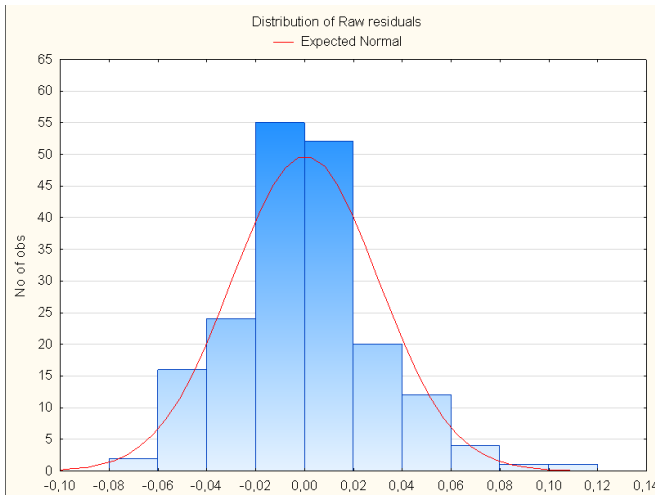


Рис. 1.1.5. Графік розподілу залишків

Аналіз викидів

Проведені дослідження у середовищі програмного пакету Statistica показали, 30-те спостереження (Бруней) ідентифікується як

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

викид. Очевидно, що вилучати це спостереження (1 із 187) з моделі не доцільно, оскільки регресія суттєво не зміниться.

За допомогою побудованої регресійної моделі можна отримати прогнозні значення залежної Індексу людського розвитку для заданих значень регресорів та знайти інтервал надійності.

Наприклад, для $Tr = 68,5$, $VVP = 8,215$, $G = 11,3$ та $SC = 15,1$ отримаємо наступне прогнозне значення. Передбачуване значення для $I = 0,76$. З ймовірністю 0,95 значення I має потрапити в інтервал $(0,77; 0,78)$. Реальний показник ІЛР для України становить 0,734 («Звіт ООН», 2019). Це свідчить про те, що при визначенні реального рівня життя в країні необхідно враховувати диспаритет валют.

1.1.4. Консолідація контрастних ефектів для підвищення об'єктивності вимірників стійкості

Поняття стійкості є складною та достатньо інтуїтивною характеристикою, для визначення якої потрібно консолідувати багато різних чинників. Ці чинники часто визначають контрастні ефекти. Окрім того, результируючий композитний індекс залежить не тільки від величин його складових, але й від способу їх агрегування. Прикладом такого вимірника стійкості є Індекс щасливої планети (Happy Planet Index, HPI), який визначає, що має значення — сталий добробут для всіх. Він дає змогу оцінити зусилля націй, спрямованих на досягнення довгого, щасливого, стійкого життя.

Індекс щасливої планети (HPI) — це показник сталого добробуту. Він порівнює, наскільки ефективно жителі різних країн використовують природні ресурси для досягнення довгого, високого добробуту життя.

Значення HPI наближено розраховують за наступним рівнянням («Happy planet index», 2016):

$$\text{Happy Planet Index} \approx \frac{(\text{Expectancy wellbeing} \times \text{Life expectancy}) \times \text{Inequality of outcomes}}{\text{Ecological footprint}}$$

Для розрахунку оцінок HPI потрібно помножити середню тривалість життя (life expectancy) мешканців окремої країни на значення налагодженого добробуту жителів у цій країні (experienced wellbeing). Отримані результати коригують, щоб врахувати нерівність у розподілі значень налагодженого добробуту та очікуваної тривалості життя серед населення кожної країни (Veenhoven, 1996).

Моделі сталого розвитку

Індекс щасливої планети розраховують для кожної країни шляхом об'єднання наступних вимірників:

- Очікувана тривалість життя — середня кількість років, які, ймовірно, проживе новонароджене немовля в цій країні. Показник народжуваності для окремої країни залишається незмінним протягом життя дитини («UNDP», 2016). Очікувану тривалість життя зазвичай використовують як загальний показник рівня здоров'я в країні.
- Налагоджений добробут, який визначають на основі оцінювання населенням якості свого життя за 10-бальною системою. Цей показник благополуччя зазвичай використовують як вимірник життя людей в цілому («Ecological Footprint», 2016).

Точна формула, що використовується для розрахунку показників НРІ, потребує внесення деяких технічних коригувань, щоб врахувати, той факт, що жодна із компонент не домінує у загальній оцінці НРІ. Крім того, отримання даних, необхідних для розрахунку значень НРІ для кожної країни світу, є складним завданням, оскільки НРІ розраховують для 140 країн.

Нерівність результатів (Inequality of outcomes) — міра того, наскільки нерівномірно розподілені очікувана тривалість життя та налагоджений добробут у конкретній країні. Нерівність результатів вимірювань — це різниця добутку середньої задоволеності життям та середнього налагодженого добробуту, а також результат відхилення задоволеності життям та покращених показників налагодженого добробуту, що можна пояснити нерівністю, вираженою у відсотках. Методи, які використовують для обчислення значення налагодженого добробуту, враховують нерівномірну оцінку окремими людьми життєвих потреб.

Екологічний слід — міра потреб людини у екосистемах планети. Це стандартизований показник, що відображає попит людської популяції на природний капітал, який може навіть перевищувати екологічну спроможність планети до регенерації цього капіталу. Термін «екологічний слід» був введений в обіг у 1992 році канадським професором Вільямом Різом («Матеріали української Вікіпедії», 2017).

Екологічний слід — середня кількість необхідних земель на душу населення, яку підтримують характерні споживчі моделі країни. Вона включає землю, необхідну для забезпечення використання ресурсів відновлюваних джерел (в основному, продукти харчування та деревини), площу, зайняту інфраструктурою, та площу, необхідну для поглинання викидів CO₂. Це міра споживання, а не виробництва.

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

Екологічний слід виражають за допомогою стандартизованих одиниць — глобальних гектарів. Глобальний гектар (gha) — це біологічно продуктивний гектар із середньою світовою продуктивністю у відповідному році.

Для розрахунку НРІ використовують два набори показників. У другий з них входять очікувана тривалість життя, скоригована на нерівність, та скоригований на нерівність налагоджений добробут. Також використовують міру «нерівності результатів», що забезпечує оцінку сукупного впливу цих двох коригувань («Happy planet index», 2016).

Тривалість життя, скоригована на нерівність — це середнє значення тривалості життя населення країни, скоригована з урахуванням нерівності у розподілі очікуваної тривалості життя в межах популяції країни.

Розрахунок Індексу Аткинсона для очікуваної тривалості життя (Atkinson Index for life expectancy)

Методологія передбачає розрахунок міри нерівності — Індекс Аткинсона, заснований на показниках тривалості життя (Atkinson, 1970). Методологія обчислення та параметри рівняння, що використовуються для визначення цього показника, фактично еквівалентні розрахунку різниці між середнім геометричним очікуваної тривалості життя в окремо взятій країні та середнім арифметичним очікуваної тривалості життя (UNDP, 2016):

$$\text{Atkinson Index for life expectancy} = 1 - \frac{\text{Geometric mean of life expectancy}}{\text{Mean life expectancy}}$$

Розрахунок величини очікуваної тривалості життя, скоригованої на нерівність шляхом об'єднання Індексу Аткинсона та середньої очікуваної тривалості життя («Happy Planet Index», 2016):

$$\begin{aligned} & \text{Inequality}_{\text{adjusted}} \text{ life expectancy} = \\ & = (1 - \text{Atkinson Index for life expectancy}) \times \text{Mean life expectancy} \end{aligned}$$

Обчислення налагодженого добробуту, скоригованого на нерівність:

$$\begin{aligned} & \text{Inequality}_{\text{adjusted}} \text{ experienced wellbeing} = \\ & = (1 - \text{Atkinson Index of experienced wellbeing}) \times \text{Mean experienced wellbeing} \end{aligned}$$

Моделі сталого розвитку

Нерівність результатів вимірювання

Щоб дати оцінку сукупному впливу цих двох коригувань, розраховують міру «нерівність результатів»:

$$\text{Inequality of outcomes} = \frac{\text{Inequality}_{\text{adjusted life expectancy}} \times \text{Inequality}_{\text{adjusted experienced wellbeing}}}{\text{Mean life expectancy} \times \text{Mean experienced wellbeing}}.$$

Розрахунок показників Happy Planet Index

$$\text{Happy Planet Index} = \hat{O} \times \frac{(\text{Experienced wellbeing}_{\text{IA}} - \alpha \times \text{Life expectancy}_{\text{IA}}) + \pi}{\text{Ecological Footprint} + \beta},$$

де $\alpha = 0,158$, $\beta = 2,067$, $\pi = 3,951$, $O = 0,452$, IA — скоригований на нерівність.

Зазвичай багаті західні країни вважають стандартом успіху. Однак, вони мають невисокий Індекс щасливої планети. Натомість окремі країни Латинської Америки та регіону Азіатсько-Тихоокеанського регіону лідирують у цьому рейтингу за рахунок високої очікуваної тривалості життя та налагодженого добробуту на тлі значно меншого екологічного сліду, ніж у високо розвинутих країнах («Happy Planet Index», 2016).

Населення переважної більшості розвинених держав використовує більше природного капіталу, ніж генерується на їх власній території. Таким чином, навантаження на навколишнє середовище в розвинутих країнах, більше, аніж в інших. На сьогодні встановлено так звані екологічні межі, які повинні забезпечувати відновлення природних ресурсів після впливу людської діяльності у рамках існуючого способу життя. Вони складають 2,2 га на одного мешканця планети. ООН вираховує екологічний слід людства щорічно (рис. 1.1.6).

Індекс щасливої планети орієнтує на якісне життя без шкоди для планети. Стійкість розвитку країн оцінюють на основі величини очікуваної тривалості життя та налагодженого добробуту людини з врахуванням негативних впливів на екологію. Складові НРІ часто взаємно корелюють і мають суттєво різні розподіли для окремо взятих країн. Тому для його обчислення використовують складні аналітичні вирази.

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

Одним із ефективних методів обчислення Індексу щасливої планети є метод без параметрів для агрегування індексів з контрастними ефектами (Bondarchik et al., 2016). Метод придатний для аналізу будь-якої кількості контрастних індексів, які необхідно об'єднати, і виключає взаємну кореляцію між показниками компонентів за допомогою аналізу подвійного значення декомпозиції (singular value decomposition, SVD).

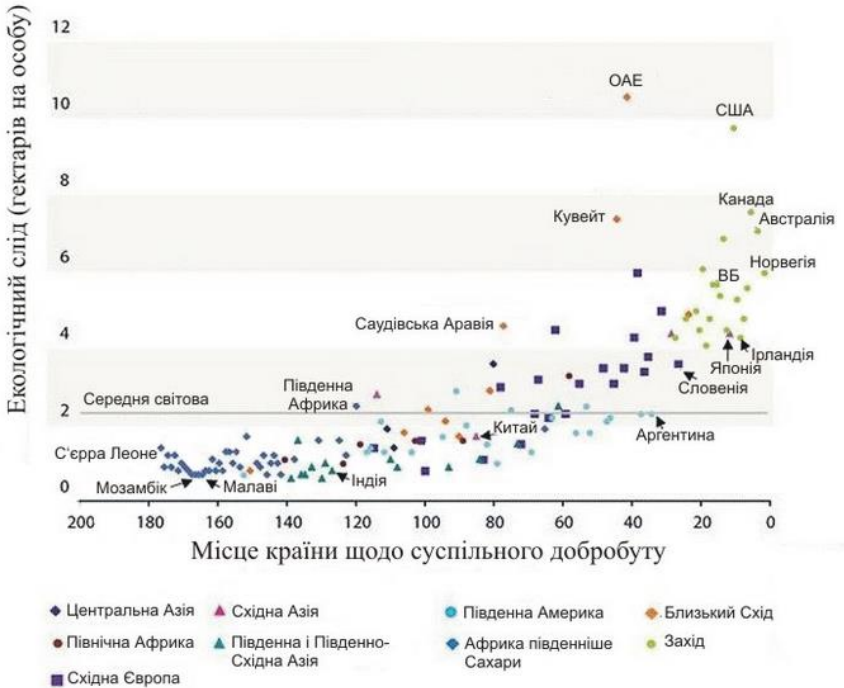


Рис. 1.1.6. Порівняння добробуту людини з екологічним слідом
Джерело: («Happy Planet Index», 2016)

Концепція сталого розвитку швидко розвивалася протягом останніх десятиліть. Той факт, що ми стикаємося з такими антропогенними ефектами, як зміна клімату, виснаження ресурсів та деградація земель, більше не можна ігнорувати. Екологічні питання стають все більш помітними при прийнятті політичних рішень. Багато країн світу вже прийняли план пом'якшення наслідків зміни клімату з акцентом на скорочення викидів парникових газів.

Моделі сталого розвитку

Однак концепція сталого розвитку охоплює ширший спектр людської діяльності. Це екологічний вплив на природні екосистеми, а також на економічну стабільність та соціальну цілісність. Необхідність врахування всіх трьох основних напрямків сталого розвитку призводить до додаткової складності в питанні вимірювання стійкості. Сучасні вчені постійно дискутують необхідність створення нової сфери досліджень, яку називають «стійкість» (Steward et al., 2011; Todorov et al., 2009). Це дає можливість розробити цілісну базу знань для моделювання та вимірювання стійкості.

Незважаючи на зростаючу обізнаність щодо сталого розвитку, ефект стійкості до навколишнього середовища, як частина науки про стійкість, ще не визначений, головним чином через проблеми інтеграції соціально-економічних аспектів через їх складність. Тому на сучасному етапі доцільним є застосування більш формального, математично обґрунтованого підходу для визначення прогресу, пов'язаного із забезпеченням сталого розвитку, при наявності кількох суперечливих цілей. Це дасть можливість отримати більш глибоке розуміння самого процесу та створити міцну, науково обґрунтовану базу для політиків, що приймають рішення.

Математичне моделювання може стати корисним інструментом для кращого розуміння та аналізу процесу сталого розвитку. В даний час математичне моделювання концепцій стійкості акцентує увагу на дослідженні взаємозв'язків між екологічними та соціальними вимірами. Такі моделі зазвичай описують за допомогою диференціальних рівнянь. Ці взаємозв'язки, як правило, ґрунтуються на основних законах балансу в галузі фізичної науки, таких як, наприклад, маса, імпульс або енергія (Singh et al., 2014). Незважаючи на це, існують інші способи розробки моделей для визначення стану та прогресу сталого розвитку. Наприклад, низка зарубіжних вчених (Krajnc et al., 2005; Zhou et al., 2012) розглядали модель для оцінки показників стабільності компаній на основі їх Індексу сталого розвитку. Ідея комплексних показників полягає в об'єднанні багатовимірних індикаторів у єдиний індекс. Однак, такий підхід зазнав критики через суб'єктивний характер складових показників, оскільки вони значною мірою залежать від нормалізації, зважування та методів агрегації.

Ряд авторів (Bondarchik et al., 2016) запропонували інший спосіб обчислення сукупного показника, який би враховував складні питання концепції стійкості, без повної втрати об'єктивності.

Показники стійкості

Сучасні науковці встановили, що використання грошової вартості ВВП як єдиного індикатора прогресу не є виправданим (Green, 2014; Bergheim, 2006). Останнім часом зростає тенденція перенесення уваги до прийняття політичних рішень з різних питань шляхом розробки набору показників та цілей сталого розвитку («UNDP», 2015). Для того, щоб досягти успіху на цьому шляху, важливо розуміти наукові основи такого підходу, а також сенс цього достатньо суб'єктивного питання.

З часів появи концепції стійкості було зроблено кілька спроб кількісно визначити та оцінити стійкість, але рівнопропорційне врахування всіх трьох аспектів сталого розвитку (екологічного, соціального, економічного) все ще залишається складним завданням. Хоча індекси, пов'язані з навколишнім середовищем (такі як викиди CO₂, якість води та біорізноманіття) можуть бути розраховані та змодельовані (Rockström et al., 2009), соціально-економічні фактори є основними перешкодами для розробки показників сталого розвитку через їх суб'єктивну природу. Для того, щоб охопити всі три аспекти сталого розвитку, важливо порівнювати їх всіх між собою, не виділяючи, наприклад, економічну ефективність. Більш того, різна специфіка соціальних та природничих наук ускладнює завдання моделювання.

З технічної точки зору основними проблемами методології оцінки стабільності є відсутність даних, невідповідності в наборах даних у різних галузях, а також необхідність аналізу даних у великих масштабах. Після визнання важливості сталості розвитку було зроблено численні спроби кількісно визначити та оцінити сталість. На даний момент найбільш успішним методом оцінки є оцінка стабільності за допомогою різних індикаторів та показників (Singh et al., 2012).

Кіссінджері та Рейсі (Kissinger et al., 2010), визначаючи показники сталого розвитку (Sustainable Development Indicators, SDI), зробили спробу створити цілісний підхід для вимірювання стійкості за допомогою визначення відповідного значення або ваги для опису зв'язків між екологічними, соціальними та економічними вимірами сталого розвитку. Його представлення можливе у вигляді набору показників або як окремого індексу.

Деякі з найвідоміших SDI (Bondarchik et al., 2016):

- індекс людського розвитку (Human Development Index, HDI);
- індекс щасливої планети (Happy Planet Index, HPI);
- індикатори сталого розвитку (Indicators of Sustainable

Моделі сталого розвитку

Development (United Nations), ISD);

- індекс ефективності довілля/Індекс екологічної стійкості (Environmental Performance Index/Environmental Sustainability Index);
- показник справжнього прогресу (Genuine Progress Indicator);
- зелений ВВП (Green GDP).

Усі показники призначені для вимірювання найважливіших аспектів стабільності, але вони відрізняються за концептуальними визначеннями, методологічними підходами та способами використання. Тому існує потреба у систематизації знань та формалізації їх структури.

Згідно з нещодавно опублікованим звітом World Happiness (Helliwell et al., 2015), дедалі більше місцевих і національних урядів враховують щастя та налагоджений добробут населення при розробці своїх політичних стратегій. Ці суб'єктивні вимірники використовувались для планування протягом багатьох років, оскільки вони спрямовані на пошук оптимальних кінцевих результатів у цілому, а не на концентрацію, що базується лише на економічних цінностях.

Індекс щасливої планети

Індекс «Щасливої планети» (Happy Planet Index, HPI) (Abdallah et al., 2012) — один із найбільш успішних глобальних вимірників для оцінки суб'єктивного поняття сталого благополуччя. HPI дає можливість оцінити, які країни найбільш придатні для довгого, щасливого життя своїх мешканців за умов збереження якісного середовища існування для майбутніх поколінь. Для його обчислення використовують глобальні дані про стале благополуччя, очікувану тривалість життя та екологічний слід. Цей простий агрегований індикатор дає чітке уявлення про те, чи рухається суспільство в правильному напрямку. Він забезпечує життєво важливий інструмент, який гарантує, що основні питання враховуються у важливих політичних рішеннях.

По суті, HPI — це показник ефективності. Його визначають як результат національного добробуту (wellbeing) та очікуваної тривалості життя (life expectancy), представлених кількістю щасливих років життя та досягнутих за одиницю використання ресурсів (екологічний слід — ecological footprint). Більшість існуючих аналогічних показників насправді є складовими індексами, тобто сукупними показниками, які містять кілька субіндексів. Окрім того, HPI має одну корисну властивість — серед його субіндексів можна виділити додатні та від'ємні компоненти:

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

$$\text{HPI} \cong \text{welbeing} \times \text{life expectancy} / \text{Ecological footprint}. \quad (1.1.1)$$

Однак, щоб реально оцінити кінцеві результати, початкові дані були змінені та скориговані чотирма різними константами (α , β , γ , δ). Насамперед, застосовано статистичні коригування, щоб збалансувати ступінь варіації компонентів, тоді як тривалість життя виміряна безпосередньо. У методології обчислення HPI використовується поняття «щасливі роки життя» (Happy Life Years, HLY). HLY розраховують за рівнянням (1.1.2) та коригують отримані значення, щоб отримати результат від 0 до реальної тривалості життя у кожній країні:

$$\text{HLY} = (\text{welbeing} + \alpha) \times \text{life expectancy} / (10 + \alpha). \quad (1.1.2)$$

У свою чергу, екологічний слід також скоригований для того, щоб зробити дисперсію коефіцієнта сумісною з щасливим життям (1.1.3):

$$\text{HPI} = (\text{HLY} - \gamma) / (\text{Ecological footprint} + \beta). \quad (1.1.3)$$

Для коригування остаточного показника HPI в діапазоні від 0 до 100 використовують наступні граничні умови:

- якщо значення налагодженого добробуту складає 0 або очікувана тривалість життя ≤ 25 років, то рівень HPI становить 0;
- якщо значення налагодженого добробуту складає 10, очікувана тривалість життя становить 85 років, а екологічний слід ріwnий 1,78 га/чол., тоді HPI становить 100.

При обчисленні HPI складною проблемою є агрегування його субіндексів. Наприклад, шляхом підбору вільних членів рівняння при розрахунку HPI та обмеженні очікуваної тривалості життя до 25 років можна отримати інший рейтинг для оцінюваних країн. Довільний характер способів маніпулювати результатами дає підстави для критики та втрати довіри, навіть якщо коригування субіндексу ґрунтується на так званих «очевидних припущеннях».

Ряд вчених (Bondarchik et al., 2016) зробили спробу оцінити непрозору міру налагодженого добробуту людей засобами статистичного аналізу. Головна мета полягала у визначенні чутливості результатів до обраного методу та, за можливості, розробка надійного способу поєднання декількох субіндексів таким чином, щоб особи, що приймають рішення, не могли самостійно коригувати параметри рівняння.

Такий підхід дає можливість використовувати відповідні показники, розроблені групою науковців (Abdallah et al., 2012 p.), та різні набори математичних операцій.

Моделі сталого розвитку

Глобальний Індекс миру

Глобальний індекс миру (Global Peace Index, GPI) (ІЕР, 1999) визначає місце країни в рейтингу націй світу відповідно до їх рівня миролюбності. Це спроба виміряти спокій у країнах і регіонах. Індекс миру розроблений Інститутом економіки і миру спільно з міжнародною групою експертів з питань миру та дослідницькими установами на основі даних, зібраних Відділом досліджень Economist (Economist Intelligence Unit) («Матеріали української Вікіпедії», 2017). Цей індекс складається з 23 якісних та кількісних показників, які включають як внутрішні фактори, такі як рівень насильства і злочинності в країні, так і фактори, що характеризують зовнішні відносини між країнами, наприклад, військові витрати і війни. Виходячи з цього, Глобальний індекс світу визначається за допомогою трьох основних ракурсів: рівень безпеки та захищеності в суспільстві, масштаби внутрішніх та міжнародних конфліктів та ступінь милітаризації («ІЕР», 2015).

Подібно до щастя та інших достатньо суб'єктивних вимірників (які, як правило, поєднуються з концепцією соціальної стійкості), мир важко оцінити кількісно. Глобальний індекс миру визначають з точки зору гармонії, досягнутої за рахунок відсутності насильства або страху насильства. При обчисленні цього індексу вводиться поняття «негативний мир» на противагу «позитивному миру», який визначається як ставлення до миру, наявність інститутів та структур, які створюють і підтримують мирні спільноти. GPI визначає рівень «негативного миру» в країні, використовуючи наступні три проєкції миролюбності:

- поточний внутрішній та міжнародний конфлікт: показники кількості та інтенсивності триваючих цивільних і міжнародних війн;
- соціальна безпека та захищеність: показники рівня безпеки і захищеності в країні, такі як сприйняття злочинності в суспільстві, рівень політичної нестабільності, інтенсивність вбивств та жорстоких злочинів.
- милітаризація: показники військового потенціалу країни, як з точки зору економічних ресурсів, які виділяються військовим, так і підтримка багатосторонніх операцій.

Глобальний індекс миру є комбінованим індикатором, доцільність якого може бути поставлена під сумнів, як і Індексу щасливої планети. Однак, у багатьох дослідженнях його розглядають як повний

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

та точний вимірник. Це дає змогу при визначенні місця держави у світовому рейтингу одночасно з рівнем ВВП враховувати і політичну стабільність в країні.

Індекс щасливої планети

Група науковців з технологічного університету Лапсеенранта (Lappeenranta University of Technology) (Bondarchik et al., 2016) запропонували універсальний алгоритм обчислення вимірника, який отримав назву Щасливий індекс для планети (Happier Index for the Planet, НІП). Це сукупний індекс, складовими якого є субіндекси як додатного, так і від'ємного ефекту. Алгоритм використовує ту ж методикою, що й при обчисленні Індексу щасливої планети. Щасливий індекс для планети відрізняється від НІП та багатьох інших складових показників за такими основними характеристиками:

- відсутність в обчислювальних формулах вільних параметрів для корегування, а отже, відсутність будь-якої суб'єктивності у виборі способу агрегування субіндексів; користувач може лише обирати склад субіндексів на власний розсуд;
- над усіма субіндексами виконують однакові перетворення для всіх змінних;
- при виявленні будь-яких кореляцій між субіндексами, прямих чи обернених, відповідні змінні видаляються з аналізу перед агрегуванням;
- кількість субіндексів не впливає на сукупний індекс; це лише мінливість їх інформаційного змісту.

Запропонований метод розрахунку Індексу щасливої планети ґрунтується лише на математично надійному підході, який не передбачає будь-якого втручання користувача у підбір параметрів моделі.

Нормалізація даних

Для обчислення НІП спочатку необхідно вибрати показники для розрахунку індексу (Bondarchik et al., 2016). З математичної точки зору існує два різних типи індикаторів: такі, що мають додатний зміст (наприклад, налагоджений добробут та тривалість життя) і ті, що мають від'ємний сенс (екологічний слід). Оскільки використовується Індекс щасливої планети як орієнтир для перевірки отриманих результатів, потрібно обмежити кількість показників до мінімуму та, в основному, використовувати ті ж, що й при розрахунку НІП. Для врахування економічного аспекту потрібно використати ВВП країн. Крім

Моделі сталого розвитку

того, як показали попередні дослідження, в аналізі необхідно враховувати і Глобальний індикатор миру.

Багато вибраних індикаторів мають суттєво різні статистичні розподіли (середнє значення та стандартне відхилення). Тому перша суттєва різниця між запропонованими дослідженням та оригінальним підрахунком НРІ полягає в тому, що змінні нормалізуються. Це означає, що значення змінних переобчислюються на основі середнього значення та стандартного відхилення.

Нормалізація даних включає наступні етапи:

Зміна кожного значення змінної на одиницю та обчислення його логарифма

$$Y_i = \ln(X_i + 1), i = 1, \dots, 5.$$

Усі вимірювані показники для розрахунку НРІ є додатними. Проте, зміщення на одиницю гарантує, що не потрібно буде обчислювати логарифм нуля або будь-яких значень, дуже близьких до нуля. З іншого боку, операція логарифмування знижує можливі викиди, та забезпечує порівнянність значень показників усіх країн.

Переобчислення всіх змінних, щоб отримати середнє значення, рівне нулю, та стандартне відхилення, рівне 1/3, за формулою:

$$Z_i = \frac{Y_i - \bar{Y}_i}{\sigma_{Y_i}}, i = \overline{1,5},$$

де \bar{Y}_i — середнє значення σ_{Y_i} — стандартне відхилення змінної Y_i .

Збільшення всіх змінних на одиницю проводять через те, що підрахунок Щасливого індексу для планети вимагатиме поділ окремих змінних на дрібніші. Щоб забезпечити доцільність цих простих математичних операцій, потрібно оперувати значеннями змінної в околі одиниці, а не нуля, оскільки більшість початкових показників визначаються в межах від 0 до 1.

Сингулярне значення розкладання

Наступним кроком є застосування однозначного розкладу вартості (singular value decomposition, SVD) для знаходження основних компонент для кожного з розподілів з метою уникнути високого рівня кореляції між показниками. Ці компоненти стануть новими змінними при розрахунку НРІ.

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

За визначенням (Barnett, 1990) для будь-якої матриці $X_{m \times n}$ з рангом r існують матриці $U_{m \times n}$ та $V_{m \times n}$, такі що $X = USV$, де S — діагональна матриця $m \times n$ з сингулярним значенням X , розташованим на його діагоналі (всі інші елементи рівні 0). У той же час U є матрицею сингулярних векторів, а V дає оцінки того, наскільки кожна з головних компонент представляє (пояснює) вихідні змінні.

Після виявлення основних компонент їх набір відсікається відповідними сингулярними значеннями. Можливе відкидання компонент, що відповідають дуже маленьким одиничним значенням. Основні компоненти, які залишились після відсікання, повторно нормалізуються з середнім значенням 1 та стандартним відхиленням $1/3$. Ці значення не є точними вимірними значеннями, а скоріше відносними формами розподілу, які зберігають ключову інформацію для розрахунку індексу. Решту основних компонент відносяться до додатних та від'ємних. Замість множення геометричні середні обох наборів обчислюються окремо, а частка цих двох геометричних середніх визначає значення НІР для кожної досліджуваної країни. Крім того, оскільки SVD застосовується до всіх змінних, одночасно додатних та від'ємних, виявляється, що основні компоненти знаменника та чисельника не корелюють між собою.

Значення тільки двох параметрів, а саме стандартного відхилення $1/3$, яке використовується для нормалізації, і рівня усічення $0,01$, що застосовується до основних компонентів, встановлюються згідно зі стандартними статистичними критеріями. На відповідному рівні усічення ці параметри нівелюють білий шум індексів для нормалізованого нормального розподілу.

Розрахунок Індексу щасливої планети для планети використовує показники, аналогічні до тих, які враховуються при обчисленні НІР, оскільки такі чинники, як екологічний слід, налагоджений добробут та очікувана тривалість життя реально відображають стан стійкості у всіх трьох розглянутих вимірах («Happy planet index», 2016). Проте, вони можуть супроводжуватись однією або двома альтернативними змінними, що доповнюють початкову інформацію. Зазвичай розглядають наступну сукупність показників (Bondarchik et al., 2016):

- благополуччя (Wellbeing, WB);
- очікувана тривалість життя (Life Expectancy, LE);
- екологічний слід (Ecological Footprint, EF);
- валовий внутрішній продукт (Gross Domestic Product, GDP);

Моделі сталого розвитку

- глобальний індекс миру (Global Peace Indicator, GPI).

На рис. 1.1.7 представлено гістограми вибраних показників. Вони відображають частоти кількості країн, що робить їх порівнянними з теоретичними функціями щільності ймовірнісного розподілу.

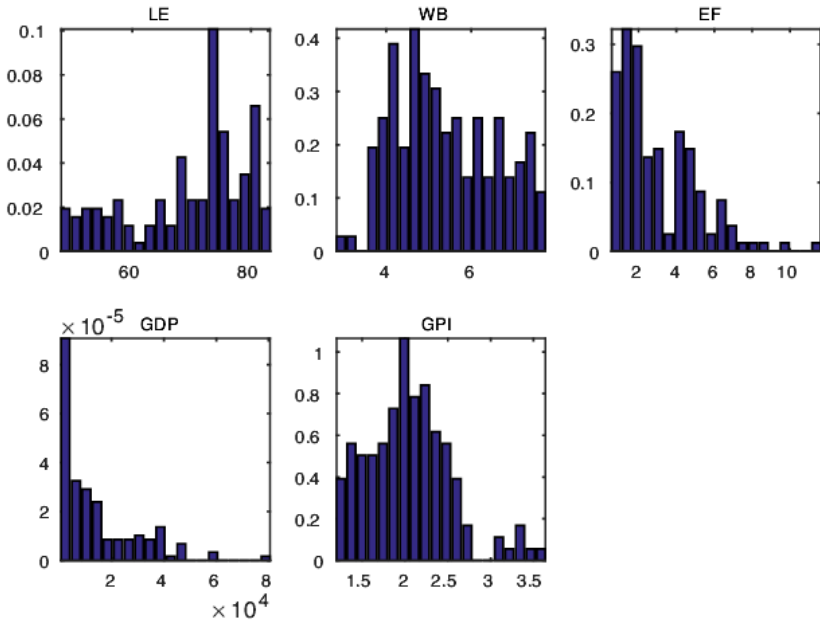


Рис. 1.1.7. Гістограми індикаторів для розрахунку НІР

Джерело: (Bondarchik et al., 2016)

При такому підході розкладання сингулярного значення виконується за допомогою матриці, яка містить нормалізовані векторні стовпчики індикатора. Після того, як основні компоненти ідентифікуються з початкового набору даних, НІР розраховується з рівняння

$$HIP = \frac{\sqrt[k]{\prod_{i=1}^k P_i^+}}{\sqrt[k]{\prod_{i=1}^k P_i^-}},$$

де P_i^+ — основні компоненти, що є показниками з додатними ефектами, P_i^- — основні компоненти, які є чинниками з від'ємним впливом. Вибір компонентів множин P^+ і P^- базується на аналізі матриці V .

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

Після нормалізації індикаторів застосовують SVD для зменшення їх взаємної кореляції та визначення реальної частки інформації, яку зберігає кожен з них у всьому наборі даних. Оскільки НІР розглядається у чотирьох різних комбінаціях, SVD виконується чотири рази на наступних підмножинах всіх показників:

- для HIP_1 : LE, WB, EF (використовуються ті ж базові показники, що й в оригінальному НІР);
- для HIP_2 : LE, WB, EF, GDP;
- для HIP_3 : LE, WB, EF, GPI;
- для HIP_4 : LE, WB, EF, GDP, GPI.

Значення елементів матриці представляються різними кольорами для спрощення інтерпретації: зелений колір вказує на додатний ефект, а червоний колір — на негативний ефект. Стовпці матриці визначають основні компоненти, а рядки — початкові змінні у відповідному порядку. Для розрахунку HIP_3 необхідно знати, які змінні є від’ємними показниками і які — додатними.

Перший стовпець матриці представляє першу основну компоненту. Перші дві оцінки, що відповідають LE і WB відповідно, є від’ємними. Компоненти представляють від’ємний вплив початкових додатних індикаторів. Водночас оцінка негативного ефекту змінної GPI має додатне значення, що підкреслює від’ємний ефект першої основної компоненти. Аналогічно третя основна складова має від’ємний ефект, а четверта — додатна. Друга компонента забезпечує найбільш складну оцінку. З одного боку, якщо підсумувати абсолютні значення додатних та від’ємних ефектів, отримаємо незначну перевагу від’ємних. Однак, оскільки три з чотирьох змінних мають додатні впливи, цю компоненту розглядають як додатну (Bondarchik et al., 2016).

Після визначення значення компонент можна обчислити HIP_3 . Позначимо всі основні компоненти через P_i , $i = 1, 2, 3, 4$. Тоді $\{P_1, P_2\} \in P^+$ і $\{P_1, P_3\} \in P^-$. P_i представляють всі початкові нормалізовані показники, які використовуються для розрахунку HIP_3 . Значення Індексу щасливої планети для планети для випадку LE, WB, EF, GPI розраховується за формулою

$$HIP_3 = \frac{\sqrt{P_1^+ P_2^+}}{\sqrt{P_1^- P_2^-}} = \frac{\sqrt{P_2 P_4}}{\sqrt{P_1 P_3}}.$$

Моделі сталого розвитку

Окрім HIP_3 , обчислимо HIP_1 , HIP_2 та HIP_4 і порівняємо рейтинги країни з оригінальним Індексом щасливої планети. Оскільки одиниці вимірювання окремих компонент HPI та HIP відрізняються, в якості інструмента порівняння використаємо коефіцієнт кореляції Спірмана (Spearman, 1904). У ранговому кореляційному тесті перевіряють нульову гіпотезу $H_0: = 0$ про відсутність суттєвої кореляції між досліджуваними наборами чинників:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)},$$

де d — різниця рангів факторної та результатної ознак для кожної одиниці сукупності, n — розмір вибірки. Для компонент з однаковими одиницями виміру використовують t -статистику (Ковальчук, 2016):

$$t = \rho \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho^2}}.$$

Рейтинги HIP_1 та HIP_2 не співпадають з оригінальним HPI для жодної з 25 кращих країн за рейтингом HPI , хоча класифікація для країн, що займають останні місця в рейтингу, є достатньо порівняною. Загальна кореляція рейтингів між HIP та HPI досягає 52% для індексів, що не враховують ВВП, і лише 40% для індексів, розрахунок яких передбачає використання значення ВВП. Незважаючи на існування значної кореляції між чинниками, є підстави вважати, що цей набір індексів не є повністю репрезентативним, оскільки кореляція спостерігається переважно для багатих, розвинених країн.

Політична стабільність та мілітаризація є дуже важливими з точки зору загальної стійкості. Тому при обчисленні HIP_3 та HIP_4 було враховано Глобальний індекс миру (GPI). Результати свідчать, що коефіцієнт кореляції оригінального HPI з обома HIP_3 та HIP_4 становить приблизно 90% з невеликою перевагою для HIP_3 , що не враховує ВВП. Це можна пояснити тим, що ВВП сильно корелює з тривалістю життя. Отже, ці змінні містять однакову інформацію, що спричиняє надмірну визначеність математичної моделі.

Описаний альтернативний підхід до розрахунку складних показників, в які входять індикатори з контрастними ефектами (на зразок Індексу щасливої планети), є більш надійним для суб'єктивних вимірників сталого благополуччя країни.

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

Аналогічний набір чинників використано для розрахунку Щасливого індексу планети. Отримано нову систему рейтингу стійкості країн з використанням іншого математичного підходу. Включенням Глобального індексу миру як показника політичної стабільності до набору аналізованих змінних можна досягти сильної кореляції з оригінальним рейтингом *HPI*.

Перш за все, це дає можливість вільно включати у розрахункову формулу будь-який набір пояснюючих індикаторів відповідно до того, які аспекти сталого розвитку є найбільш актуальними в конкретному контексті. Підхід є універсальним для будь-якого набору змінних. Описана методика обчислення індексів не є абсолютною мірою стійкою. Однак, часові ряди відносних рейтингів, розраховані за цим методом, можуть бути використані для встановлення надійних стійких тенденцій.

1.1.5. Математичне моделювання соціальних складових сталого розвитку

Питання сталого розвитку стало актуальним у XXI столітті для кожної сучасної людини, а особливо для осіб, які відповідають за прийняття рішень на економічному, політичному, урядовому чи особистому рівні. Стійкість є метою суспільства, заснованого на знаннях.

Математичне моделювання надає ефективні інструменти для виявлення взаємозв'язків між економічними, соціальними та екологічними даними, прогнозування наслідків забруднення навколишнього середовища, вибору оптимальних стратегій дій, оцінки обсягів не використаних ресурсів та поновлюваних джерел. Такі математичні моделі дають можливість створювати бази даних, які можуть бути основою для створення спеціалізованого програмного забезпечення підтримки прийняття раціональних рішень.

Наукові дослідження у галузі стійкості свідчать, що на часі є розробка математичних моделей, які базуються на парадигмі сталого розвитку замість парадигми оптимальності. Це функціональні моделі, призначені для аналізу динамічних систем, продуктивність яких може бути оцінена за допомогою спеціальних методів з високим ступенем узагальнення.

Математична модель, призначена для вивчення питань стійкості, не може мати жорстких обмежень. Вона повинна бути гнучкою, динамічною та регульованою відповідно до нових факторів. Безумовно, непередбачувані та невраховані в моделі чинники не можна ігнорувати, оскільки вони є частиною реального світу, здатного впливати на тенденції розвит-

Моделі сталого розвитку

ку суспільства та його організацію. Жодна модель не може достовірно прогнозувати події, які відбудуться в майбутньому, або передбачити фактори, які можуть виникнути в процесі ідентифікації чинника.

Однак, достовірно встановлено, що стійкість безпосередньо та життєво пов'язана з окремими показниками (надання медичних послуг, охорона праці, інновації, етичні норми тощо). Сталий розвиток не може бути вимірний без цих показників і завжди буде залишатись ідеалом, вимірником прагнень людства створити ідеальне суспільство.

Математичні моделі стійкості є результатом міждисциплінарних досліджень, які виконують постійно та послідовно. Немає загального методу розробки таких моделей, тому вітчизняні та зарубіжні вчені постійно пропонують нові інноваційної моделі та розробляють теоретичні концепції для обґрунтування вибору показників, що визначають рівень сталого розвитку.

Проблематика вимірювання економічних та екологічних показників, за допомогою яких визначають стійкість, постійно дискутується у спеціалізованій літературі та на міжнародних наукових конференціях. Методи вимірювання сталого розвитку достатньо обґрунтовані та широко відомі. Однак, на сьогодні не існує загально прийнятої теорії та повного переліку індикаторів, за допомогою яких можна виміряти стійкість (Kovalchuk at al., 2016).

Вимірювання соціальних показників стійкості

Методика кількісного аналізу соціальної складової сталого розвитку є комплексною та найбільш складною. Для будь-якого підприємства, країни чи регіону значною мірою це питання їхніх наукових знань, консолідованих з різними типами взаємовідносин між індивідом та соціумом (вдячність, емоційність, інтуїтивна зрозумілість, традиція, відчуття безпеки та задоволеності життям тощо).

Сталий розвиток повинен здійснюватися кожним індивідом. Це процес безперервного та постійного вдосконалення, навчання та підготовки. Кожна людина, що живе сьогодні на Землі, повинна зробити внесок у різні аспекти нашого існування для безпеки та процвітання наступних поколінь. Це єдине рішення для забезпечення майбутнього людства. Багато сучасних промислових підприємств у всьому світі підтримують у своїй діяльності політику соціальної відповідальності, спрямовану на дотримання принципів сталого розвитку, що забезпечує їм зростання конкурентоспроможності. Аналіз та контроль різних категорій ризиків,

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

які можуть вплинути на ефективність бізнесу такого підприємства, потрібно проводити з економічної, соціальної та екологічної точок зору.

Кожне промислове підприємство, яке працює відповідно до принципів сталого розвитку, має розробляти довготермінову перспективу своєї діяльності, адекватно оцінюючи ризики. Це буде сприяти підтримці стійкого розвитку та довгострокових вигод, стимулювати як розвиток бізнесу, так і суспільства загалом.

Сьогодні важливим завданням є розробка ефективних математичних моделей сталого розвитку промислових підприємств, який може бути досягнутий лише завдяки тісному співробітництву фахівців з усіх сфер діяльності: економістів, соціологів, фахівців із захисту навколишнього середовища, інженерів, математиків, психологів, лікарів тощо.

У зв'язку з науковим аспектом вимірювання соціальної складової стійкого розвитку та з недосконалістю методів її оцінки ефективність кількісного аналізу стійкості є обмеженою. Окрім того, постійно потрібно враховувати обставини часу та місця, оскільки соціальні стандарти не залишаються незмінними. Застосування обчислювальних методів відкриває нові можливості не лише для кількісного аналізу (вимірювання), але також для моделювання соціальних компонентів стійкості. Особливого значення сьогодні набуло комп'ютерне моделювання процесів прийняття рішень, розв'язання конфліктів за допомогою апарату теорії ігор, побудова сценаріїв розвитку систем на основі моделей теорії катастроф тощо.

Фундаментальною характеристикою соціальних показників є те, що об'єктом пізнання є суб'єкт, тобто носій совісті. Важливою характеристикою соціальної складової є її стохастичний характер як наслідок того факту, що потрібно оцінювати різні дії багатьох людей, використовуючи значну кількість якісних показників, які не підлягають кількісному опису. Соціальна складова характеризується складністю та великою кількістю факторів, які залежать від багатьох об'єктивних та суб'єктивних умов (Oprean et al., 2009).

Основні труднощі, що виникають при розробці технології соціологічного оцінювання, пов'язані з вимірюванням якісних характеристик. Відповідно питання визначення величин соціальних компонентів стійкості передбачає вирішення проблеми вимірювання якісних характеристик та їх представлення у кількісній формі. Вирішення цієї проблеми не обмежується виявленням якісних показників у межах явища, що підлягає вивченню, а швидше потребує оцінювання рівня таких характеристик.

Моделі сталого розвитку

Тому основною проблемою математичного моделювання є правильний вибір якісних показників та їх обробка за допомогою непараметричних методів статистики (зокрема, асоціацій), побудова більш складного апарату соціальної статистики, що розглядає специфіку соціальних явищ, соціальну складову функції сталого розвитку, вдосконалення кореляційного аналізу та факторного аналізу.

Для розробки ефективної моделі сталого розвитку потрібно володіти чіткими та глибокими знаннями про соціально-економічні та екологічні характеристики регіону, де відбувається соціальний процес, що підлягає вивченню. За відсутності такої інформації всі математичні моделі та точна методологія дослідження конкретних явищ будуть неповними.

Стабільність соціальних показників та їх вплив на стійкий розвиток визначає перспективи та обмеження вимірювання соціальної (надалі f_2) та соціально-психологічних складових. Ефективне дослідження означає не лише кількісне вираження величини основних змінних (вимірювання), а й їх стандартизований опис, що передбачає єдине тлумачення (математичний опис) причинно-функціональних зв'язків між елементами досліджуваної соціальної складової (Orgean et al., 2009).

Моделювання соціальних компонентів вимагає вимірювання різних соціальних показників, як якісних, так і кількісних, що визначають взаємозв'язки між ними та консолідують інформацію, яку вони несуть. У більш загальному сенсі моделювання соціальних компонентів f_2 , а також інших складових сталого розвитку означає відображення реальності у вигляді визначених наборів символів, знаків, суджень тощо.

Найважливішою проблемою моделювання є уявлення про існуючі якісні оцінки соціальних явищ. Структуру суспільства, особистості, взаємодію людини з соціумом, соціальні норми тощо теоретично можна описати за допомогою формальної мови. Цей процес проектування дає можливість позбутись низки неоднозначних уявлень про соціальний розвиток, які ще існують у сучасній літературі, та узгодити трактування теоретичних та емпіричних досліджень, створити основу для подальшого поглиблення ключових аспектів вивчення сталого розвитку. Спробою вирішити це питання стала «оптимальна теорія» всіх різних способів використання соціальної складової (Orgean et al., 2009). Суть її полягає в тому, що безліч потенційних станів системи вважаються регульованими за допомогою певної функції — об'єктивної функції системи, яка може визначати її майбутні стани шляхом вирішення відповідних проблем максимуму й мінімуму. При

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

розробці «оптимальної теорії» використано знання з різних спеціальних математичних дисциплін, зокрема теорії управління, теорії корисності, математичного програмування тощо.

Для визначення оптимальних зв'язків витрат, пов'язаних з професійною підготовкою, охороною здоров'я, соціальним захистом, важливо знайти точне математичне вираження показників якості для відповідних процесів та встановити обмеження їх потенційного взаємного впливу.

Процес математичного перетворення соціальної складової вимагає вирішення двох додаткових завдань: виявлення кореляційних залежностей, побудови багатofакторних моделей та дослідження оптимальних критерії діяльності працівників промислових підприємств.

Вивчення соціальних показників за допомогою математичних моделей у даний час стикається з наступними труднощами:

- недостатній розвиток соціологічних досліджень, обмежений масштаб, обмежені проблеми;
- слабкі теоретичні перспективи багатьох соціологічних проблем;
- відсутність необхідної координації зусиль соціологів, економістів, демографів, психологів, математиків, кібернетиків, логіків тощо;
- недостатні знання соціологами математичного апарату;
- брак практичних математичних розробок для застосування в конкретних «соціальних» областях;
- недостатня розробка методів обчислень, спеціально адаптованих до вирішення проблем соціологічного дослідження.

Математична модель сталого розвитку промислових підприємств

Вагомою складовою суспільства XXI століття є бізнес у всіх його проявах. Сучасні підприємства беруть активну участь у всіх сферах суспільного життя та чинять значний вплив на економічний, соціальний та екологічний розвиток. Тому одним із ракурсів дослідження моделей сталого розвитку є моделювання сталого розвитку промислових підприємств (Oprean et al., 2009).

Така модель має наступні компоненти:

- цільова функція, функція мети, функція сталого розвитку промислового підприємства (СРПП);
- змінні (показники, параметри) та їх фактори впливу;
- обмеження, що застосовуються до змінних.

Моделі сталого розвитку

Функція сталого розвитку промислових підприємств може бути пов'язана з такими аспектами:

- є глобальним показником сталого розвитку промислових підприємств, залежить від складових показників (параметрів);
- забезпечує метод оцінювання сталого розвитку промислових підприємств, хронологію еволюції та ефективних результатів;
- надає можливість отримувати прогнози стосовно сталого розвитку, на основі актуальних пріоритетів;
- забезпечує порівняння рівня сталого розвитку декількох підприємств, включаючи такі виміри, як етика та мораль;
- забезпечує математичне вирішення різних задач оптимізації — на економічному та соціальному рівнях, рівні навколишнього середовища (цільових функцій);
- аналіз функції СРПП може бути виконаний за допомогою чисельних методів, що передбачають обчислення відповідних функцій за дискретними табличними значеннями. Наприклад, можна використати лінійну інтерполяцію або інтерполяційні многочлени Лагранжа, Лежандра, Ерміта тощо (Ковальчук, 2016);
- існує мінімаксна математична модель, де виробництво (x_{20}) представлено функцією максимуму, а вторинні ефекти пов'язані з технологічною діяльністю ($x_{n+20}, x_{n+21}, x_{n+22}, \dots, x_{n+m+18}, x_{n+m+19}, x_{n+m+20}, \dots$) представлені мінімальними функціями;
- математична модель застосовується до критеріїв оптимізації (критерії, що використовуються для максимізації прибутку, максимізації споживання відновлюваних ресурсів, мінімізації виробничих витрат та витрат на енергію) або багатofакторної оптимізації (оптимізації Парето); загальне представлення моделі (задачі) для лінійного програмування є (Boncut, 2007):

$$\begin{cases} \min(\max) \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n c_j x_j \leq (\geq) b_i, \quad i = \overline{1, m} \\ x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, m} \end{cases};$$

- операційними методами дослідження можуть бути наступні: детерміновані (лінійне програмування, критичний метод),

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

ймовірнісні (метод очікування потоків, метод оцінки й аналізу Перт) та імітаційні (динамічне моделювання, метод Монте-Карло).

Напрям аналізу сталого розвитку на оптимальне вирішення проблем також спрощує граничні обчислення, що дає можливість визначити максимальні або мінімальні можливі значення.

Ефективність граничних обчислень та їх корисність для аналізу базується на наступних функціональних зв'язках: $Y = f(X)$, $Y = f'(X)$, $Y = f_1(X)$, $Y = f_2(X)$, $Y = f_3(X)$.

З огляду на дуже малі варіації змінної X , можна вважати, що функція Y представлена за допомогою плавних та неперервних кривих ліній. За цих обставин граничне значення Y виражає варіацію (\pm) цієї функції як відповідь на зміну X . Тому граничну величину можна розглядати як абсолютну еластичність функції, яка виражає її чутливість до значення аргументу, обчислену як відношення збільшення ΔY та ΔX .

Для змінних функції (X та Y) визначаються та обчислюються наступні значення (Orgean et al., 2009):

– середнє $Y_m = \frac{Y}{X}$;

– маргінальна вартість для таких випадків:

- кінцевих варіацій $Y_M = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$;

- нескінченно малих варіацій $Y_M = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{dY}{dX}$;

– темп варіації $R_{Y/X} = \frac{\Delta Y/X}{\Delta X}$;

– еластичність $E_{Y/X} = \frac{\Delta Y/Y}{\Delta X/X}$ або $E_{Y/X} = \frac{\Delta Y/Y}{Y/X} = \frac{Y_M}{X_M}$,

де значення $E_{Y/X} (-1 \leq E_{Y/X} \leq 1)$ визначають нижчу або вищу інтенсивність зв'язку.

Функція сталого розвитку промислового підприємства — це функція часу. У свою чергу, це економічний ресурс, оскільки його економія може призвести до збільшення продуктивності та отримання прибутку. Тому час потрібно включити до функції СРПП.

Моделі сталого розвитку

Розрахувавши $f'_{current} = f'$ та за наявності не відновлюваних ресурсів f'_0 можна оцінити, що значення буде близьким до нуля

$$f'_{average} = \frac{\min\{f'_a, f'_0\} + \max\{f'_a, f'_0\}}{2}.$$

Це показник, значення якого відображає ієрархію світових промислових підприємств і може бути використаний для диференціації різних сфер людського розвитку (Vanu, 2009).

Призначення моделі:

- визначення функції сталого розвитку для промислових підприємств на загальному рівні; для більш конкретного підходу ця функція може бути додатково диференційована залежно від країни, регіону, сфери діяльності;
- визначення цільової функції на таких рівнях: економічний, соціальний, екологічний, розподіл мінеральних, екологічних, енергетичних та капітальних ресурсів; вивчення інтеграції до екосфери нових соціально-економічних структур;
- ідентифікація та обчислення показників (параметрів), які входять у формулу обчислення цієї функції, та співвідношень між цими показниками;
- розбиття на складові компоненти відповідно до розміру індикатора;
- виявлення коефіцієнтів складових компонентів (факторів впливу);
- обчислення вище перерахованих показників та компонентів функції сталого розвитку промислового підприємства (економічного, соціального та екологічного);
- виконання граничних обчислень;
- обчислення відсотка показників (регульованих чи ні) у функції СРПП (f_1, f_2, f_3) відповідно до формул:

$$p\% = \frac{x_i}{f'} \text{ або } \frac{x_i}{f_1}, \text{ або } \frac{x_i}{f_2}, \text{ або } \frac{x_i}{f_3} \quad | \quad (\times 10^k).$$

Модель не враховує форс-мажорних обставин (катастрофи, землетруси, пожежі, пандемії тощо), коли значення відповідних показни-

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

ків можуть дорівнювати нулю. Однак, вона може бути адаптована до ситуації економічної кризи, коли окремі показники стають нульовими.

Функцію сталого розвитку промислових підприємств, призначену для оцінки (вимірювання) сталого розвитку, можна визначити наступним чином (Vanu, 2009):

$$f(t) = (f_1(x_1(t), \dots, x_n(t)), f_2(x_{n+1}(t), \dots, x_{n+m}(t)), f_3(x_{n+m}(t), \dots, x_{n+m+p}(t))) =$$
$$= \left(\frac{\sum_{k=1}^n [\pm p_k(t)x_k(t)] 10^{i_k}}{n}, \frac{\sum_{k=1}^m [\pm r_k(t)x_{n+k}(t)] 10^{j_k}}{m}, \frac{\sum_{k=1}^p [\pm q_k(t)x_{n+m+k}(t)] 10^{l_k}}{p} \right),$$
$$f_t = (f_{1t}, f_{2t}, f_{3t}); f'_t = \frac{f_{1t} + f_{2t} + f_{3t}}{3},$$

де t — час, виражений у роках.

Векторна функція включає наступні компоненти (Vanu, 2009):

- цільову функцію на економічному рівні

$$f_1 : \Omega_1 \times \Omega_2 \times \dots \times \Omega_n \rightarrow [0, \infty);$$

- цільову функцію на соціальному рівні

$$f_2 : \Omega_{n+1} \times \Omega_{n+2} \times \dots \times \Omega_{n+m} \rightarrow [0, \infty);$$

- цільову функцію на рівні навколишнього середовища

$$f_3 : \Omega_{n+m+1} \times \Omega_{n+m+2} \times \dots \times \Omega_{n+m+p} \rightarrow [0, \infty).$$

Знання законів визначення функцій (f_{1t}, f_{2t}, f_{3t}) забезпечує розуміння функції сталого розвитку промислового підприємства.

1.1.6. Основні принципи та моделі сталого економічного розвитку

Зацікавленість учених у питаннях економічного розвитку зросла в другій половині ХХ століття, коли очевидним став різкий контраст між розвинутими країнами та країнами третього світу, які були визначені як країни, що розвиваються, або країни з економікою, що розвивається. Контраст у рівні доходу серед країн світу зумовив інтерес вчених до аналізу умов для добробуту нації, а також збереження цих умов протягом максимально можливого періоду часу. Необхідність такого аналізу сприяла розвитку методів математичного моделювання економічного зростання. Першим значимим результатом стала комбінована модель Харрода-Домара (Harrod-Domar Growth Model) — модель економічного росту, що пояснює ріст економіки за умови сталості коефіцієнтів капі-

Моделі сталого розвитку

таломісткості та тренду до збереження у довготерміновому періоді. Комбінована модель була побудована на основі змін основного економічного параметру, який впливає на економічне зростання — рівень інвестицій. З підвищенням розуміння впливу людського капіталу, технологій та добробуту населення на економічне зростання задача оптимального економічного зростання була розроблена у вигляді моделі Солоу (Solow) та Солоу-Свана (Solow-Swan) з функцією Кобба-Дугласа. У цій моделі також враховано зростання технологій та зростання населення. Ці фактори впливають на основний показник економічного зростання — основний капітал на одного працівника, який визначає ефективність праці, що є темпом зростання економіки.

Пізніше з'явилися моделі економічного зростання Ремзі (Ramsey), Брауна (Braun), П. Ромера (P. Romer), моделі технологічних змін, модель Узава-Лукаса (Uzawa-Lucas) для двох секторів економіки, моделі Шумпетера (Schumpeter) ендогенного зростання. За допомогою цих моделей вчені вивчали чинники, що впливають на економічне зростання, серед яких були людський і фізичний капітал, технологічні зміни, дифузія технологій, міграція та зростання населення, забруднення навколишнього середовища. Крім того, американський економіст В. Ростов (W. Rostow) вивчав умови для стійкого зростання в довгостроковій перспективі. Роботи С. Кузнеца (S. Kuznets) стали основою для подальшого розвитку в розумінні стійкого економічного зростання. За його визначенням це процес підвищення продуктивності національної економіки, який повинен перевищувати зростання населення на максимально можливий період часу. Таким чином, зусилля економічної теорії в XX столітті були спрямовані на аналіз умов, які забезпечують довгострокове економічне зростання. Відома концепція стверджує, що економічне зростання полягає в необхідності збереження рівноважного стану економіки за допомогою економічних методів і формується на найдовший можливий період часу (Chistilin, 2010).

Економічне зростання не знайшло свого якісного застосування в економіках країн, що розвиваються, а пізніше, у другій половині 80-90-х років XX століття вони не знайшли застосування і в аналізі економічної поведінки країн з перехідною економікою.

Відомі різні підходи до формування моделей економічного розвитку, зокрема й такі, що враховують структурні зміни в економіці. Наприклад, модель Артура Льюїса (Arthur Lewis) для двосекторної економіки, яка пізніше була розширена і формалізована Ж. Фті (J. Fti)

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

та Г. Ранісом (G. Ranis), модель Г. Ченері (H. Chenery) тощо. Враховуючи досвід країн з розвинутою економікою, ці моделі та теорії, пов'язані з ними, почали використовувати для аналізу економік країн, що розвиваються, країн третього світу.

Крім того, розробка теорії сталого розвитку призвела до формулювання основного твердження, широко визнаного в світі: сталий розвиток — це розвиток, який служить потребам сучасних поколінь і не створює загроз можливості для їх використання майбутніми поколіннями. Відповідно основна категорія стійкості має наступне формулювання: сталість — це використання технічних, наукових, екологічних та економічних соціальних ресурсів для того, щоб отримана система протягом певного часу та у визначеному просторі могла залишатись у рівноважному стані («Brundtland Report», 1987).

Дослідження Дж. Брундтланд (G. Brundtland) призвели до появи категорій «стійкий економічний розвиток» та «сталий розвиток», які виходять із завдань аналізу в умовах оптимального економічного зростання на підставі постулату про необхідність перевищення темпів зростання національного виробництва щодо зростання населення. Проте на сьогоднішній день немає жодної обґрунтованої відповіді на питання, чому ці моделі не дали практичних результатів у країнах з розвинутою та перехідною економіками, які існуючі моделі економічного зростання є непридатними, чому відомі моделі розвитку не спроможні пояснити та передбачити зміни, що відбуваються у багатьох різних економіках світу (Chistilin, 2010).

Системна теорія сталого економічного розвитку

Очевидно, що причина, чому існуючі моделі економічного розвитку є недостатніми для оцінки реальних змін у економічному житті, полягає в підході до розуміння концепції наступних категорій: «розвиток», «сталість» та «сталий розвиток». Існує потреба точного розуміння змісту цих категорій, яке повинно базуватися на адекватному математичному апараті з природничих наук.

Аналіз показує, що моделі економічного зростання, а також моделі розвитку, засновані на такому підході, не функціонують протягом тривалих періодів часу в економіках країн з нестабільною (перехідною) політичною системою. Інститути реалізації стратегій економічної політики, які базуються на застосуванні існуючих моделей економічного

Моделі сталого розвитку

зростання, відсутні. Цей факт викликає невдачу всіх спроб здійснити якісні економічні зміни в суспільстві протягом усіх періодів часу.

Відповідно до підходів Н. Контрацьєва (N. Kontradiev) та Й. Шумпетера (J. Schumpeter) сучасна наукова теорія має велику кількість робіт з дослідження моделей циклічного економічного зростання. Завдяки цим працям можна чітко прослідкувати часові періоди розробки класичних та неокласичних моделей економічного зростання. Такі моделі описують лише один етап циклічного розвитку — рівновагу або етап економічного зростання. Моделі циклічного розвитку не є дієвим інструментом аналізу процесу економічного розвитку.

Загальна теорія систем та теорія інформації забезпечують інші підходи до якісного розуміння явища економічного розвитку. Розробка моделей розглядається як процес накопичення структурної інформації, що підвищує рівень організації системи. Загальна теорія систем трактує розвиток як зміну станів системи протягом тривалого періоду часу. У процесі розвитку системи відбувається зміна структурних та кількісних характеристик. Це відображає еволюцію структури системи, яка адаптує останню до впливу на навколишнє середовище. В економічних системах дія на навколишнє середовище полягає у розвитку населення та обмеженні природних ресурсів. Налаштування системи відбувається за рахунок накопичення структурної інформації, що збільшує стійкість на основі збільшення кількості організаційних систем.

Ідеальна модель економічного розвитку повинна містити параметр, який би характеризував структуру економічної системи в сенсі умов і взаємодії регулювання економічних агентів між собою. Числові рішення цієї моделі повинні відображати еволюцію цієї структури, яка забезпечує стійкість соціальної системи протягом тривалого періоду часу в сенсі її цілісності. Політична структура є структурою соціальної системи.

Таким чином, категорія «стійкість» набуває нового змісту. Теорія стійкості, яка походить ще з праць Пуанкаре (Poincare) та Ляпунова (Ляпунов), як правило, відповідає на два ключових питання: що саме потрібно дослідити для сталого розвитку та стійкість чого саме потрібно дослідити (Chistilin, 2010).

У контексті системно-інформаційного розуміння сталого розвитку соціальної системи можна виділити наступні положення:

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

1. Досліджується процес розвитку соціальної системи для сталого розвитку. Ця система складається з політичних та соціальних підсистем, де політична система є структурною, а економічна система надає кількісні показники для конкретного стану.

2. Стійкість вивчається у сенсі збереження цілісності соціальної системи протягом тривалого періоду часу з урахуванням розвитку населення в умовах обмежених ресурсів.

3. Сталий розвиток соціальної системи — це послідовна, періодична зміна її стану протягом тривалого періоду часу, спрямована на підвищення стійкості системи (у сенсі збереження її цілісності) на основі реструктуризації її відносин — еволюції структурної системи. У математичному сенсі існує більш строге визначення щодо стійкості соціального розвитку, заснованого на доступності невизначеної поведінки в соціальній системі.

4. Стійкий розвиток соціальної системи — це послідовна зміна станів, де всі можливі траєкторії його розвитку використовуються для забезпечення стійких позицій у фазовому просторі. Ця область визначається набором аттракторів, що характеризують обробку системи протягом певного періоду часу. Набір та структура аттракторів визначаються якістю та типом політичної структури.

Сталий розвиток соціальної системи — це зміна економічного середовища, де розв'язок системи нелінійних диференціальних рівнянь, що описують цю зміну, є стійким до впливу керування параметром.

Самоорганізація соціальних систем в контексті сталого розвитку

Як відомо, концепція самоорганізації запозичена суспільними науками з фізики, після висвітлення явища хаос у роботах Г. Хакена (G. Haken), І. Пригожина (I. Prigogine) та інших учених.

У природничих науках самоорганізація включає самостійне ускладнення структури в умовах сильної нестабільності навколишнього середовища з метою збереження її стійкості до впливу факторів навколишнього середовища. Селекція організмів властива об'єктам як неживої, так і живої природи.

У випадку соціальних систем самоорганізація має кілька рівнів.

Перший рівень (мікрорівень) — рівень, на якому економічні агенти конкурують між собою за обмежені ресурси та багатства, що призводить до оптимізації їх розподілу на ринку.

Моделі сталого розвитку

Другий рівень (макрорівень) — рівень, на якому правила економічної гри серед агентів щодо розподілу ресурсів та багатства на основі політичних підсистем як оптимальної макроекономічної політики формуються незалежно. Він підтримує оптимальний розподіл ресурсів та багатства серед економічних агентів протягом тривалого періоду часу.

Третій рівень (метарівень) — рівень, на якому політична структура та інститути соціальної системи реструктуруються самостійно. Такий процес можна спостерігати в країнах з перехідною економікою. Його називають процесом трансформації.

Перші два механізми самоорганізації реалізуються в межах стійкого функціонування системи. Третій механізм виникає тоді, коли цілісність системи знаходиться під загрозою перевищення її граничних значень.

Таким чином, постійна оптимізація розподілу ресурсів та багатства між системними агентами є основою для підтримки її цілісності протягом тривалого періоду часу. Вона реалізується через незалежні дії агентів економічної системи, які ґрунтуються на нормах, встановлених у політичній структурі, тобто через розробку та реалізацію макроекономічної політики (Chistilin, 2004).

Співвідношення між самоорганізацією та розвитком соціальної системи

Процес формування та впровадження оптимальної макроекономічної політики, а також його гнучке коригування у випадку неточності є процесом накопичення структурної інформації протягом тривалого періоду часу. Це пов'язано з тим, що системи, засновані на зворотному зв'язку, закладеному в політичній структурі, отримують інформацію про поточний стан системи, що сприяє виробленню управлінських рішень за допомогою макроекономічної політики.

Доведено очевидний факт існування взаємозв'язку між самоорганізацією та розвитком соціальної системи, а також зв'язку між рівнем самоорганізації та стійкості системи в сенсі її спроможності оптимізувати макроекономічну політику та реагувати на економічні та соціальні деструктивні зміни.

Самоорганізація є механізмом розвитку соціальної системи, де якість політичної структури визначає можливості соціальної системи щодо сталого розвитку у сенсі безконфліктного переходу від кризи до економічного зростання.

Принципи самоорганізації та сталого розвитку

Існує два закони, які відіграють визначальну роль для сталого розвитку, спрямовані на збереження цілісності системи в умовах зростання населення.

Принципи мінімального розсіювання системних ресурсів полягають у тому, що кожний наступний стан системи втрачає менше ресурсів, ніж попередній. В економічному сенсі в кожному наступному стані ресурси виділяються більш оптимально, ніж у попередньому. Досягнення економічного ефекту компенсується збільшенням впливу на навколишнє середовище.

Принцип мінімізації витрат або розсіювання, тобто оптимізація розподілу ресурсів для виробництва та розподілу товарів споживання, природно, зменшує розподіл ресурсів. Інакше кажучи спостерігається обернена кореляція між процесом оптимізації або реалізації принципу мінімізації розсіювання та розподілом ресурсів — виробничої потужності (Y). Сила протидії F , яка розсіює системні ресурси (принцип мінімізації розподілу ресурсів), протидіє економічному зростанню чи швидкості випуску продукції Y' з коефіцієнтом K_S . Цей коефіцієнт відображає структурні властивості системи — її інститути (політичну систему) для проведення дієвих заходів щодо оптимізації розподілу ресурсів для виробництва товарів споживання, а також швидкість реакції політичної системи на несприятливі економічні зміни. Реакція політичної системи полягає у коригуванні структури поточної макроекономічної політики та зміні її напрямку у випадку неможливості використання безконфліктного способу через заміну партії влади опозицією.

Іншими словами, це сила, яка відображає цінність самоорганізації соціальної системи S :

$$S = -\frac{Y'}{K_S},$$

де S — кількісний вимірник самоорганізації, Y' — економічне зростання, K_S — структурний коефіцієнт, що відображає корисність структури політичної системи, а також вироблення економічного ефекту при оптимізації розподілу ресурсів для виробництва товарів для споживання.

Знак « \leftarrow » означає протидію дії сили, що компенсує розсіювання (Chistilin, 2006).

Моделі сталого розвитку

Закон збереження економічного потенціалу системи

Економічний потенціал — здатність системи виробляти економічний ефект.

Соціальна система, трансформована з однієї системи в іншу в процесі соціально-економічного розвитку зберігає економічний потенціал незмінним. Це означає, що якщо в процесі економічного зростання соціальна система переходить з одного стану в інший, вона зберігає здатність генерувати економічні ефекти, необхідні та достатні для підтримки стійкості системи з точки зору збереження її цілісності.

Економічний потенціал соціальної системи — це здатність виконувати дії, такі як отримання економічного ефекту. Ця здатність виробляється системою, яка переходить з одного стану в інший, що забезпечує цілісність системи або стійкість процесу економічного розвитку.

Економічний потенціал — це потенційна здатність економічної системи виконувати дії, а також виробляти економічний ефект при переході з одного стану до іншого в процесі економічного розвитку, необхідного та достатнього для забезпечення цілісності системи або сталого розвитку в умовах збільшення чисельності населення і дефіциту обмежених ресурсів:

$$P_{(E_1)} = P_{(E_2)} = const.$$

Математична формалізація сталого розвитку

Економічний ефект вказує на ефективність або стійкість розвитку та може бути сформульований таким чином:

$$\frac{Y''}{L''} \geq 1,$$

де Y'' — темпи економічного зростання системи;

L'' — швидкість приросту населення.

Потенціал створення економічного ефекту полягає у здатності підтримувати продуктивність (ефективність) системи, при якій має бути реалізована умова

$$\frac{Y''}{L''} \geq 1 = const.$$

Цей стан також характеризує сталий розвиток.

Економічна ефективність як динамічна характеристика розвитку — це стійке (постійне) перевищення темпів зростання ВВП порів-

няно з темпами зростання населення в соціальній системі. Відповідно, підтримка стійкості системи означає збереження свого потенціалу для створення економічного ефекту

$$\frac{Y''}{L''} \geq 1 = const.$$

Сталий розвиток економіки: системний підхід

Д. Чістілін (Chistilin, 2006) сформулював концепцію розвитку та самоорганізації соціальної системи і створив відповідну модель, яка відображає основні характеристики самої системи та її розвитку.

Розвиток системи розглядається як процес зміни її станів. Кожному стану системи відповідають структурні та кількісні характеристики і конкретний інтервал часу, протягом якого структура зберігає свою цілісність. В основі лежить ідея процесу розвитку. Процес розглядається як накопичення структурної інформації на основі механізму самоорганізації як результат протидії двох протилежних тенденцій — організації та дезорганізації. Визначені структурні та кількісні характеристики дають можливість визначити стани системи економіки в процесі його розвитку. Структурна характеристика для кожного стану — це політична структура системи. Швидкість зростання ВВП вважається кількісною характеристикою.

Кожний стан системи відповідає окремому циклу розвитку. Кожен цикл об'єднує конфліктну та неконфліктну фази розвитку. Фаза конфлікту реалізується через біфуркаційний механізм розвитку та низькі темпи зростання ВВП. Неконфліктна фаза реалізується через адаптаційний механізм розвитку та нерівномірне зростання ВВП. Кожна фаза циклу відповідає визначеному періоду розвитку, які змінюють один одного, як механізми розвитку.

Стійкий розвиток розглядається як зміна станів системи, що зберігають її цілісність і підтримують її в межах стабільності протягом тривалого періоду часу. Це відбувається на основі формування нової структури системи з адаптацією до дії на навколишнє середовище: зростання населення та обмежені ресурси. Вищенаведені конфліктні тенденції є зовнішньою демонстрацією дії.

Формалізація розвитку системи

Економічна система розглядається як економічне середовище, де економічні агенти та їх групові організації є звичайними агентами. Ко-

Моделі сталого розвитку

жен агент має ті самі властивості, що й система: може бути відкритим, нерівноважним, дисипативним, самоорганізованим. Також може мати мету — підтримка цілісності через основну функцію (розвиток). Розвиток обумовлений протилежними процесами — процесом виробництва та процесом споживання і здійснюється за допомогою двох типів механізмів розвитку: біфуркаційного механізму та механізму адаптації.

Спостерігається фрактальна симетрія всіх загальних властивостей, починаючи від глобальної системи до звичайного індивідуального агента. Розвиток, головна функція системи, розглядається як рух економічного середовища. Виходячи з припущення про збереження граничних меж стійкості системи, вирішується завдання сталої зміни навколишнього середовища та сталого розвитку системи в контексті збереження її основних властивостей та характеристик.

На першому етапі вивчаються поведінка та властивості абстрактної нелінійної динамічної системи на основі зменшення та фрактальної симетрії основних властивостей. На другому етапі моделюється та досліджується специфіка поведінки економічної системи (Chistilin, 2010).

Основне рівняння розвитку економіки

Розглянемо математичну модель нелінійної динамічної системи (Chulichkov, 2003) з такими властивостями:

- фазові змінні — звичайні агенти, які мають властивість розпошувати ресурси у формі виробництва та споживання, виражені виробництвом продукції Y , та властивість оптимізації ресурсів для виробництва і споживання товарів, виражена величиною самоорганізації S та її індексом K_S (структурний коефіцієнт самоорганізації);
- простір, до якого вони належать (фазовий простір або економічне середовище);
- основною функцією є розвиток, виражений в економічному середовищі; звичайні агенти системи можуть бути описані двома фазними змінними (Y , K_S) відповідного фазового економічного простору, до якого вони належать:

$$F = F(Y, K_S, t),$$

де Y — якісні характеристики розвитку, параметр, що характеризує спроможність системи (здатність виробляти економічну ефективність та дисипативність); K_S — коефіцієнт самоорганізації (структурні харак-

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

теристики, параметр, який відображає економічну корисність структури системи та характеризує мінімізацію дисипації (розсіювання) або здатність оптимізувати розподіл ресурсів для виробництва та товарів для споживання); t — час.

Розвиток системи глобального соціуму описується у вигляді рівняння екологічного розвитку типу рівняння П. Бургера (P. Burger):

$$\frac{dY'}{dt} + Y' \frac{dY'}{dL_Q} = K_S \frac{d^2 Y'}{dL_Q^2},$$

де t — інтервал часу, протягом якого досліджується система;

Y — вироблена продукція за досліджуваній часовий період (оцінюється у ВВП);

$Y' = \frac{dY}{dt}$ — швидкість випуску продукції або економічне зростання

протягом аналізованого інтервалу часу;

$Y'' = \frac{d^2 Y}{dt^2}$ — темпи економічного зростання системи протягом

аналізованого інтервалу часу;

$L_Q = LK_N$ — кваліфікована робоча сила або зростання чисельності населення протягом аналізованого інтервалу часу з урахуванням кваліфікації, де

L — кількість населення у період дослідження;

L' — швидкість зростання населення в аналізований період;

L'' — швидкість приросту населення в аналізований період;

N — кількість населення з вищою освітою у період дослідження;

K_N — коефіцієнт кваліфікованої праці у соціальній системі. Він характеризує зростання структурної інформації, що виражається новими знаннями. Створення нових знань — це інтелектуальна праця населення з вищою освітою, яка виражається зростанням населення з вищою освітою N . Отже,

$$K_N = \frac{dN}{dt} = N'.$$

Якість розсіювання ресурсів виражається виробничою функцією

$$Y = F(k, L),$$

Моделі сталого розвитку

де k — капітал, L — трудовий ресурс. Під час тривалих інтервалів часу $t \rightarrow \infty$, $k \rightarrow 0$.

Функція для тривалого інтервалу часу має вигляд

$$Y = F(L, t).$$

Властивість оптимізації розподілу ресурсів для виробництва виражається функцією самоорганізації

$$S = F(I, t),$$

де I — вироблена інформація, $I = F(N)$;

t — час створення та введення інформації в систему. Інформація — це функція інтелектуальної діяльності людей з вищою освітою, яка визначається N .

Таким чином, $S = F(N, t)$ описується рівнянням $S = F(Y', K_S)$.

Кількісна оцінка самоорганізації $S = Y'/K_S$ є протидією F як для розсіювання системних ресурсів (принцип мінімізації розподілу ресурсів), так і для економічного зростання чи швидкості випуску продукції Y' з коефіцієнтом $K_S = S/Y'$, який відображає структурні якості системи (інститути політичної системи) для вироблення ефективних рішень щодо оптимізації розподілу ресурсів для виробництва споживчих товарів, а також швидкості реакції політичної системи на несприятливі економічні зміни у вигляді коригування структури поточної макроекономічної політики та зміни її напрямку у випадку помилкової неконфліктної ситуації. Іншими словами, ця оцінка відображає цінність самоорганізації соціальної системи S (Chulichkov., 2010).

Аналіз рівняння

Основу рівняння складає гіпотеза Н. Кондратьєва (Kondratiev, 1989), яка стверджує, що кумулятивне накопичення трьох компонентів соціальної системи лежить в основі процесу розвитку (тенденції):

- зростання населення L ;
- накопичення капіталу k ,

разом вони складають виробничу функцію $Y = F(k, L)$;

- науково-технічний прогрес.

У нашому випадку протягом тривалості інтервалу $k \rightarrow 0$ науково-технічний прогрес описується величиною накопиченням нових значень (інформації) або функцією збільшення людей з вищою освітою $I = F(N, t)$. Таким чином, рівняння відображає конвективний

Розділ 1. Моделювання економічних вимірів

перенос основних властивостей середовища в просторі на основі зростання населення з урахуванням накопичення нових знань (інформації), що впливають на збільшення продуктивності або розсіювання системних ресурсів:

$$\frac{dY'}{dt} + \frac{dL_Q}{dt} \frac{dY'}{dL_Q}.$$

Рівняння містить нелінійну складову $Y' \frac{dY'}{dL_Q}$, оскільки кваліфікація

роботи звичайного агента є чинником, що породжує нелінійність, яка впливає з рівності $Y' = Y'(L_Q)$. Нелінійність системи відображає накопичення структурної інформації в часі, а також залежність між швидкістю випуску продукції та зміною кваліфікації населення разом із зміною його кількості. Цей термін відображає вплив накопичення структурної інформації на швидкість випуску продукції (Malinetskiy, 2002).

У рівняння входить вираз $K_S \frac{d^2 Y'}{dL_Q^2}$, що відображає здатність системи протистояти розподілу ресурсів або реалізувати принцип мінімального розсіювання системних ресурсів, тобто оптимізувати їх розподіл на основі поточної структури.

Ліва частина рівняння відображає дисипативний процес — темпи витрат ресурсів у часі з врахуванням зростання кваліфікації праці K_N . Права частина описує компенсаційний процес — оптимізацію ресурсів для виробництва та споживання товарів K_S . Загалом рівняння виражає закон збереження потенціалу виробництва економічного ефекту: темпи розсіювання неврегульованих системних ресурсів протягом тривалого періоду часу компенсуються їх оптимізацією на основі впровадження принципу мінімального розсіювання. Це забезпечує його цілісність та реалізацію цільової функції — підтримку гомеостазу (відносної сталості структури та властивостей). Зниження рівня формування економічного ефекту в лівій частині рівняння на основі зменшення співвідношення випуску продукції до темпу зростання населення компенсується шляхом створення економічного ефекту за рахунок підвищення рівня організації системи у правій частині рівняння. Це пояснює циклічне (періодичне) обмеження системи на тривалій проміжок часу та хвиловий характер економічних циклів.

Моделі сталого розвитку

Рівняння описує еволюцію структури. Накопичена інформація $K_N \frac{dN}{dt}$, що збільшує швидкість розподілу ресурсів, компенсується її введенням у систему — структуруванням. У правій частині рівняння описано структурування інформації (зміна K_S) та підвищення рівня організації системи. У результаті дії політичної системи інформація стає структурованою у формі прийнятих законів. Зміна K_S від 0 до 1 відображає накопичення структурної інформації, ускладнення або еволюцію структури системи протягом тривалого інтервалу часу.

Рівняння описує еволюцію структури, яка дає можливість робити прогноз майбутнього стану системи. Фундаментальний розв'язок цього рівняння буде розв'язком хвильового рівняння внаслідок конкуренції між двома протилежними тенденціями: розсіюванням і загасанням (мінімальним розсіюванням). Рівняння формально описує хвильовий характер економічних циклів (Chulichkov, 2010).

Модель розвитку системи економіки

Модель описується наступним чином:

$$\frac{dY'}{dt} + \frac{dL_Q}{dt} \frac{dY'}{dL_Q} = K_S \frac{d^2Y}{dL_Q^2}.$$

Стан стійкості $\frac{Y''}{L''} \geq 1$.

Параметр системи управління — економічна ефективність E_Y . Рівняння досліджується шляхом стійкості рішень залежно від значення параметра керування. Потрібно визначити, яке значення параметра керування забезпечить стабільність розв'язку рівняння та який геометричний вигляд отриманих розв'язків рівняння буде відповідати стабільним станам. Для отримання чисельного результату будують комп'ютерну модель та проводять числовий експеримент.

Грунтовний аналіз основних вимірів сталого розвитку та методології розробки показників стійкості, які є науковими конструкціями, що надають інформацію для ефективного проведення державної політики, дає підстави зробити висновки, що корисність різних індикаторів сталого розвитку з точки зору математичного моделювання залежить від обраних компромісів між науковою стійкістю та жорсткістю, політичною ефективністю та демократичною легітимністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Розділ 1

1.1

1. Гринів, Л. С. (2001). Екологічно збалансована економіка: проблеми теорії. Монографія. Львів: ЛНУ ім. І.Франка.
2. Ковальчук, О. Я. Математичне моделювання та прогнозування міжнародних відносин. Тернопіль: Екон. думка. 2016, 423 с.
3. Ковальчук, О. Я. (2019). Математичне моделювання та прогнозування міжнародних відносин. Тернопіль: Екон. думка.
4. Ляшенко, О. М. & Ковальчук О. Я. Прогнозна модель світового людського розвитку: економетричний підхід. Український журнал прикладної економіки, 2016, 1(2), 73-85.
5. Панкратова, Н. Д. (2011). Розробка платформи сценарного аналізу в межах сталого розвитку (2323-п). : Київ: НТУУ «КПІ».
6. Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; НТУУ «КПІ»; ННК «ПСА» НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. (2015). Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти. Київ: НТУУ «КПІ».
7. Шевчук, В. Я. (2006). Макроекономічні проблеми сталого розвитку. Київ: Геопринт.
8. Abdallah, S., Michaelson, J., Shah, S., Stoll, L. & Marks, N. (2012). The Happy Planet Index: 2012 Report. A Global Index of Sustainable Well-Being. London: The New Economics Foundation.
9. Atkinson, A. (1970). *Journal of Economic Theory*, 2(3), 244-263.
10. Barnett, S. (1990). In *Matrices: Methods and Applications*. R. Churchouse, W. MacColl, & A. Tayler (Eds.), Singular value and polar decompositions (pp. 218-225). New York: Oxford University Press Inc.

Список використаних джерел

11. Barry, B. (1999). In *Fairness and Futurity: Essays on Environmental Sustainability and Social Justice*. A. Dobson (Ed.), Sustainability and intergenerational justice (p. 93-117). Oxford: Oxford University Press.
12. Boncut, M. (2007). *Cercetări operationale*. Note de curs și seminar. Sibiu: ULBS.
13. Bondarchik, J., Jabłońska-Sabuka, M., Linnanen, L. & Kauranne, T. (2016). Improving the objectivity of sustainability indices by a novel approach for combining contrasting effects: Happy Planet Index revisited. *Ecological Indicators*, 69, 400-406.
14. Bossel, H. (1999). *Indicators for sustainable development: theory, method, applications*. Winnipeg : International Institute for Sustainable Development.
15. Boulanger, P.-M. (2008). Sustainable development indicators: a scientific challenge, a democratic issue. *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, 1(1).
16. Bouyssou, D. P. et al. (2000). *Evaluation and Decision Models. A Critical Perspective*. Boston/London/Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
17. Bucur, A. (2008). *Matematici aplicate in biologie și ecologie*. Sibiu: ULBS.
18. Butlin, J. (1987). *Our common future*. By World commission on environment and development. *Journal of International Development*, 1(2). London: Oxford University Press.
19. Chambers, N., Simmons, C. & Wakernagel, M. (2000). *Sharing Nature's interest: Ecological Footprint as an Indicator of Sustainability*. London: Earthscan.
20. Cherchye, L. & Kuosmanen, T. (2006). In *Understanding Human Well-Being*. M. McGillivray & M. Clarke (Ed.), *Benchmarking sustainable development: A synthetic meta-index approach* (p. 139-169). New-York, Paris, Tokyo: United Nations University Press.

Моделі сталого розвитку

21. Chistilin, D. (2010). Sustainable Economic Development: The Main Principles and the Basic Equation. *Romania Journal of Economics*, 30(1), 95-109.
22. Chulichkov, A. I. (2003). *Mathematical Models of Non-linear Dynamics*. M.: Physmatlit.
23. Daly, H. & Cobb, Jr (1990). *For the Common Good*, Green Print. London: Merlin Press.
24. IEP. (2015). *Global Peace Index: Measuring Peace, Its Causes and Its Economic Value*. Institute for Economics and Peace, S. 1.
25. Gadrey, J. & Jany-Catrice, F. (2003). *Les indicateurs de richesse et de developpement, Un bilan international en vue d'une initiative francaise*. Paris: DARES.
26. Green, M. (2014). *What the Social Progress Index Can Reveal About Your Country*. TEDGlobal. Rio de Janeiro.
27. Hamilton, K. & Clemens, M. (1999). Genuine saving rates in developing countries. *The World Bank Economic Review*, 13(2), 333–356.
28. Helliwell, J., Layard, R. & Sachs, J. (2015). *Sustainable Development Solutions Network. World Happiness Report 2015*. New York.
29. Holland, A. (1999). In *Fairness and Futurity: Essays on Environmental Sustainability and Social Justice*. A. Dobson (Ed.), *Sustainability: should we start from here?*, (p. 46-68). Oxford: Oxford University Press.
30. Jackson, T. (2004). *Chasing Progress: Beyond Measuring economic growth*. London: New Economics Foundation.
31. Kissinger, M. & Rees, W. (2010). An interregional ecological approach for modeling sustainability in a globalizing world — reviewing existing approaches and emerging directions. *Ecological Modelling*, 221(21), 2615-2623.
32. Kovalchuk, O. & Masonkova, M. (2016). Analysis of sustainable development of EU-28 countries in key dimensions, *International*

- scientific conference «Economy and society: modern foundation for human development», October. Leipzig, Germany: Baltija Publishing.
33. Krajnc, D. & Glavic, P. (2005). How to compare companies on relevant dimensions of sustainability. *Ecol. Econ.*, 55, 551-563.
34. Kondratiev, N. (1989). The fundamental problems of the economic static and dynamic. *Economika*. Moscow: Scientific Library.
35. Lazarsfeld, P. (1958). Evidence and inference in social research. *Daedalus*, 87(4), 99-109.
36. Lutz, W. & KC, S. (2011). Global Human Capital: Integrating Education and Population. *Science*, 333 (6042), 587-592.
37. Malinetskiy, G. G. & Potapov, A. B. (2002). Modern Problems of Non-linear Dynamics, First International Conference, Complex 2009. Shanghai, China: Springer.
38. Oprean, M, Vanu, A. & Bucur, A. (2009). Sustainable Development Modeling. *Manag. Sustain. Dev.*, 1, 10-18.
39. Osberg, L. & Sharpe, A. (2002). An index of economic wellbeing. *The Journal of Social Health*, 1(2), Spring, 24-62.
40. Perret, B. (2002). Indicateurs sociaux, Etat des lieux et perspectives, *Les Papiers du CERC* (2002). Conseil de l'emploi, des revenus et de la cohesion sociale. Paris.
41. Prescott-Allen, R. (2001). *The Wellbeing of Nations: A Country-by-Country Index of Quality of Life and the Environment*. Washington D.C: Island Press.
42. Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F., Lambin, E. ... Foley, J. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475.
43. Saith, R. (2001). Capabilities: the concept and its operationalisation. *QEH Working Paper* (66), Oxford: Queen Elizabeth House.
44. Singh, R. K., Murty, H.R., Gupta, S.K. & Dikshit, A. K. (2012). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecol. Indic.*, 15, 281-299.

Моделі сталого розвитку

45. Singh, R. (2014). In *Environment and Sustainable Development*. M. Fulekar, B. Pathak & R. Kale (Eds.), *Mathematical models in sustainable development* (pp. 185-193). New Delhi: Springer India.
46. Sen, A.(1999). *Development as Freedom*. Oxford: Oxford University Press.
47. Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *Am. J. Psychol.* 15, 72-101.
48. Steward, W. & Kuska, S. (2011). *Sustainometrics: Measuring Sustainability Design, Planning, and Public Administration for Sustainable Living*. Norcross: Greenway Communications.
49. Talberth, J., Cobb, C. & Slattery, N. (2006). *The genuine progress indicator 2006: A tool for sustainable development, Redefining Progress*. Oakland, California.
50. Veenhoven, R. (1996) *Happy Life Expectancy: A comprehensive measure of quality-of-life in nations*. *Social Indicators Research*, 39:1-59. concept
51. Todorov, V. & Marinova, D. (2009). *Sustainometrics: measuring sustainability*. In *Matrices: Methods and Applications*. R. Anderssen, R. Braddock, & L. Newham (Eds.), *Sustainometrics: measuring sustainability* (pp. 1223-1229), MODSIM 2009 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand (MSSANZ). Cairns: QLD.
52. Zhou, L., Tokos, H., Krajnc, D. & Yang, Y. (2012). *Sustainability performance evaluation in industry by composite sustainability index*. *Clean Technol. Environ. Policy*, 14, 789-803.
53. Vanu, A. M. (2009). *Sustainable development modeling*. (Teză de doctorat). Universitatea Lucian Blaga, Sibiu.
54. Глобальний сайт ООН. (2017). Відновлено з <http://hdr.undp.org>
55. Звіт ООН з розвитку людського потенціалу (2016). Відновлено з <http://infolith.org.ua>
56. Матеріали української Вікіпедії. Відновлено з <http://uk.wikipedia.org>

Список використаних джерел

57. Anand, S. (1994). Human development Index: Methodology and Measurement. Retrieved from Econpapers.repec.org.
58. Bergheim, S. (2006). Deutsche Bank Research: Measures of Well-Being. Retrieved from <https://www.dbresearch.com>
59. Boulanger, P.-M., Pierre-Yves, T., Jo van Assche & Bart De Ridder. (2003). Mesurer le developpement durable en Belgique: quels roles pour les processus participatifs? Technical report, IDD-CDO, Avril, Rapport au Conseil federal du developpement durable. Retrieved from <http://www.iddweb.be>
60. (2003). Mesurer le developpement durable en Belgique: quels roles pour les processus participatifs? Technical report, IDD-CDO, Avril, Rapport au Conseil federal du developpement durable. Retrieved from <http://www.iddweb.be>
61. Brundtland Report: Our common future (1987). Retrieved from <http://www.dac.dk/en/dac-cities/sustainable-cities/historic-milestones/1987-brundtland-report-our-common-future>
62. Ecological Footprint. Data and Methodology (2016). Retrieved from <http://www.footprintnetwork.org>
63. IEP. (1999). Vision of Humanity. Retrieved from www.visionofhumanity.org
64. Happy Planet Index (2016). Methods Paper. Retrieved from <https://static1.squarespace.com/static>
65. Human Development Reports (2016). United Nations Development Programme. Retrieved from <http://hdr.undp.org/en>
66. Nyman, M. (2003). Sustainable development indicators for Sweden. Concepts and framework. Technical report, Statistics Sweden. Retrieved from <http://www.scb.se/eng/omsceb/eu/eu.asp>

1.2–1.3

1. B.S. Malyniak, O.M. Martyniuk, O.P. Kyrylenko. Financial and credit activity: problems of theory and practice, 2019, Вип 28 , том 1, p. 290-301