

УДК 519.8

С.К. ПОЛУМІЄНКО, Л.О. РИБАКОВ

ТЕОРЕТИКО-ІГРОВА РЕСУРСНА МОДЕЛЬ ЗБАЛАНСОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ

***Анотація.** Розглядається ресурсний підхід до побудови та аналізу моделі збалансованого розвитку системи «природа-населення-виробництво». Запропоновано дворівневу кооперативну гру, що слугує такою моделлю та надає можливість знаходження сукупної оптимальної стратегії за рахунок використання уніфікованого представлення учасників системи та процесів їх життєдіяльності.*

***Ключові слова:** ресурсна модель, розвиток, модель, гравець, стратегія.*

Вступ

Прийняття Конференцією ООН по навколишньому середовищу та розвитку «Порядку денного XXI століття» проголосило сталий розвиток як ключовий напрямок подальшої еволюції людства [1]. Але, як, зокрема, зазначається в звіті Департаменту зі сталого розвитку ООН [2] за 2013 р., за 20 років так і не було знайдено істотних рішень цієї проблеми, незважаючи на опубліковані десятки тисяч статей, витрачені значні кошти.

Одна з причин цього – необхідність знайти компромісні стратегії розвитку системи «природа – населення – виробництво», які стосуються окремих індивідуумів, їх спільнот, цілих країн та регіонів. Це вимагає не тільки визначення самого поняття компромісу між різнорідними об'єктами та процесами, а й інших підходів до процесів політичного, соціального, економічного, екологічного, психологічного факторів розвитку [3].

В більшості моделей сталого розвитку традиційно виділяються підмоделі екологічної, соціальної та економічної підсистем, для яких або їх складових знаходяться оцінки рівня сталості розвитку з різним ступенем деталізації та спрямуванням вихідної задачі (див., зокрема, [4, 5]). Виходячи з такого традиційного підходу, в [6, 7] запропонована теоретико-ігрова модель сталого розвитку, що представляє собою узагальнену модель, утворену на об'єднанні підмоделей соціальної, екологічної та економічної систем. Модель базується на багаторівневій коаліційній стратегічній грі [8], оптимальна стратегія якої якраз і забезпечує сукупну стратегію сталого розвитку для всіх учасників системи. Подальший аналіз цієї моделі показав її надмірну громіздкість та неконструктивність. В той же час, він дозволив виділити інше підґрунтя моделі, яке дозволяє не тільки істотно спростити її, а й ефективно знаходити оптимальні стратегії учасників системи та сукупну стратегію збалансованого розвитку. Викладення основ побудованої моделі і є метою цієї роботи.

1. Стратегічна теоретико-ігрова ресурсна модель збалансованого розвитку

Життєдіяльність певної соціо-еколого-економічної системи ґрунтується на ресурсах, які споживають та створюють її учасники, наприклад, природні ресурси, товари, які використовуються або в самій системі, або в її оточенні. Крім товарів, вироблених учасниками системи, різноманітних природних, виробничих ресурсів до її сукупних ресурсів на сьогодні слід віднести технології, суспільно-корисні бази знань тощо.

Нехай $Res(t_k)$ - вектор наявних ресурсів вихідної соціо-еколого-економічної системи в момент часу t_k розбиття відрізка часу $[t_0, T]$ з компонентами $Res_m(t_k)$, $m = 1, \dots, M$. Визначення компонент вектору $Res(t_k)$ виконується гравцем GI , наприклад, урядом, що керує системою, представляючи інтереси її учасників. Для цього GI аналізує стан системи, рівень задоволення інтересів учасників системи, відпрацьовує стратегії збалансованого розвитку всієї системи, регулюючи стратегії учасників, яких в силу підлеглості природно віднести до нижнього першого рівня моделі системи,

Тобто, маємо дворівневу модель, де на вищому рівні гравець GI контролює діяльність гравців $i \in I$ нижнього рівня. Такими гравцями, на відміну від традиційних підходів, є одночасно всі учасники соціо-еколого-економічної системи, які не розподіляються по підсистемах. Всі гравці $i \in I$ для забезпечення своєї життєдіяльності споживають та виробляють власні та спільні ресурси в межах оточуючого природного, соціального та економічного середовищ.

Інтересами гравців $i \in I$ вважається забезпечення своєї подальшої життєдіяльності відповідними ресурсами. Для природної системи це, насамперед, земля, вода, для економічної – виробничі ресурси, продукція тощо. Для людини ключовими ресурсами є базисні природні ресурси, продукти харчування; безпечне для життя середовище тощо. Реалізація таких інтересів гравців $i \in I$ виконується за допомогою їх стратегій $s_i \in S_i$, $i \in I$, де S_i - множина стратегій (видів діяльності) гравця i . При цьому стратегії розглядаються як вплив на ресурси системи. Їх припустимість визначається гравцем GI , який контролює множини S_i по всіх $i \in I$.

При визначенні рівня задоволення інтересів виникають певні проблеми. Людині важко визначити верхню межу, навіть тільки фінансового задоволення. Звичний інтерес з досягнення матеріального благополуччя виражається в різних індивідуальних оцінках достатності багатства та в розмежуванні людей за рівнем доходу. Такі групи відрізняються й за необхідними для цього ресурсами – кошти, освіта, нерухомість та ін. До речі, такі фактори оцінюються в різних системах індикаторів розвитку суспільства та розглядаються й як соціальний ресурс [4]. Наприклад - відсоток осіб з вищою освітою, кількість захворювань, дохід на одну особу та ін.

Рівень відповідності наявних ресурсів власним інтересам створює мотиви для участі людини в діяльності системи, відповідні стратегії можуть конструктивно чи деструктивно впливати на неї. Але певний індивідуум навряд чи зможе істотно вплинути на розвиток всієї системи. Виходячи з цього, надалі не будемо розглядати оцінки задоволення індивідуальних

інтересів гравців $i \in I$, а вважати, що вони на власний розсуд витрачають одержаний в результаті виконання своїх стратегій дохід (частку ресурсів системи). Це більше відображає необхідність оцінки наслідків їх діяльності, а не намірів.

Проте, в разі погіршення матеріального стану, інших видів пригнічення, гравці можуть перейти до стратегій непокори, які ведуть до сукупного дисбалансу. Гравець GI , учасники економічної підсистеми або ринок (його провідні гравці) встановлюють відповідні рівні індивідуального мінімального забезпечення, але, крім суспільних, орієнтуються й на власні інтереси. Встановлення зависоких норм соціального забезпечення, не пов'язаних з суспільною корисністю, теж може привести до ускладнень. Таким чином, має бути знайдене певне збалансоване рішення, яке задовольняє всіх учасників системи, включаючи не тільки соціально-економічну, а й природну підсистему. Це – завдання гравця GI , який регулює, насамперед, правила розподілу доходу та соціальні норми.

Всі гравці $i \in I$ розглядаються як інфінітезимальні, тобто не можуть індивідуально вплинути на всю систему. Для збільшення цього впливу та одержання більшого доходу від своїх стратегій вони об'єднуються в коаліції $c \in C$, стратегіями яких є вектори $s_c \in S_c$, задані на декартовому добутку множин стратегій S_i . Створена коаліція $c \in C$, будучи підмножиною I , діє як один гравець зі стратегією s_c . При цьому гравець $i \in c$ одержує частину виграшу c , тобто певну величину одержаного коаліцією доходу (ресурсу). Також гравці $i \in I$ можуть виконувати стратегії в інших коаліціях, наприклад, гравець може одночасно входити до коаліцій будівельників та пенсіонерів тощо. Виграш від виконання своїх стратегій такий гравець одержує від участі в усіх коаліціях.

Тоді стан всієї системи в момент часу t_k характеризується вектором $sit(t_k)$ коаліційних стратегій s_c , що обрали всі коаліції $c \in C$. Такий вектор будемо називати ситуацією $sit(t_k) \in Sit(t_k)$, $Sit(t_k)$ - множина ситуацій, тобто множина всіх можливих дій учасників системи в момент часу t_k . Саме від ситуації, що склалася, тобто від власної стратегії та стратегій інших коаліцій, залежить виграш (дохід) коаліції, який будемо виражати дійсною функцією $H_c(sit(t_k))$.

В результаті маємо коаліційну гру

$$\Gamma(t_k) = \langle Res(t_k), I, C, Sit(t_k), H_c(sit(t_k)), c \in C, t_k \in [t_0, T] \rangle, \quad (1)$$

що описує діяльність вихідної соціо-еколого-економічної системи.

Гравці (1) виконують різні стратегії, спрямовані на одержання виграшів та подальше задоволення коаліційних та індивідуальних інтересів, що й характеризує процес розвитку системи. Вихідна мета досягнення сталого розвитку потребує визначення спільного інтересу учасників цієї гри. Таким інтересом природно визначити примноження спільних ресурсів за умови збереження їх балансу, що виражається у знаходженні оптимального розподілу виграшу, одержаного в результаті використання ресурсів всіма учасниками системи задля (можливо, обмеженого) оптимального задоволення їх інтересів.

Тобто, мета гри – не індивідуальне чи групове збагачення в межах соціально-економічної підсистеми, а збереження балансу наявних та наново створених ресурсів при зростанні задоволення потреб (інтересів) її учасників.

Для знаходження такого балансу, перш за все, ресурси мають вимірюватися в однакових одиницях та передаватися між гравцями.

2. Кооперативна ресурсна модель збалансованого розвитку

Нехай $vol_{m,l}$ та $pr_{m,l}$ – обсяг та вартість m -го виду ресурсів у регіоні країни l . Тоді величина

$$rs_{m,l}(t_k) = vol_{m,l} pr_{m,l}(t_k) / \sum_l vol_{m,l}(t_k) pr_{m,l}(t_k),$$

є відносним обсягом ресурсу m в регіоні l , звісно, $0 \leq rs_{m,l}(t_k) \leq 1$. Таке визначення, яке може враховувати й можливість поновлення ресурсу, дозволяє уніфікувати змістовно різні ресурси, наприклад, кількість питної води, населення з вищою освітою та ін.

Для кожного з регіонів l замість вихідних натуральних ресурсів $Res_{m,l}(sit(t_k))$ будемо розглядати їх відносні величини $rs_{m,l}(t_k)$. При виконанні стратегій коаліції витрачають одні ресурси, а створюють інші, наприклад, підприємство, використовуючи сировину, енергію та комплектуючі, виробляє іншу продукцію. Тобто стан компонент ресурсів $Res_{m,l}(sit(t_k))$ чи $rs_{m,l}(t_k)$ залежить від всіх коаліцій $c \in C$ та видів їх діяльності, які будемо позначати через w , $w = 1, \dots, W$. Внаслідок цього, замість $rs_{m,l}(t_k)$ будемо розглядати деталізовані по c та w компоненти ресурсів $rs_{m,l,c,w}(t_k)$, а, баланс, який шукається, - як узгодження руйнівних та відновлювальних стратегій різних коаліцій по компоненті $rs_{m,l,c,w}(t_k)$.

Покладемо, що

$$rs_{m,l,c,w}(sit(t_k)) = Ars_{m,l,c,w}(sit(t_k)) - Drs_{m,l,c,w}(sit(t_k)) + rs_{m,l}(t_{k-1}),$$

$$rs_{m,l}(sit(t_k)) = \sum_{w=1}^W \sum_{c \in C} rs_{m,l,c,w}(sit(t_k)) + rs_{m,l}(sit(t_{k-1})),$$

$$rs_{m,l}(t_0) = const, m = 1, \dots, M,$$

де $Ars_{m,l,c,w}(sit(t_k))$ та $Drs_{m,l,c,w}(sit(t_k))$ – додані та витрачені коаліцією c величини відносних ресурсів за компонентою m в момент часу t_k в регіоні l за видом діяльності w , а $rs_{m,l}(t_{k-1})$ – величина $rs_{m,l}(sit(t))$ в попередній момент часу t_{k-1} . Тоді, величина $rs_{m,l}(sit(t_k))$ відображає результуючий стан компоненти m вектору відносних ресурсів $rs_l(sit(t_k))$ в ситуації $sit(t_k)$, а сума

$$rs_{l,c}(sit(t_k)) = \sum_{m=1}^M \sum_{w=1}^W rs_{m,l,c,w}(sit(t_k)), -$$

підсумкові зміни, зроблені коаліцією $c \in C$ по всьому вектору ресурсів.

Таким чином, для регіону l маємо матрицю $Rs_{l,c}(sit(t_k))$ з елементами $rs_{l,c}(sit(t_k))$, яка описує відносні ресурси за всіма видами діяльності $w = 1, \dots, W$.

Побудуємо кооперативну гру на основі стратегічної гри (1).

Нехай [9] n – кількість гравців I , а коаліція C - її підмножина. Функція v , що ставить у відповідність кожній коаліції C найбільший виграш $v(C)$ (поділ $x = (x_1, \dots, x_n)$), який вона впевнено одержує, називається характеристичною функцією гри. Сукупність $\langle I, v(C) \rangle$ називається кооперативною грою у формі характеристичної функції, якщо виконуються наступні дві умови індивідуальної та колективної раціональності:

$$x_i \geq v_i(i) \text{ для } i \in I \text{ та } \sum_{i \in I} x_i = v(I),$$

Тобто, на відміну від стратегічної гри, де аналізуються дії гравців в різних коаліціях, в кооперативній грі гравці на основі домовленостей об'єднуються в коаліцію та діють як один гравець проти інших гравців.

Визначимо функцію

$$v_l(c, t_k) = \max_{S_c(t_k)} \min_{S_{C \setminus c}(t_k)} (rs_{l,c}(sit(t_k))) = \max_{Sit(t_k)} \min (rs_{l,c}(sit(t_k))), \quad (2)$$

тоді

$$v_l(C, t_k) = \sum_{c \in C} v_l(c, t_k), \quad (3)$$

є сукупною ціною гри (1), яку може одержати тотальна коаліція C (множина всіх гравців I).

За побудовою, цю гру контролює гравець GI , його метою є збільшення значення (3), що відповідає завданням розвитку регіону, та, водночас, забезпечення балансу інтересів коаліцій (1), тобто балансу ресурсів системи.

Наступну сукупність

$$GR_l(t_k) = \langle rs_l(t_k), C, Sit(t_k), v_l(c, t_k), m = 1, \dots, M, t_k \in [t_0, T] \rangle, \quad (4)$$

будемо розглядати як кооперативну гру з характеристичною функцією $v_l(c, t_k)$, побудованою на основі гри (1).

Баланс витрачених та створених ресурсів системи будемо визначати на основі вектору Шеплі [9 - 10] гри (4).

Вектором Шеплі називається відображення, яке кожній грі у формі характеристичної функції ставить у відповідність поділ, що задовольняє наступним умовам.

1. $\sum_{i \in C} \Phi^i(v) = v(C)$ для будь-якої носія – такої коаліції C , що $v(C) = v(C \cap K)$ для будь-якої коаліції K (аксіома ефективності), іноді замість цієї аксіоми використовується аксіома болвана: $\Phi^i(v) = v(i)$ для будь-якого болвана.

2. $\Phi^i(v) = \Phi^{\pi(i)}(v)$ для будь-якої перестановки π множини гравців I , що задовольняє умові: $v(C) = v(\pi(C))$ для будь-якої коаліції C (аксіома симетрії);

3. $\Phi^i(v' + v'') = \Phi^i(v') + \Phi^i(v'')$ для будь-яких двох ігор $\langle I, v' \rangle$ та $\langle I, v'' \rangle$ (аксіома агрегації).

Доведено, що компоненти вектора Шеплі можуть бути визначені наступною єдиною функцією, яка задовольняє аксіомам 1 - 3:

$$\Phi^i(v) = \sum_{i \in C \subset I} \frac{(n-|C|)! (|C|-1)!}{n!} (v(C) - v(C \setminus \{i\})), i=1, \dots, n.$$

Вектор Шеплі є одним з поширених принципів оптимальності характеризує те, чого коаліція може досягнути після завершення гри, але не описує як результати гри впливатимуть на коаліцію, тобто не відображає стратегічні аспекти гри. Саме це має місце і в нашій моделі, де ми відмовилися від аналізу стратегій коаліцій на користь, насамперед, вирішення гри.

Поділ, що відповідає вектору Шеплі, й є необхідним балансом ресурсів внаслідок взаємодії учасників системи, за яким найбільш ефективними будуть збалансовані стратегії учасників, які дають максимально можливий обсяг створених та наявних ресурсів.

Стратегії гравців та коаліцій при цьому є різнобічними технологіями, що використовуються ними в процесі споживання та створення ресурсів. Збільшення їх обсягу та вартості звісно веде до поліпшення стану та зростання потенціалу регіону. Але зростання, наприклад, такого ресурсу як кількість населення, незважаючи на зростання трудового потенціалу, веде до зменшення відношення наявних ресурсів на душу населення, тобто погіршення індивідуального стану гравців в разі використання неефективних стратегій по створенню нових ресурсів.

Знаходження такого ефективного шляху розвитку реалізується стратегіями $s_{GI} \in S_{GI}$ (управлінськими технологіями) гравця верхнього рівня GI , які полягають в підтримці або обмеженні використання певних технологій учасниками системи, виходячи з їх ефективності для розвитку системи. При цьому ці технології стосуються не тільки виробництва, як це було раніше. Активне поширення інформаційних технологій вимагає від всіх учасників системи застосування саме ІТ та, заснованих на них, високоефективних технологій в усіх сферах.

Досягнення балансу та зростання ресурсів системи забезпечує й подальше стале існування самого GI та всієї системи, якою він керує. Рівень задоволення станом системи, тобто інтересів гравця GI може бути визначеним, зокрема, наступними логічними функціями:

$$G(t_k) = \sum_m P_{nc}(rs_m(t_k), rs_m(t_{k-1})) \alpha_m, \sum_m \alpha_m = 1, 0 \leq \alpha_{lm} \leq 1, m=1, \dots, M.$$

Предикати в цих сумах можуть виражати й значення індикаторів збалансованості розвитку системи (див., наприклад, [4 - 5]).

Сукупність

$$SD(t_k) = \langle \Gamma(t_k), GI, S_{GI}, G(t_k), t_k \in [t_0, T] \rangle, \quad (5)$$

будемо називати теоретико-ігровою моделлю збалансованого розвитку регіональної соціо-еколого-економічної системи.

Об'єднання (сума) таких ігор по регіонах I , яке може виконуватися як на рівні гравців GI , так і на першому рівні гри (5), що власно відображає децентралізований або централізований підходи до управління країною, й відображатиме проблему її збалансованого розвитку. При цьому, в межах країни задачу знаходження балансу можна віднести до гравця ще більш високого рівня, який в інтересах системи країни не тільки регулює поведінку гравців GI другого (нижчого) рівня та їх коаліцій, а також вихідних коаліцій першого рівня, встановлюючи законодавчі та інші норми, але й виступає від їх імені на більш високому – міжнародному рівні, відстоюючи національні інтереси. Подальше об'єднання може включати варіанти міжнародної взаємодії.

Можемо сформулювати загальну схему формування стратегій збалансованого розвитку.

1. Визначення переліку наявних та необхідних для розвитку регіону ресурсів.

2. Визначення коаліцій та стратегій коаліцій - технологій використання ресурсів задля створення нових ресурсів по різних видах діяльності.

3. Побудова та вирішення гри (2) – (5).

4. Визначення стратегій гравця GI зі збалансованого розвитку системи та формування початкових умов гри в наступний момент часу.

Висновки

На сьогодні знаходженню балансу суперечить детермінована ринковими відносинами необхідність економічного зростання компаній, забезпечення підвищення добробуту населення тощо. Для його досягнення в економічних відносинах, в поточній життєдіяльності та у ставленні до природи необхідно поширити в життєву практику сукупний інтерес до збалансованого розвитку як основи подальшого існування дітей, внуків та правнуків. Перш за все, це - виховання усвідомленого обмеження обсягів споживання, накопичення та збагачення, чого не було раніше. Також необхідно відійти від використання суто ринкової вартості ресурсів до їх оцінки як підґрунтя сукупного збалансованого розвитку, а не забезпечення безмежного економічного зростання. Стан розвитку суспільства, країни, регіону має вимірюватися рівнем забезпеченості сукупними ресурсами. Це вимагає заміни інтересів індивідуального або корпоративного накопичення пріоритетами створення різнобічних довготривалих користностей суспільного та індивідуального значення, стимулювання створення таких цінностей.

Сьогодні, як ніколи досі, суспільство знайшло нові основи для подальшого розвитку за рахунок впровадження новітніх технологій, які ґрунтуються на інформаційних технологіях, за допомогою яких можливо не тільки відпрацювати напрямки подальшої еволюції, але й забезпечити відповідні практичні засоби. Аналіз використання таких засобів, практичного аналізу побудованої моделі збалансованого технологічного розвитку продовжується в подальшій роботі авторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Повестка дня на XXI век. Принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро. 3 – 14 июня 1992 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/agenda21.shtml.
2. Global Sustainable Development Report – Executive Summary: Building the Common Future We Want. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development. 2013, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sustainabledevelopment.un.org/globalreport>.
3. Боссель Х/ Показатели устойчивого развития: Теория, метод, практическое использование/ Международный институт устойчивого развития. - Тюмень: Издательство Института проблем освоения Севера СО РАН, 2001. – 121 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ipdn.ru/izdaniya-institutabossel/soderzhanie/>.
4. Measuring Sustainable Development, United Nations Economic Commission for Europe New York and Geneva, 2009. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://unstats.un.org/unsd/broaderprogress/pdf/Measuring_sustainable_development%20%28UNECE,OECD,Eurostat%29.pdf.
5. Сталий розвиток регіонів України / науковий керівник М.З. Згуровський. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. 197 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.activity.wdc.org.ua/ukraine/Isd_ukr-2400dpi-10.pdf.
6. Полумиєнко С.К., Рыбаков Л.О. Основні концепції теоретико-ігрової моделі сталого розвитку // 13 Міжнародна конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях. Київ-Пуща-Водиця, 2014. С. 233 - 244.
7. Polumiienko S., Rybakov L., Trofymchuk O. The Game-Theoretical Approach to the Simulation of Sustainable Development Strategies // Journal of Earth Science and Engineering, 3 (2013), pp. 337 - 340.
8. Полумиєнко С.К. О расширениях коалиционных игр // Кибернетика и системный анализ. - 1992. - N 1. - С. 107 - 115.
9. Данилов В.И. Лекции по теории игр. – М.: Российская экономическая школа, 2002. - 141 с.
10. Ауман Р., Шепли Л. Значения для неатомических игр. - М.: Мир, 1977. - 357 с.

Стаття надійшла до редакції 24.03.2015