

МЕТОДОЛОГІЯ РОЗПОДІЛУ ЛІЦЕНЗІЙ НА ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Розглянута можливість використання методу аналізу ієрархії для прийняття еколого-економічних рішень на прикладі розподілу ліцензій на забруднення навколишнього середовища. Описана ієрархічна структура факторів, що впливають на рішення задачі і запропонована процедура її вирішення.

Ключові слова: забруднення, ліцензії, метод аналізу ієрархій, матриця.

Постановка проблеми. Прийняття обґрунтованих еколого-економічних рішень вимагає попереднього прогнозування і моделювання заходів природоохоронної діяльності (ПОД), що пов'язано з певними труднощами. Передусім, через те, що еколого-економічні і соціальні показники, які використовуються, як правило, мають вигляд якісних характеристик з низьким рівнем довірчої вірогідності, а оцінити їх кількісні характеристики важко. Тому при прогнозуванні і оптимізації такого роду заходів доцільно використовувати логічну послідовність з позицій системно-структурного підходу і програмно-цільової спрямованості застосування прикладного інструментарію і методів вирішення нових актуальних завдань ПОД.

Практика прийняття еколого-економічних рішень дозволила визначити основні ознаки таких завдань: багатоаспектність, необхідність одночасного обліку при виборі альтернатив декількох цільових орієнтирів, необхідність оцінки альтернатив з позиції широкого кола вимог (критеріїв), труднощі, а іноді і принципова неможливість формування умов реалізації альтернатив, чинників, критеріїв і цілей в кількісному вигляді. До обставин, що ускладнюють прийняття рішення, слід віднести наявність великого кола осіб, що приймають рішення (ОПР). Вказані обставини утруднюють використання традиційних методів вирішення конфліктів. У той же час одним з шляхів подолання цих труднощів є використання методу аналізу ієрархій (МАІ).

Метою дослідження є застосування МАІ для аналізу ефективності ПОД.

Матеріали та методи дослідження. Метод аналізу ієрархій є систематичною процедурою для ієрархічного подання елементів, що визначають суть будь-якої проблеми. Метод передбачає декомпозицію проблеми на все простіші складові (від мети до варіантів рішення проблем, що порівнюються) та подальшу обробку послідовності суджень ОПР за парними порівняннями [1]. Таким чином, отримується відносна міра (інтенсивність) взаємодії елементів в ієрархії, яку можливо виразити чисельно. Використання МАІ передбачає виконання трьох послідовних процедур: синтез множинних суджень; отримання пріоритетності критеріїв; знаходження альтернативних рішень.

Таким чином, вирішення проблеми є процесом поетапного встановлення пріоритетів. На першому етапі виявляються найбільш важливі елементи проблеми, на другому - найкращий спосіб перевірки спостережень, випробування і оцінки елементів, а наступним етапом може бути знаходження способу застосування рішень і оцінка його якості. Увесь процес піддається перевірці і переосмисленню до тих пір, поки не буде впевненості, що процес охопив усі важливі характеристики, необхідні для подання і вирішення проблеми [2, 3].

Прикладом еколого-економічного завдання, що вирішується за допомогою МАІ, є вдосконалення ПОД регіону за рахунок вибору такого сценарію розподілу ліцензій на забруднення довкілля підприємствами, при якому обсяг викидів не перевищуватиме припустимий для певної території. На рис.1 наведена ієрархічна структура чинників,

суб'єктів, критеріїв і альтернатив, які були подані експертам як можливі впливи на розподіл ліцензій.

Розподіл ліцензій на забруднення, може здійснюватися різними способами, поданими на рис.1 у вигляді наступних альтернатив:

- а) на душу населення - квоти розподіляються пропорційно населенню регіону, яке зареєстровано на кінець попереднього року;
- б) за потужністю підприємств - квоти розподіляються пропорційно потужності підприємств, яка зареєстрована на кінець попереднього року;
- в) аукціони квот - проводяться аукціони, на яких розпродаються квоти;
- г) постійні квоти - квоти з року в рік є незмінними;
- д) за обсягом інвестицій - квоти розподіляються пропорційно обсягом інвестицій у ПОД на кінець попереднього року.

Суб'єкти III рівня ієрархії поділяються на такі категорії:

- а) суб'єкти, що безпосередньо впливають на процес ухвалення рішення про видачу ліцензій (органи управління, підприємства, екологічні організації);
- б) населення, яке побічно бере участь в процесі ухвалення рішення про розподіл квот, тобто його при цьому враховують.

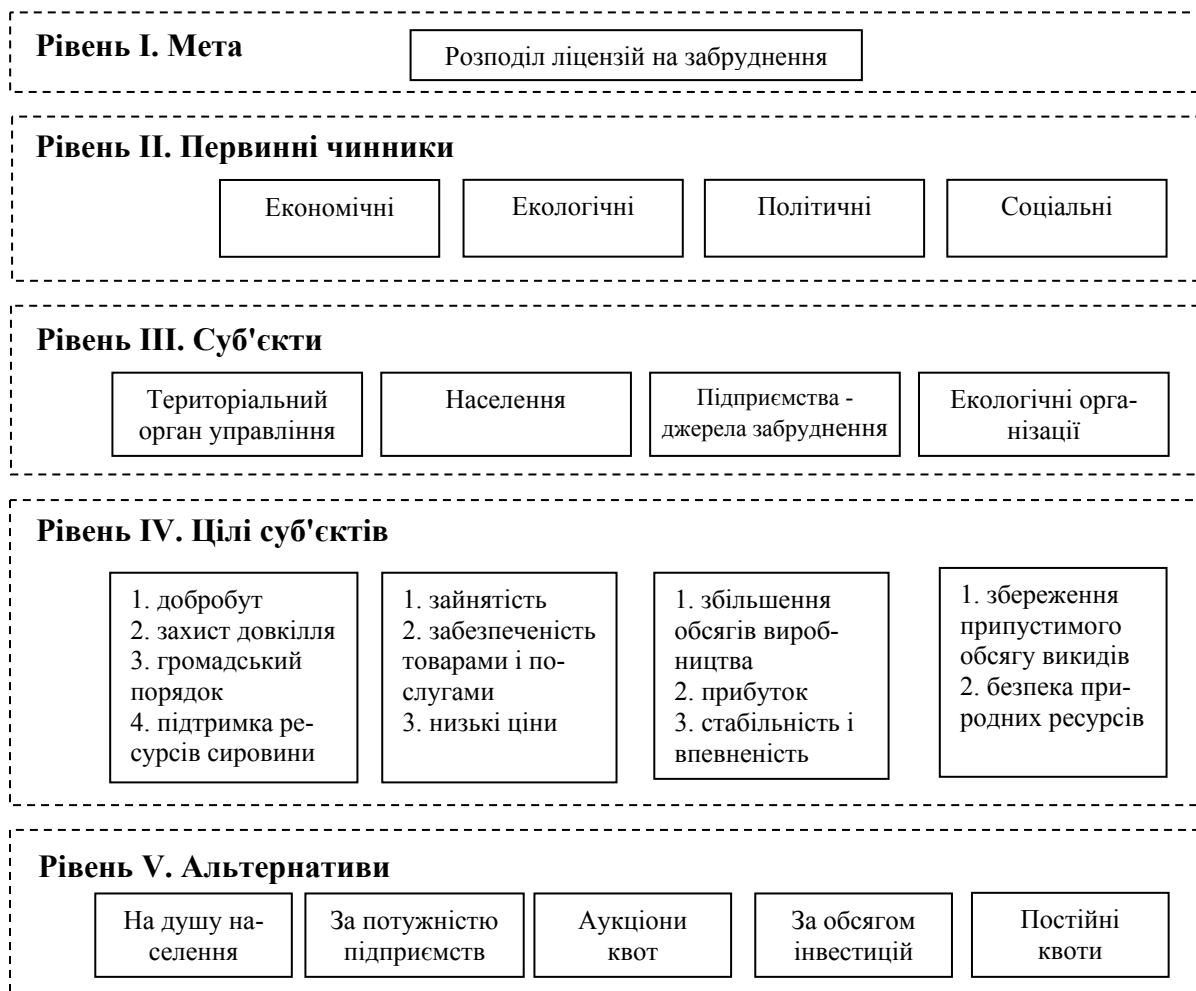


Рис. 1 – Декомпозиція завдання розподілу ліцензій на забруднення.

В ході опитування експертів необхідно елементи завдання порівнювати попарно по відношенню до їх впливу («вазі» або «інтенсивності») на загальну для них характеристику. Наприклад, порівнювати вплив кожного суб'єкта на первинні чинники (економічні, політичні, соціальні і екологічні).

За результатами порівняння одна з одною набору складових проблем, складається квадратна матриця A розміру $(n \times n)$ з елементами a_{ij} , яка має властивості зворотної симетричності, тобто

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \quad (1)$$

де індекси i і j стосуються рядка і стовпця відповідно. Подібні матриці парних порівнянь необхідно скласти для усіх елементів i -го рівня по відношенню до кожного критерію $(i - 1)$ рівня. Матрицю парних порівнянь можна отримати шляхом знаходження стосунків заздалегідь відомих ваг елементів. Такий спосіб застосовується при порівнянні елементів, які мають кількісне вираження ваги (інтенсивності). Наприклад, вартість, продуктивність, рентабельність і т. п. Тоді, якщо $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – множина з n елементів і $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ – відповідно до їх кількісно визначені ваги (інтенсивності), то МАІ дозволяє порівняти вагу (інтенсивність), кожного елемента з вагою (інтенсивністю), будь-якого іншого елемента множини по відношенню до загальної для них власності або мети. Таким чином, елемент a_{ij} має вигляд

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}, \quad (2)$$

де i і j номери елементів рядка і стовпця відповідно.

Обчислення порівняльної важливості чинників і результатів у такий спосіб математично просто, але не завжди можливо, оскільки вимагає знання кількісної міри важливості кожного елемента w_i .

Для проведення суб'єктивних парних порівнянь була розроблена шкала відносної важливості об'єктів (табл.1), яка повинна задовольняти двом основним вимогам: охоплювати як можна більшу кількість градацій, але при цьому бути кінцевою. Цим вимогам відповідає шкала від 1 до 9, яка дає можливість бачити різницю переваг одного порівнюваного елемента над іншим. Для підвищення достовірності оціночних суджень кількість експертів має бути не менше п'яти. Об'єднання різних суджень повинно задовольняти умові зворотної симетричності відповідної матриці, тобто незалежно від правила об'єднання суджень результати об'єднання цілих оцінок повинні співпадати з результатами об'єднання зворотних величин цих суджень. Для виконання цієї умови існує спосіб об'єднання різних суджень експертів шляхом знаходження геометричного середнього, який передбачає перемноження відповідних числових значень суджень і знаходження кореня k -ої міри, де k – кількість експертів.

Використання будь-якого методу апроксимації не виключає небезпеки зміни порядку ранжування і отримання при цьому небажаних результатів.

Підхід, заснований на власному векторі, потребує інформацію, яка міститься у будь-якій, навіть неузгодженій матриці, і дозволяє отримувати пріоритети, які засновані на наявній інформації, без арифметичних перетворень даних.

Таким чином, компонента «власного вектору» i -го рядка має вигляд

$$S_i = \left(\frac{w_i}{w_1} \cdot \frac{w_i}{w_2} \cdot \dots \cdot \frac{w_i}{w_n} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (3)$$

Отримані для n рядків компоненти «власного вектору», можна використати для подальших обчислень

$$s = s_1 + s_2 + \dots + s_n. \quad (4)$$

Тоді вектор пріоритетів дорівнює

$$x_1 = \frac{s_1}{s}, x_2 = \frac{s_2}{s}, \dots, x_n = \frac{s_n}{s}. \quad (5)$$

Отримані пріоритети синтезуються, починаючи з другого рівня донизу. Локальні пріоритети перемножуються на пріоритет відповідного критерію на вищому рівні і знаходиться сума за кожним елементом відповідно до критеріїв, на які впливає цей елемент. Таким чином отримується складений, або глобальний, пріоритет того елемента, який потім використовується для зважування локальних пріоритетів елементів, що розташовані рівнем нижче та порівнюються по відношенню до нього як до критерію. Це продовжується до нижнього рівня.

Таблиця 1 – Шкала відносної важливості об'єктів

Значення	Визначення	Пояснення
1	Об'єкти однаково важливі	Обидва об'єкти вносять однаковий внесок у досягнення поставленої мети
3	Перший трохи важливіший за другий (слабка перевага)	Є підстави щодо переваги одного об'єкту над другим, але їх не можна вважати неспростовними
5	Перший істотно важливіший за другий (сильна перевага)	Існують вагомі свідчення того, що перший об'єкт важливіший
7	Перший явно важливіший за другий	Є неспростовані підстави, щоб вважати за краще перший другому
9	Перший абсолютно важливіший за другий	Перевага першого об'єкту така очевидна, що не може викликати ані найменшого сумніву
2, 4, 6, 8	Значення, що пропонуються проміжним судженням	Використовуються, коли вибір між двома сусідніми непарними числами викликає утруднення
Числа, зворотні до наведених вище (1/3, 1/5 і т. п.)	Якщо при порівнянні з першим об'єктом другий отримує один з вище перелічених рангів важливості, то перший при порівнянні з другим набуває зворотного значення	

Дуже корисним інструментом МАІ є так званий індекс узгодженості, який дає інформацію про міру порушення числової (кардинальної, $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$) й транзитивної (порядкової) узгодженості.

Усі виміри схильні до похибок. Ці похибки можуть привести до неузгоджених висновків. Відсутність узгодженості може бути серйозним обмежуючим чинником для дослідження деяких проблем, але не бути таким для інших. Потрібен спосіб оцінки міри узгодженості при вирішенні конкретної задачі.

Разом з матрицею парних порівнянь ми маємо міру оцінки міри відхилення від узгодженості. Коли такі відхилення перевищують встановлені межі, їх слід перевірити ще раз у матриці.

Індекс узгодженості (I_c) в кожній матриці і для усієї ієрархії можна отримати приблизно. Для цього необхідно підсумувати кожен стовпець суджень, а потім суму першого стовпця помножити на величину першої компоненти нормалізованого вектора пріоритетів, суму другого стовпця - на другу компоненту і т. д. Потім отримані числа

підсумовуються. Таким чином можна знайти значення λ_{max} . Тоді індекс узгодженості визначається за формулою

$$I_c = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (6)$$

де n – число елементів порівняння. Для зворотно симетричної матриці $\lambda_{max} \geq n$.

Відношення узгодженості (ВУ) отримаємо шляхом поділу I_c на число, що відповідає випадковій узгодженості матриці того ж порядку. Прийнятна величина ВУ, як правило, не повинна перевищувати 10%. У ряді випадків можна припустити її зростання до 20%. Якщо ВУ виходить за ці межі, то учасникам треба досліджувати завдання, перевірити свої судження.

Важливою перевагою методу МАІ є його здатність до вимірювання якісних характеристик системи. Це досягається за допомогою точніших, ніж в стандартних методах оцінки, формулювань цілей, завдань дослідження, що спрощує процедуру перевірки і контролю подальшого застосування результатів аналізу. Більше того, МАІ можна використати як інструмент для виміру якості, включивши в ієрархію критерії оцінки, за допомогою яких порівнюється фактична якість системи з потрібною.

Реалізація трьох принципів МАІ припускає здійснення наступних етапів проведення досліджень за допомогою цього методу:

- а) постановка проблеми, визначення мети і питань дослідження;
- б) побудова ієрархії, починаючи з її вершини (цілі - з точки зору управління), через проміжні рівні (чинники, суб'єкти, критерії) до нижнього рівня, який є переліком альтернатив або набором компонент системи управління;
- в) побудова безлічі матриць парних порівнянь для кожного з нижніх рівнів. Кожна матриця i -го рівня, що складається з n елементів, є зворотно симетричною матрицею розміру $n \times n$, орієнтованою на один з критеріїв вищого рівня. Такий критерій називають елементом, що спрямовується, по відношенню до елемента нижнього рівня. Елементи будь-якого рівня порівнюються один з одним відносно їх дії на елемент, що спрямовується;
- г) для отримання кожної матриці розміром $n \times n$ потрібно $n \cdot (n - 1) / 2$ суджень. Ця вимога виконується або при нагоді кількісно виміряти ваги кожного елемента, або за наявності бальних оцінок експертів за заздалегідь визначеною шкалою відносної важливості. Якщо елемент А домінує за яким-небудь критерієм над елементом Б, то осередок на припиненні рядка А із стовпцем Б заповнюється цілим позитивним числом, а осередок, що відповідає рядку Б і стовпцю А, - зворотним (дробовим) до нього числом. При однакових значеннях ваг елементів А і Б в обидва осередки ставляться одиниці;
- д) визначення власних векторів w і значень λ_{max} матриць парних порівнянь, за допомогою яких обчислюється індекс узгодженості кожної матриці;
- е) проведення етапів в, г, д для усіх рівнів ієрархії;
- ж) зважування векторів пріоритетів альтернатив вагами критеріїв і обчислення суми за усіма відповідними зваженими компонентами векторів пріоритетів рівня ієрархії, що лежить нижче;
- з) знаходження узгодженості усієї ієрархії перемноженням кожного індексу узгодженості на пріоритет відповідного критерію і подальшим підсумовуванням отриманих результатів.

Аналіз результатів опитування експертів був проведений за декількома рівнями. У експерименті брали участь п'ять експертів. На рівні І є тільки одна матриця парних вимірів домінування, оскільки кожна пара порівнюється відносно її дій на розподіл ліцензій на забруднення.

При обробці результатів були отримані такі власні вектори матриці парних порівнянь експертів: чинники, що мають найбільшу дію на розподіл ліцензійних квот; суб'єкти максимального впливу на економіку; суб'єкти максимального впливу на політичні процеси; суб'єкти максимального впливу на соціальні процеси; ранжирування суб'єктів за мірою впливу на екологічну ситуацію; упорядкування цілей органу управління; ранжирування цілей населення; ранжирування цілей підприємств; упорядкування цілей екологів.

На наступному етапі знаходились міри важливості суб'єктів відносно чинників, що впливають на розподіл ліцензійних квот. Ця оцінка проводилась шляхом множення справа матриці власних векторів суб'єктів відносно кожного чинника рівня II на власний вектор, отриманий для рівня I.

Далі виконувалось ранжирування цілей чотирьох суб'єктів - органу управління, населення, підприємств і екологічних організацій. Для цього власний вектор цілей множився на відповідну вагу суб'єкта. Надалі цей вектор застосовувався для отримання ваг сценаріїв.

Останнім етапом для отримання ваг сценаріїв є побудова матриць домінування відносно кожної мети для п'яти сценаріїв (у нашому випадку це ранжирування сценаріїв за мірою впливу на кожну з дванадцяти цілей): добробут регіону; захист довкілля; громадський порядок; підтримка сировинних ресурсів регіону; зайнятість населення; забезпеченість товарами і послугами; встановлення низьких цін для населення; збільшення обсягів виробництва підприємствами; прибуток підприємств; стабільність і впевненість підприємств; збереження припустимого обсягу викидів; безпека природного середовища.

Для отримання ваг сценаріїв необхідно перемножити матрицю отриманих власних векторів сценаріїв і вектор ваг критеріїв (добробут, захист довкілля, громадський порядок, підтримка сировинних ресурсів, зайнятість та ін.).

Висновки, пропозиції і рекомендації.

Результати розрахунків показали, що найбільшу вагу має п'ятий сценарій. Це означає, що група експертів віддала перевагу цьому сценарію. Отже, в рік проведення опитування буде прийнято рішення про розподіл ліцензій на забруднення пропорційно сумарному обсягу інвестицій в розвиток ПОД регіону.

Розглянутий МАІ зараз широко використовується як інструмент для ухвалення рішень в умовах багатокритеріальності. У досліджуваній проблемі цей метод також застосовано як інструментарій вирішення конфліктів.

Список літератури

1. Саати Т. Л. Принятие решений - метод анализа иерархий. — М.: «Радио и связь», 1993. — 278 с.
2. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 360 с.
3. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 464 с.

Методологія розподілення ліцензій на забруднення навколишнього середовища на основі аналізу ієрархій. Головань Е.І.

Рассмотрена возможность использования метода анализа иерархий для принятия эколого-экономических решений на примере распределения лицензий на загрязнение окружающей среды. Описана иерархическая структура факторов влияющих на решение задачи и предложена процедура ее решения.

Ключевые слова: загрязнение, лицензии, метод анализа иерархий, матрица.

The methodology of licenses distribution for environmental pollution based on the analysis of hierarchies. Golovan H.

Possibility of use of a method of the analysis of hierarchies for acceptance of ecological and economical decisions on an example of distribution of licenses for environmental contamination was considered. The hierarchical structure of factors influencing the decision of a problem was described and procedure of its decision was offered.

Keywords: pollution, licenses, a method of the analysis of hierarchies, a matrix.