

**Ходико Д.І.**кандидат економічних наук  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка

## ФІЗИКО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПІДХІД ДО СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ СТАЛИМ РОЗВИТКОМ ТЕРИТОРІЙ

Системні характеристики стійкості просторових соціоекологічних систем, продуктивність та опірність можуть розглядатися в рамках фізико-економічного підходу як параметри нерівноважних термодинамічних систем, вільна енергія та негентропія відповідно. Проаналізовано властивості незаміщуваності цих характеристик на траєкторії сталого розвитку, а також їх неадитивності між територіальними підсистемами біосфери. Названі властивості мають безпосередні наслідки для формування стратегічних цілей та механізмів сталого розвитку територій. Ключовими такими наслідками є: неможливість об'єктивно обґрунтованого розподілу прав природокористування між економічними суб'єктами; необхідність створення мережі багаторівневої горизонтальної координації для протидії локальним загрозам стійкості; бажаність стратегічної орієнтації на одночасне нарощування економічного потенціалу та екологічної стійкості територій.

**Ключові слова:** соціоекологічні системи, фізична економія, продуктивність, опірність, вільна енергія, негентропія, стратегічне управління, сталий розвиток територій.

Системные характеристики устойчивости пространственных социоекологических систем, продуктивность и сопротивляемость могут рассматриваться в рамках физико-экономического подхода как параметры неравновесных термодинамических систем, свободная энергия и неэнтропия соответственно. Проанализированы свойства незамещаемости этих характеристик на траектории устойчивого развития, а также их неаддитивности между территориальными подсистемами биосферы, имеющие непосредственные следствия для формирования стратегических целей и механизмов устойчивого развития территорий. Ключевыми такими следствиями являются: невозможность объективно обоснованного распределения прав природопользования между экономическими субъектами; необходимость создания сети многоуровневой горизонтальной координации для противодействия локальным угрозам устойчивости; желательность стратегической ориентации на одновременное наращивание экономического потенциала и экологической устойчивости территорий.

**Ключевые слова:** социоекологические системы, физическая экономия, продуктивность, сопротивляемость, свободная энергия, неэнтропия, стратегическое управление, устойчивое развитие территорий.

**Постановка проблеми.** Незважаючи на всезагальну визнаність стратегічних пріоритетів сталого розвитку, залишається нерозв'язаною проблема врахування просторово-екологічного виміру територіальних систем під час розроблення та реалізації відповідних стратегічних документів. Аналіз механізмів стратегічного управління розвитком макрорегіонів Європейського Союзу, що здійснюється у таких вимірах територіальної стійкості та згуртованості, як інновації, екологія та інфраструктура, свідчить, що потенціал горизонтальної внутрішньосекторної та міжсекторної координації проектів та програм на етапах їх створення, фінансування та впровадження сьогодні не реалізується [1]. Причина цього може бути пов'язана з наявними підходами до операціоналізації сталого розвитку, що тяжіють до секторного індикаторного підходу. Зокрема, шведська школа стратегічного сталого розвитку [2], акцентуючись

на інтегрованих операційних принципах, тобто індикаторах, мікроекономічного рівня, приділяє недостатньо уваги проблемам регіонально-просторової координації зацікавлених сторін на ранніх стадіях процесу стратегічного планування. Подібний підхід не є цілком виправданим, беручи до уваги поширені прояви конфлікту інтересів суб'єктів різних організаційних рівнів економічної системи, зокрема національного та регіонального, регіонального та локального. Особливої гостроти поставлена проблема набуває в умовах глобальних викликів та структурної кризи економіки України та її регіонів [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Властивості складних територіальних соціально-екологічних систем є предметом науково-дослідної програми довготермінових соціоекологічних досліджень [4], у рамках якої існує можливість відмови від секторного індикаторного підходу до операціоналізації сталого

розвитку на користь моніторингу вимірюваних системних характеристик, зокрема продуктивності та опірності. С. Лопез-Рідаура та ін. [5] виділяють сім системних атрибутів стійкості управління природними ресурсами територій, що додатково включають стабільність, надійність, адаптивність, справедливість і самодостатність, проте, на нашу думку, під час розгляду соціоекологічних систем у цілому можуть бути узагальнені до названих двох, а саме продуктивності та опірності систем. Підставою для подібного узагальнення є міждисциплінарний фізико-економічний підхід до стійкості територій, розвинений у працях Л. Гринів [6], у рамках якого пропонується фундаментальний погляд на продуктивність та опірність як біофізичні характеристики ландшафтних систем та біосфери у цілому. Останні, своєю чергою, розглядаються як нерівноважні термодинамічні системи, продуктивному потенціалу та опірності яких відповідають показники вільної енергії та негентропії [6]. Разом із цим необхідно відзначити, що емпіричний зв'язок між територіальною біофізичною продуктивністю та екологічною стійкістю залишається не встановленим однозначно [7], що вимагає подальшого дослідження системно-теоретичних основ фізико-економічного підходу для обґрунтування стратегічних засад управління системними характеристиками територій.

**Метою дослідження** є концептуальний аналіз системного зв'язку між показниками вільної енергії та негентропії нерівноважних систем, розкритого у класичних працях У.Дж. Гіббса [8], що дає можливість запропонувати найзагальніший стратегічний критерій сталого розвитку соціоекологічної системи та, як наслідок, удосконалити засади формування інституційної структури стратегічного управління сталим розвитком територій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Модель термодинамічної поверхні У.Дж. Гіббса задає у тривимірному фазовому просторі «об'єм – внутрішня енергія – ентропія» функцію, що пов'язує значення цих трьох величин у стані термодинамічної рівноваги для даної системи. Дана функція може бути представлена у формі вгнутої поверхні з позитивним нахилом, простір над якою описує множину невривноважених станів системи. Похідними параметрами в моделі є функції температури та тиску, що пов'язують граничні зміни трьох основних величин між собою. Зокрема, абсолютна температура  $T = dU/dS$ ;  $dU = TdS$ . У невривноваженому стані система характеризується показниками вільної енергії та ентропійного потенціалу, що моделюються як відстані від точки, що описує даний стан системи,

до термодинамічної поверхні, виміряні паралельно осям енергії та ентропії відповідно. Дані показники характеризують відповідно частку внутрішньої енергії, доступну для виконання роботи системою, та обсяг ентропії, який додатково може бути вироблений у системі без зміни її об'єму та внутрішньої енергії до досягнення рівноважного стану, в якому виконання роботи неможливе. Виходячи з визначення вільної енергії за Гіббсом:

$$F = U + pV - TS, \quad (1)$$

де  $U$  – внутрішня енергія,  $p$  – тиск,  $V$  – об'єм,  $T$  – температура,  $S$  – ентропія, ентропійний потенціал можна визначити як  $N = S^* - S$ , де  $S^*$  – ентропія системи у рівноважному стані ( $F = 0$ ). Звідси

$$S^* = (U + pV) / T; \quad (2)$$

$$N = (U + pV) / T - S. \quad (3)$$

За граничної зміни стану системи можна спрощено записати  $N = F/T$ . За незмінних значень внутрішньої енергії та об'єму  $dN = -dS$ , що дає змогу встановити еквівалентність ентропійного потенціалу та негентропії системи.

У рамках моделі можливим є опис зворотних та незворотних процесів у рівноважних системах. Однак концептуальний аналіз моделі свідчить, що за певних умов можливим є опис динаміки нерівноважних систем, зокрема біосфери Землі. Це можливо, коли нерівноважна система може розглядатися як одна з підсистем рівноважної відкритої системи, яка, своєю чергою, знаходиться в однорідному зовнішньому середовищі та незворотно прямує до термодинамічної рівноваги з ним. Під час аналізу таких неоднорідних підсистем зберігається властивість адитивності головних параметрів, тобто для цілісної системи  $U = U_1 + U_2$ ;  $S = S_1 + S_2$ ;  $V = V_1 + V_2$ , де індекси позначають відповідні підсистеми.

Зазначеним умовам відповідає система Сонце – Земля, що у цілому незворотно втрачає енергію у зовнішньому космічному просторі за рахунок теплового випромінювання Сонця та Землі, однак включає біосферу Землі та її складники, що нагромаджують сонячну енергію, підтримуючи власне позитивне енергетичне сальдо [9], одночасно втрачаючи ентропію [10], що може бути визначено як позитивне негентропійне сальдо. Таким чином, динаміка біосфери Землі у фазовому просторі моделі Гіббса може бути описана як  $dS/dU < 0$ , що означає віддалення точки стану підсистеми від термодинамічної поверхні з одночасним зростанням вільної енергії та негентропії. Відповідно, під час формулювання стратегічних цілей стійкості необхідно враховувати властивість незаміщуваності продуктивності та опірності систем біосфери на траєкторії її сталого розвитку.

Проведений аналіз дає можливість створення об'єктивно зумовленого критерію сталого розвитку біосфери та, своєю чергою, її підсистем, що може використовуватися під час формуванні стратегічних цілей розвитку територій. Однак ключовою проблемою під час стратегічного планування на основі такого критерію є узгодженість цілей та ресурсів сталого розвитку з наявним просторово локалізованим природним капіталом територій, тобто обсягом запасів вільної енергії та негентропії. Для розгляду цієї проблеми необхідно проаналізувати розподіл запасів та потоків вільної енергії та негентропії у територіальних підсистемах біосфери.

Розглядаючи статичний розподіл природного капіталу, ми вважаємо, що температура, за якої відбуваються зміни запасів енергії та ентропії у територіальних підсистемах, не співпадає з аналогічною температурою для біосфери у цілому, що є енергетично відкритою у космічне середовище, тому для двох підсистем приймаємо  $T_1 = T_2 = T' > T$ , де  $T$  – абсолютна температура для змін стану біосфери у цілому. Використовуючи введені вище позначення для підсистем на основі формули (1),

$$F - F_1 = U_2 + pV_2 - T \left( S - \frac{T'}{T} S_1 \right); \quad (4)$$

$$F_2 = U_2 + pV_2 - T' S_2; \quad (5)$$

$$S - \frac{T'}{T} S_1 < S_2; \quad (6)$$

$$F > F_1 + F_2. \quad (7)$$

Аналогічно, використовуючи формулу (3),

$$N - N_1 = \left( U - \frac{T}{T'} U_1 \right) / T + p \left( V - \frac{T}{T'} V_1 \right) / T - S_2; \quad (8)$$

$$N_2 = \frac{U_2 + pV_2}{T'} - S_2; \quad (9)$$

$$U - \frac{T}{T'} U_1 > U_2; \quad V - \frac{T}{T'} V_1 > V_2; \quad (10)$$

$$N > N_1 + N_2. \quad (11)$$

Доведена властивість неадитивності вільної енергії і негентропії між територіальними підсистемами біосфери відображає системну цілісність останньої та синергічність функцій соціоекологічних систем у біосферному просторі. Відповідно, виникає необхідність розділити запас природного капіталу на локалізовані (соціоекосистемні) і нелокалізований (біосферний) фонди, причому їх обсяг в енергетичних одиницях для двох підсистем дорівнює:

$$F - (F_1 + F_2) = T' S_1 + T S_2 - T S; \quad (12)$$

$$F_1 + F_2 = F - (T' - T) S_1. \quad (13)$$

Нелокалізований фонд природного капіталу не може бути розподілений між територіальними суб'єктами управління, оскільки не присутній у територіальних соціоекологічних сис-

темах, що впливає з доведених нерівностей ф. 7 та ф. 11. Відповідно, розподіл прав природокористування повинен здійснюватися пропорційно до частки природного капіталу даної території у загальному обсязі локалізованого фонду, обчисленого за формулою (13), однак значення цього коефіцієнту залежить не лише від установленого співвідношення температур, а й від попереднього розмежування територіальних підсистем для визначення показника  $S_1$ . Таким чином, неможливо здійснити однозначне визначення глобального обсягу локалізованого природного капіталу без попереднього ієрархічного районування територій, що підлягає впливу суб'єктивного чинника. Це створює суттєві перешкоди для реалізації пропонуваннях у літературі [11] схем глобального управління правами на використання спільних ресурсів, оскільки для впровадження таких схем потребуватиме вирішення проблема належної глобальної інвентаризації запасів природного капіталу.

Сформульований динамічний критерій стійкості  $dS/dU < 0$  на відміну від статичних показників природного капіталу допускає розподіл стратегічних цілей сталого розвитку між територіальними соціоекосистемами внаслідок адитивності рівнів та змін енергії та ентропії. При цьому цілісна система може відповідати критерію стійкості та нагромаджувати негентропію навіть за умови, коли одна або декілька підсистем не відповідають цьому критерію. Продовжуючи розгляд двох підсистем, можна виділити три випадки зменшення негентропії в одній із них:

А)  $dU_1 > 0, dS_1 > 0$  ( $dN_1 < 0, dS_1/dU_1 > 0$ );

Б)  $dU_1 < 0, dS_1 < 0$  ( $dN_1 < 0, dS_1/dU_1 > 0$ );

В)  $dU_1 < 0, dS_1 > 0$  ( $dN_1 < 0, dS_1/dU_1 < 0$ ).

У кожному із цих випадків можлива компенсація нестійкості з боку другої підсистеми, причому як зі збільшенням, так і зі зменшенням її негентропії. При цьому коли динаміка першої підсистеми відповідає критерію стійкості  $dS_1/dU_1 < 0$ , друга підсистема може компенсувати нестійкість, лише залишаючись стійкою (випадок В):

А.1)  $dS_2 < 0, |dS_2| > |dS_1|, dU_2 > 0$  ( $dN_2 > 0, dN > 0$ );

А.2)  $dS_2 < 0, |dS_2| > |dS_1|, dU_2 < 0, |dU_2| < |dU_1|$  ( $dN_2 < 0, dN > 0$ );

Б.1)  $dU_2 > 0, |dU_2| > |dU_1|, dS_2 < 0$  ( $dN_2 < 0, dN > 0$ );

Б.2)  $dU_2 > 0, |dU_2| > |dU_1|, dS_2 > 0, |dS_2| < |dS_1|$  ( $dN_2 < 0, dN > 0$ );

В)  $dS_2 < 0, |dS_2| > |dS_1|, dU_2 > 0, |dU_2| < |dU_1|$  ( $dN_2 > 0, dN > 0$ ).

Таким чином, можливі ситуації, коли глобальна стійкість системи забезпечується

локальною стійкістю, частковою локальною нестійкістю або навіть загальною локальною нестійкістю за умови належної координації цілей підсистем між собою. Система стратегічного управління стійкістю, зорієнтована на досягнення глобальної та локальної стійкості одночасно, є оптимальною з погляду транзакційних витрат у ній, оскільки в субоптимальних варіантах кожна підсистема повинна підтримувати горизонтальні зв'язки та враховувати поточну динаміку всіх інших підсистем. Окрім того, можливість вибору траєкторій локальної нестійкості змушує передчасно повернутися до розгляду політичного виміру сталого розвитку, оскільки у цьому разі йдеться про вибір між розбудовою потенціалу продуктивності або опірності соціоекосистеми, тоді як виходячи з їх незаміщуваності відсутня логічна необхідність у постановці проблеми стійкості як проблеми пріоритетного вибору між двома цими характеристиками.

Разом із цим наявність локально нестійких підсистем не є перешкодою для досягнення глобальної чи навіть макрорегіональної стійкості, що дає змогу створити систему координації для підтримки належного рівня захищеності проти локальних загроз для сталого розвитку. Для зменшення транзакційних витрат така система може бути побудована за багаторівневим мережевим принципом. Відповідно до нього, однорангові суб'єкти управління на даному рівні територіальної організації, простором взаємодії яких є сфера компетенції суб'єкта вищого рівня, зобов'язуються досягти локальної стійкості в межах своїх повноважень, проте переглядають свої поточні динамічні цілі залежно від виникнення локальних загроз на даному рівні, маючи кінцевою метою компенсацію загрози та реалізацію загально регіональної динамічної цілі, встановленої суб'єктом вищого рівня. Своєю чергою, суб'єкт вищого рівня є частиною подібним чином організованого простору взаємодії, що дає змогу компенсувати нестійку динаміку на відповідних територіальних рівнях. Як приклад можуть бути виділені глобальний, мегарегіональний (наприклад, Європа), макрорегіональний (наприклад, Дунайсько-Карпатський комплекс), національний, регіональний, локальний, ландшафтнокосистемний рівні. Вища кількість рівнів організації мережі підвищує стабільність системи відносно локалізованих загроз, тоді як збільшення кількості суб'єктів кожного рівня розширює можливості щодо компенсації нестійкої динаміки, проте збільшує транзакційні витрати для даної територіальної підсистеми. Крім того, виділення ієрархічних рівнів та горизонтальний розподіл повноважень повинні спиратися на

об'єктивні можливості територіального моніторингу та управління просторовою стійкістю.

Необхідність створення подібних механізмів недирективного управління та координації привертає увагу до проблематики формування концептуальних засад Екологічної конституції Землі [12]. Інституційне забезпечення Конституції могло б включати кодифіковані механізми взаємодії суб'єктів, процедури вибору та перегляду компенсуючих траєкторій та інші інструменти потрібного ступеня гармонізації та гнучкості. Необхідність гнучкості та гармонізованості інструментів різних рівнів, своєю чергою, викликана неоднорідністю територіальних підсистем біосфери та інституційних можливостей управління стійкістю. Разом із цим необхідно відзначити, що створення подібних інструментів є цілком можливим для управління стійкістю соціоекосистемної системи на будь-якому рівні, включаючи національний та регіональний.

**Висновки з проведеного дослідження.** Проведений на першому етапі дослідження концептуальний аналіз моделі термодинамічної поверхні дав змогу стверджувати достатність базових рівнянь класичної термодинаміки для опису траєкторії сталого розвитку біосфери як неврівноваженої компоненти складної відкритої рівноважної системи Сонце – Земля. На підставі цього твердження, спираючись на доведені властивості статичного та динамічного розподілу вільної енергії та негентропії між неоднорідними підсистемами, є можливість у рамках фізико-економічного підходу до сталого розвитку територіальних систем зробити такі висновки:

1) системні властивості продуктивності та опірності соціоекосистем, яким відповідають фізичні величини вільної енергії та негентропії, є незаміщуваними на траєкторії сталого розвитку біосфери та її складників. Відповідно, можуть бути сформульовані динамічні критерії територіальної стійкості, що зорієнтовані на одночасне нарощення потенціалу економічної продуктивності та екологічної стійкості;

2) названі фізичні показники володіють властивістю неадитивності, що відображає системну цілісність біосфери та синергічність її територіальних підсистем. Загальний обсяг запасів природного капіталу, що підлягає просторовому розподілу (обсяг локалізованих фондів), залежатиме від попередньо здійсненого розмежування соціоекосистемних систем. Відповідно, будь-який статичний розподіл прав природокористування або власності на природний капітал не може бути повністю звільнений від впливу суб'єктивного чинника, який проявлятиметься у виборі критеріїв ієрархічного соціо-еколого-економічного районування

територій у глобальному масштабі. Виходячи із цього, доцільнішим із погляду транзакційних витрат процесу управління є формулювання динамічних цілей сталого розвитку, що спираються на фізико-економічні критерії стійкості;

3) локальні прояви нестійкої динаміки не є перешкодою для досягнення динамічних цілей стійкості на вищих рівнях організації виходячи з можливості багаторівневої скоординованої компенсації локальних відхилень від стійкої траєкторії. Створення відпо-

відної комунікаційно-координаційної мережі та гармонізованих інституційних інструментів її функціонування повинно враховувати просторову неоднорідність соціоекосистем та інституційної спроможності до управління їх сталим розвитком, проте забезпечуватиме зниження транзакційних витрат та захищеність як проти локальних загроз для стійкості, так і проти впливів суб'єктивного чинника під час здійснення комплексного районування як у межах глобальної, так і національної економіки.

#### Список використаних джерел:

1. Toptsidou M. Added value of macro-regional strategies. Project and programme perspective. Final report of the study / Maria Toptsidou, Kai Böhme, Erik Gløersen, Silke Haarich, Sebastian Hans. – InterAct Programme, 2017. – 76 с.
2. Broman G.I., Robèrt K.H. A framework for strategic sustainable development // *Journal of Cleaner Production*. – 2015. – Т. 140. – С. 17–31.
3. Руденко Л.Г. Екологічний імператив у пріоритетах інтегрованого планувального процесу в Україні / Л.Г. Руденко, С.А. Лісовський, Є.О. Маруняк // *Український географічний журнал*. – 2016. – № 4. – С. 9–16.
4. Haberl H. et al. From LTER to LTSER: Conceptualizing the socioeconomic dimension of long-term socioecological research // *Ecology and society*. – 2006. – Т. 11. – №. 2. – P. 13.
5. López-Ridaura S. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. the MESMIS framework / S. López-Ridaura, O. Masera, M. Astier // *Ecological Indicators*. – 2002. – Т. 2. – С. 135–148.
6. Гринів Л.С. Фізична економія: нові моделі сталого розвитку / Л.С. Гринів. – Львів: Ліга-прес, 2016.
7. Yan H. Resilience of Forest Ecosystems and its Influencing Factors / Haiming Yan, Jinyan Zhan, Tao Zhang // *Procedia Environmental Sciences*. – 2011. – Т. 10. – С. 2201–2206.
8. Гиббс Д. Термодинамические работы / Д. Гиббс. – Рипол Классик, 2013.
9. Stephens G.L. et al. An update on Earth's energy balance in light of the latest global observations // *Nature Geoscience*. – 2012. – Т. 5. – №. 10. – С. 691–696.
10. Юхновський І.Р. Стратегія розвитку України / І.Р. Юхновський. – К.: ДУС, 2006. – 43 с.
11. Costanza R., Farley J. Common Assets Trust and the World Environmental Constitution // *World Environmental Constitution. Methodological Foundation* / Edited by Prof. Dr. Yuriy Tunytsia – Lviv: Ukrainian National Forestry University Press, 2014. – С. 202.
12. Туниця Ю.Ю. Екологічна Конституція Землі. Ідея. Концепція. Проблеми. Частина перша / Ю.Ю. Туниця. – Львів: ЛНУ, 2002.

Khodyko D.I.

## A PHYSICAL ECONOMIC APPROACH TO STRATEGIC MANAGEMENT OF TERRITORIAL SUSTAINABILITY

Spatial ecological dimension of territorial systems is still not integrated well enough within their respective sustainability strategies. The sectoral indicator-oriented approach may be related to the present underachievement of horizontal coordination benefits from macroregional development strategies for programs and projects. The interdisciplinary socioecological and physical economic approaches provide the possibility to shift away from sectoral to systemic framework based on measurable territorial attributes such as productivity and resilience. These attributes may be reformulated in thermodynamic terms as free energy and negentropy of complex open non-equilibrium systems including the Earth's biosphere and its landscape subsystems. Conceptual analysis of the classical W.J.Gibbs' thermodynamic surface model identifies non-substitutability between free energy and negentropy, and, respectively, productivity and resilience, on a sustainable development trajectory, as well as non-additivity of the parameters between the territorial subsystems of the biosphere. These properties have clear implications for sustainability goals setting and its relation to spatial distribution of natural capital. First, no objectively founded distribution of natural capital property rights between regional governance subjects of any level is possible, as both the distributed shares and the total amount of property rights would depend on at least partially subjective hierarchical decomposition of the biosphere's socioecological subsystems, as the consequence of non-additivity. Second, in the presence of horizontal coordination between localities, the dynamic sustainability criterion ( $dS/dU < 0$ ) derived within Gibbs' framework can still be satisfied on higher levels of territorial governance if unsustainable local dynamics emerge. This suggests creation of a multi-level horizontal communication network where each regional subject revises their own dynamic target depending on their peers' progress towards the shared super-regional target, which in turn may be revised in response to super-regional trends or events. Finally, as the non-substitutability property suggests, it is both possible and desirable to set strategic priorities towards simultaneous increase of economic and ecological capacity of territorial systems.

**Key words:** socioecological systems, physical economics, productivity, resilience, free energy, negentropy, strategic management, territorial sustainability.