

## НЕОБХІДНІСТЬ І ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ІГОР ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРИРОДНО-РЕСУРСНИХ КОНФЛІКТІВ

*М.М. Петрушенко, канд. екон. наук, доцент,  
Сумський державний університет, м. Суми*

*У статті доведено необхідність застосування теорії ігор, зокрема матричних ігор та ігор із природою при моделюванні природно-ресурсних конфліктів, на основі аналізу особливостей такого застосування. Узагальнені атрибути формалізації природно-ресурсних конфліктів через гру як економіко-математичний інструмент. Актуалізується питання визначення потенціалу природно-ресурсного конфлікту в контексті поєднання теорії ігор і теорії функцій.*

**Ключові слова:** теорія ігор, матричні ігри, моделювання, природно-ресурсні конфлікти.

*В статье доказывается необходимость применения теории игр, в частности матричных игр, а также игр с природой при моделировании природно-ресурсных конфликтов, на основе анализа особенностей такого применения. Обобщены атрибуты формализации природно-ресурсных конфликтов посредством игры как экономико-математического инструмента. Актуализируется вопрос определения потенциала природно-ресурсного конфликта в контексте сочетания теории игр и теории функций.*

**Ключевые слова:** матричные игры, теория игр, природно-ресурсные конфликты, моделирование.

### ВСТУП

Природно-ресурсні конфлікти виникають внаслідок існування протилежностей між цілями, інтересами і напрямками діяльності щонайменше двох індивідів чи соціальних груп різних рівнів у їх взаємозв'язку з природними ресурсами і можуть спричиняти негативні наслідки як для самих учасників конфліктних ситуацій, так і для третіх осіб і, зокрема, навколишнього природного середовища. Врегулювання цих конфліктів передбачає можливість одночасного оперування цілим комплексом різнорідних чинників, що мають соціальну, економічну, екологічну та іншу природу. Крім того, завдання ускладнюється необхідністю посиленої уваги до чинника часу з огляду на ймовірність переростання конфліктів у кризові явища – за відсутності адекватних регулятивних механізмів, які поєднують інструменти як оперативного втручання, так і стратегічної дії. Такий підхід можливий за умови застосування в системі управління природно-ресурсними конфліктами методів та інструментів економіко-математичного моделювання. Ці моделі дозволяють охопити всю множиність відповідних елементів і взаємозв'язків між ними, а також побачити повну картину передумов для прийняття управлінських рішень і складати обґрунтовані прогнози майбутніх ситуацій і стратегічні плани успішного їх вирішення.

Моделювання природно-ресурсних конфліктів, на відміну від інших, пов'язаних з ними питань, таких, як їх класифікація, принципи формування організаційно-економічних механізмів управління, взаємозв'язок із концепціями економічної безпеки держави та сталого розвитку суспільства тощо, висвітлених у працях О. Балацького, В. Кравціва, В. Геєця, Є. Мішеніна, В. Сабадаша, М. Хвесика, Є. Хлобистова та багатьох інших вітчизняних вчених, – потребує значно більшої уваги.

На наш погляд, з огляду на те, що природно-ресурсні конфлікти є різновидом соціальних конфліктів, і по відношенню до управління

останніми вже існує оптимізаційний підхід, який іменується теорією ігор, – необхідне дослідження можливостей застосування даної теорії у сфері конфліктів, пов'язаних із використанням природних ресурсів, зокрема, створення відповідних моделей як основи для прийняття та реалізації управлінських рішень.

### ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Отже, метою даного дослідження є обґрунтування необхідності й аналіз особливостей застосування теорії ігор при моделюванні природно-ресурсних конфліктів. Відповідно до поставленої мети окремі завдання дослідження полягають в аналізі аспектів формалізації природно-ресурсних конфліктів у вигляді матричних ігор, а також розгляду специфіки так званих ігор з природою в контексті моделювання досліджуваних конфліктів.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Моделювання і аналітична оцінка природно-ресурсних конфліктів як динамічного явища, учасники якого мають різні інтереси та обирають різні шляхи досягнення своїх цілей, можливі у рамках теорії ігор (1944, Дж. фон Непман і О. Моргенштерн “Теорія ігор і економічна поведінка”). Загалом теорія ігор – це розділ теорії управління, в якому досліджуються задачі про існування та пошук оптимального управління в умовах конфлікту. Зміст теорії ігор полягає в установленні принципів оптимальної поведінки в умовах невизначеності, доведенні існування рішень, які задовольняють ці принципи, надання алгоритмів знаходження рішень [1, с. 3].

Теорія ігор – математична модель конфлікту, яка відображає такі його аспекти [2, с. 4; 3, с. 287-288]:

- множину стейкхолдерів (гравців). Іноді під гравцем розуміється природа як об'єктивна реальність (або навколишнє природне середовище), яка формує умови, в яких необхідно приймати рішення;

- можливі дії кожної зі сторін (стратегії та ходи). Стратегії являють собою сукупність правил, які визначають вибір варіанта дій при кожному особистому ході гравця залежно від ситуації, що склалася у процесі гри. Стратегія гравця називається оптимальною, якщо вона забезпечує йому при багатократному повторенні гри максимально можливий середній виграш або мінімально можливий середній програш незалежно від поведінки супротивника. Хід – вибір однієї з передбачених правилами гри стратегій та її здійснення;

- інтереси сторін, представлені функціями виграшу (платежу) для кожного із гравців.

У теорії ігор припускається, що функції виграшу та множина стратегій, доступних кожному із гравців, загальновідомі, тобто кожен із гравців знає свою функцію виграшу та набір своїх стратегій, а також функції виграшу та стратегії усіх інших гравців. Відповідно до даної інформації гравці організують свою поведінку.

Розрізняють ігри за такими класифікаційними критеріями, як число гравців, число стратегій, властивості функції виграшу, можливості попередніх переговорів і взаємодії між гравцями у ході гри. За властивостями функції виграшу розрізняють ігри:

- з нульовою сумою, коли виграш одного гравця дорівнює програшу іншого, тобто відбувається прямий конфлікт між гравцями;

- з постійною різницею, в яких гравці програють і виграють одночасно, що спричиняє альтернативу сумісних дій;

- з ненульовою сумою, коли відбуваються і конфлікти, і узгоджені дії гравців.

За можливостями попередніх переговорів і взаємодії між гравцями в ході гри розрізняють кооперативні та некооперативні ігри. Гра називається кооперативною, якщо до її початку гравці утворюють коаліції та приймають взаємозобов'язуючі угоди про свої стратегії. Гра, в якій гравці не можуть координувати свої стратегії подібним чином, називається некооперативною [2, с. 5].

Остання з наведених класифікацій має найбільше значення для застосування відповідних моделей розв'язання природно-ресурсних конфліктів. І кооперативні, і некооперативні ігри можуть відображати вже реально існуючі та потенційні конфліктні ситуації, що пов'язані з управлінням природними ресурсами. В кооперативних (коаліційних) іграх гравці об'єднані у фіксовані коаліції; члени однієї коаліції можуть вільно обмінюватися інформацією та приймати повністю узгоджені рішення; гравці можуть вступати в коаліцію та домовлятися про сумісні дії. В некооперативних (безкоаліційних) іграх кожна коаліція чи множина гравців, які діють сумісно, складається лише з одного гравця. Теорія безкоаліційних ігор – це спосіб моделювання та аналізу ситуацій, у яких оптимальні рішення кожного гравця залежать від його уявлень про гру опонентів; найважливіший момент теорії – гравці не повинні дотримуватися довільних уявлень про гру своїх опонентів, а вважають поведінку останніх раціональною і тому намагаються максимізувати свої власні виграші. Проте так звана кооперативна теорія безкоаліційних ігор припускає тимчасові об'єднання гравців у коаліції в процесі гри з подальшим розподілом отриманого виграшу чи прийняття сумісних рішень [1, с. 5].

Перш ніж представимо формалізацію ігор, звернемо увагу на математичний підхід відображення конфліктів різного роду, в тому числі й природно-ресурсних. Математизація конфліктів передбачає чітку структуризацію їх змісту. Насамперед необхідно мати чітке уявлення про таке:

- хто і яким чином бере участь у цих конфліктах;
- які можливі наслідки цих конфліктів;
- хто зацікавлений у цих наслідках і в чому полягає ця зацікавленість.

Крім того, слід ураховувати, що для будь-якого соціального конфлікту характерне таке:

- жоден із його учасників заздалегідь не знає рішень, які приймаються іншими учасниками, тобто змушений діяти в умовах невизначеності;
- хід подій у конфлікті залежить від рішень, які приймаються кожною зі сторін, тому поведінка будь-якого учасника конфлікту, якщо вона є розумною, повинна визначатися з урахуванням можливої поведінки всіх його учасників.

Формалізація конфліктів через гру як математичний інструмент включає такі атрибути:

- $I$  – множина всіх гравців. Як правило, прийнято розрізняти всіх гравців за номерами, тобто  $I = \{1, 2, \dots, n\}$ ;
- гравці обирають кожен свою стратегію  $s_i \in S_i$ , в результаті чого складається набір стратегій  $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ , що має назву “ситуація”;
- зацікавленість гравців у конкретних ситуаціях проявляється в тому, що кожному гравцю і в кожній ситуації  $s$  надається число, що виражає ступінь задоволення його інтересів у даній ситуації. Це число називається виграшем гравця і позначається  $H_i(s)$ ;
- $\Gamma$  – система, що відповідає стану певної гри (чи власне певна гра);
- існують так звані прийнятні ситуації та ситуації рівноваги. Ситуацію  $s$  у грі  $\Gamma$  вважають прийнятною для гравця, і якщо цей гравець, змінюючи в ситуації  $s$  свою стратегію на будь-яку іншу, не може

збільшити цим свого виграшу. Ситуація  $s$  називається ситуацією рівноваги, якщо вона прийнятна для всіх гравців. Тобто тільки в ситуаціях рівноваги жоден із гравців не зацікавлений у відхиленні від своєї стратегії;

– процес знаходження ситуацій рівноваги в некоаліційній грі має назву рішення гри;

– різноманітність некоаліційних ігор робить бажаним об'єднання їх у такі класи, в яких ігри мають одні й ті самі властивості. За такі класи можна взяти класи стратегічно еквівалентних ігор. При цьому справедливими є три властивості стратегічної еквівалентності: рефлексивність, симетрія та транзитивність, що дозволяє вивчати властивості ігор одного класу еквівалентності на прикладі однієї гри із цього класу. Відмінність між двома стратегічно еквівалентними іграми полягає лише в різниці початкових капіталів гравців  $c_i$  та одиниць виміру виграшів, які визначаються коефіцієнтом  $k$ .

У контексті дослідження природно-ресурсних конфліктів на особливу увагу заслуговують так звані антагоністичні ігри, що є окремим випадком некоаліційної гри. Гра  $\Gamma = \langle I, \{S_i\}_{i \in I}, \{H_i\}_{i \in I} \rangle$  є антагоністичною, якщо число гравців у ній дорівнює двом, а значення функції виграшу цих гравців у кожній ситуації рівні за величиною та протилежні за знаком, тобто

$$H_1(s) = -H_2(s), \quad \forall s \in S. \quad (1)$$

Отже

$$H_1(s) + H_2(s) = 0,$$

звідки слідує, що антагоністична гра – це гра двох суб'єктів із нульовою сумою. Зрозуміло, що при завданні антагоністичної гри достатньо задати тільки одну функцію виграшу, друга – однозначно визначається з рівняння (1) [2, с. 13]. Тому антагоністична гра може бути записана у вигляді

$$\Gamma = \langle A, B, H \rangle,$$

де  $A$  і  $B$  – множини стратегій гравців 1 і 2, а  $H$  – функція виграшу гравця 1, задана на  $S = \{(a, b) : a \in A, b \in B\}$ .

Конфлікт може виникати на рівні одного суб'єкта (соціальної групи, організації чи особи). Такий конфлікт має назву внутрішньоорганізаційного чи внутрішньоособового. В основі таких конфліктів знаходяться багатосторонні інтереси одного й того самого суб'єкта. У контексті дослідження природно-ресурсних конфліктів йдеться про внутрішні протиріччя інтересів соціально-економічних суб'єктів, які тісно взаємодіють із навколишнім середовищем і є активними природокористувачами. Для аналізу природно-ресурсних конфліктів на рівні взаємовідносин одного соціального суб'єкта та навколишнього природного середовища необхідне застосування економіко-математичного методу “ігри з природою”. У цьому випадку враховується те, що природно-ресурсний конфлікт є не лише наслідком свідомих дій різних учасників (стейкхолдерів), а й результатом стихійної дії навколишнього середовища, центральним елементом якого є природні ресурси.

При визначенні потенціалу, тобто максимально можливих значень природно-ресурсного конфлікту, внаслідок поєднання теорій ігор і функцій можна отримати дієвий економіко-математичний інструментарій.

Якщо  $f$  – функція конфлікту, задана на множині  $D$ , то за певних умов існує максимум цієї функції  $\max f(x)$ . Названі умови математично визначаються так:

- пошук супремуму функції  $\sup f(x)$  на множині залежних величин – найменше із усіх чисел  $p$ , таких, що  $f(x) \leq p$  при будь-якому  $x \in D$ ;
- якщо супремум функції  $f$  на  $D$  досягається, тобто якщо існує  $x^* \in D$ , таке, що  $f(x^*) = \sup f(x)$ , то він називається максимумом  $\max f(x)$ .

Складність пошуку максимального значення функції природно-ресурсного конфлікту полягає в тому, що вона залежить від більш ніж однієї змінної, тобто йдеться про функцію  $f(x, y, \dots, n)$ . Наприклад, у роботі [4] екологічний конфлікт представлено як функцію шести змінних, а саме: кількості природного ресурсу, інтенсивності залучення природного ресурсу у сфері виробництва і споживання, кількості конкуруючих за ресурс економічних суб'єктів, а також чисельності населення.

Якщо зважити на те, що природно-ресурсний конфлікт є більш вузьким поняттям, ніж конфлікт екологічний [5], і розглядати конкретну конфліктну ситуацію, в якій можна визначити число стейкхолдерів, а також прийняти за умовно постійні величини інші релевантні змінні функції природно-ресурсного конфлікту, залишивши при цьому кількість ( $x$ ) і якість ( $y$ ) природного ресурсу як аргументи функції, то теорія ігор пропонує аналіз функції  $f(x, y)$  на множині  $D \times E$ :  $x \in D$ ,  $y \in E$  за допомогою так званого рівняння мінімаксів і сідлових точок:

$$f(x^*, y^*) = \max_x \min_y f(x, y) = \min_y \max_x f(x, y). \quad (2)$$

Наявність сідлових точок функції природно-ресурсного конфлікту рівнозначна існуванню оптимальних стратегій у стейкхолдерів (гравців антагоністичної гри  $\Gamma = \langle D, E, H \rangle$ ). Зазначимо, що у даному дослідженні розглядається кінцева парна антагоністична гра як найпростіша та найбільш теоретично розроблена.

Поєднання різних чинників, що утворюють конфліктні ситуації, а також їхні комбінації відтворюються в наявності кількох варіантів стратегій суб'єктів природокористування. Антагоністичні ігри, в яких кожен гравець має кінцеву множину стратегій, називаються матричними. Така гра повністю визначається деякою матрицею, в якій рядки відповідають стратегіям першого гравця, стовпці – стратегіям другого гравця, а на їх перетині знаходиться виграш першого гравця у відповідній ситуації  $H(i, j) = \alpha_{ij}$  [2, с. 19].

Матричні ігри, що формалізують природно-ресурсні конфлікти, можна представити в такій формі, що називається нормальною [1, с. 6-7]:

$$\left( \begin{array}{ccc} (\alpha_{11}, \beta_{11}) & \dots & (\alpha_{1n}, \beta_{1n}) \\ \dots & \dots & \dots \\ (\alpha_{m1}, \beta_{m1}) & \dots & (\alpha_{mn}, \beta_{mn}) \end{array} \right), \quad (3)$$

у якій  $I = \{1, 2\}$  – участь двох гравців (учасників конфлікту);

кінцева множина стратегій кожного з гравців:

$s_1 = \{i \mid i=1, \dots, m\}$  – стратегії першого гравця;

$s_2 = \{j \mid j=1, \dots, n\}$  – стратегії другого гравця;

ситуація гри – пара стратегій  $(i, j)$ ;

$H_1(i, j) = \alpha_{ij}$  – виграш першого гравця;

$H_2(i, j) = \beta_{ij}$  – виграш другого гравця.

При розв'язанні природно-ресурсних конфліктів специфіка стратегічного мислення та управління кожного з їх учасників спричиняє наявність певних наборів стратегічних альтернатив. При цьому з огляду на важливість політичних чинників і вагомість статусу окремих учасників доцільніше представити досліджувані конфлікти у формі біматричних ігор:

$$\begin{pmatrix} \alpha_{11} & \dots & \alpha_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{m1} & \dots & \alpha_{mn} \end{pmatrix} i \begin{pmatrix} \beta_{11} & \dots & \beta_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \beta_{m1} & \dots & \beta_{mn} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Тобто учасники потенціального природно-ресурсного конфлікту одночасно і незалежно один від одного обирають свої стратегії, після чого виникає власне конфліктна ситуація. Конфлікт може бути вирішеним (гра припиняється), коли його учасники отримують свої виграші.

Як зазначалося вище, різновидом моделювання конфліктних ситуацій є ігри з природою [3, с. 307-316], в яких усвідомлено діє тільки один із гравців (соціальний суб'єкт), у той час як інший – природа – діє не за соціально-економічними, а за власними об'єктивними законами. При цьому природа розглядається як незацікавлена інстанція, що не обирає для себе оптимальних стратегій. Можливі стани природи реалізуються випадковим чином.

При формалізації природно-ресурсних конфліктів іграми з природою, з одного боку, спрощується завдання вибору оптимальної стратегії для соціального суб'єкта; з іншого, – завдання ускладнюється через дефіцит інформації про поведінку природи.

Алгоритм рішення матриць ігор із природою включає два основні етапи: по-перше, аналіз наявності домінуючої стратегії гравця, що потім обирається як оптимальна стратегія; по-друге, здійснення редукування матриці. При цьому слід пам'ятати, що матриця виграшів не завжди визначає вибір оптимальної стратегії, оскільки на нього впливають так звані показники “вдалості / невдалості” вибору (“сприятливості” природи). Для характеристики останніх використовується поняття ризику – упущеної можливості отримання максимального виграшу в даному стані природи.

У контексті розв'язання природно-ресурсних конфліктів формалізована “природа” може відображати як усю сукупність природних станів і чинників утворення та пролонгації відповідних конфліктних ситуацій, так і окремі показники, зокрема, еколого-економічні збитки, що утворюються внаслідок дії досліджуваних конфліктів на навколишнє природне середовище.

## ВИСНОВКИ

Підсумовуючи результати вищевикладеного аналізу особливостей застосування теорії ігор при моделюванні природно-ресурсних конфліктів, можна зробити висновок про високу потенційну практичну значущість такого застосування, що проявляється в появі додаткових можливостей регулювання цими конфліктами при врахуванні різнорідних чинників їх виникнення, розвитку та управління.

Подальшого дослідження та більш поглибленого аналізу потребує проблема максимізації виграшів у конфліктних ситуаціях, пов'язаних із використанням природних ресурсів. Взагалі максимізація як математична постановка проблеми є некоректною в тому сенсі, що окремі учасники конфлікту знають тільки свою стратегію та майже не обізнані про інші параметри ситуації. У зв'язку з цим у подальшому дане дослідження набуде розвитку в плані проекції в площину природно-

ресурсних конфліктів підходів до поняття оптимальної поведінки їх учасників, зокрема, йдеться про ситуацію рівноваги Неша та оптимуми Парето та Калдора-Хікса. Крім того, необхідне детальне дослідження невизначеностей і ризиків врегулювання природно-ресурсних конфліктів, формалізованих у іграх із природою.

## SUMMARY

### THE NECESSITY AND ESPECIALLY THE APPLICATION OF GAME THEORY IN MODELING NATURAL RESOURCE CONFLICTS

**M. M. Petrushenko**

*Sumy State University, Sumy*

*In the article we prove the necessity of application of game theory, including matrix games and games with nature in modeling of natural resource conflicts by analyzing features such application. The attributes of formalization of natural resource conflicts through the game as an economic-mathematical tool are generalized. The issue of defining the potential of natural resource conflict in the context of a combination of game theory and function theory is updated.*

**Key words:** *matrix games, game theory, natural resource conflicts, modeling.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Григорьева К.В. Бескоалиционные игры в нормальной форме: учеб. пособие / К.В. Григорьева. – СПб.: СПбГАСУ, 2007. – Ч.1. – 78 с.
2. Даниловцева Е.Р. Теория игр. Основные понятия: текст лекций / Е.Р. Даниловцева, В.Г. Фарафонов, Г.Н. Дьякова. – СПб.: СПбГУАП, 2003. – 36 с.
3. Костевич Л.С. Математическое программирование: информационные технологии оптимальных решений: учеб. пособие / Л.С. Костевич. – Мн.: Новое знание, 2003. – 424 с.
4. Сабадаш В.В. Антиекологічні тенденції соціально-економічного розвитку: конфліктний потенціал екологічного фактора / В.В. Сабадаш // Механізм регулювання економіки. - 2009. – Т.1, № 3. – С. 11-22.
5. Cultivating peace: conflict and collaboration in natural resource management / Edited by Daniel Buckles. – Washington: International development research centre / World Bank Institute, 1999. – 287 p.

*Надійшла до редакції 12 вересня 2011 р.*