

систем в екології і теорію екологічних систем (походження, будова, динаміка і розвиток складних систем); 3) математичне моделювання та прогнозування стану і розвитку навколишнього середовища; 4) прикладний системний аналіз – екологічних аспектів техноекології, агроекології, урбоекології, економіки природокористування, соціальної екології, екологічного права, екологічної освіти, екології людини і т.д.

Системна технологія екологічного аналізу включає такі взаємопов'язані *кроки*:

- 1) аналіз екологічної проблеми і формулювання мети, досягнення якої приводить до її рішення;
- 2) аналіз ресурсів, які необхідні для «повнометражної» реалізації комплексу потенційних рішень;
- 3) аналіз можливих методів прийняття та реалізації рішень;
- 4) аналіз потенційно можливих обмежень на цілі, методи, ресурси рекомендованих рішень;
- 5) імітація застосування варіанта рішення;
- 6) аналіз доцільності використання на практиці даного варіанта рішення і передача підрозділу, що координує екологічний аналіз для архіву поки негідних рішень або для включення в перелік рекомендованих;
- 7) координація екологічного аналізу.

1.2.2 Етапи системного аналізу

Єдиного алгоритму системного аналізу немає і створити такий неможливо. Але існують певні правила його організації, які надають змогу вирішувати проблеми, що виникають у практичній діяльності. Вони передбачають порядок виконання системного аналізу, процедури та засоби, які використовують на його певних етапах (*П. С. Гнатів, П. Р. Хірівський, 2010*).

Наприклад, у багатьох роботах пропонується шість основних етапів системного аналізу:

- 1) формулювання мети і завдань рішення екологічної проблеми;
- 2) визначення, розробка і перевірка можливих та альтернативних засобів, методів, способів вирішення екологічної проблеми;
- 3) прогнозування стану або розвитку даної екологічної проблеми;
- 4) розробка та застосування моделей і сценаріїв прогнозу розвитку екологічних ситуацій;
- 5) порівняння та вибір альтернативних шляхів вирішення відповідної екологічної ситуації;
- 6) реалізація програми та контроль виконання, представлення результатів.

За *Дж. Джефферсом (1981)*, системний аналіз у вирішенні практичних завдань екології традиційно має сім взаємопов'язаних етапів:

вибір проблеми → постановка завдання → встановлення ієрархії цілей і завдань → вибір шляхів вирішення → моделювання → оцінка можливих стратегій → впровадження результатів.

Нижче наведена стисла характеристика цих етапів системного аналізу (П. С. Гнатів, П. Р. Хірівський, 2010).

Вибір проблеми (I етап) є результатом вибору головних цінностей у суспільстві. Визнання того, що існує деяка проблема (або сукупність взаємопов'язаних проблем), яку можна досліджувати за допомогою системного аналізу, і яка цілком важлива для детального вивчення, не завжди виявляється тривіальним кроком. Усвідомлення того, що дослідження справді необхідне, настільки ж важливе, як і вибір правильного методу дослідження. З одного боку, можна взятися за вирішення проблеми, що не піддається системному аналізу, а з іншого – вибрати проблему, яка не потребує для свого вирішення усієї потужності системного аналізу, і вивчати яку цим методом було би розкішшю. Така дилема першого етапу робить його критичним для успіху або невдачі всього дослідження.

Постановка завдання (II етап). Завдання має бути настільки простим, щоби мати аналітичне рішення за збереження всіх тих елементів, які роблять проблему досить актуальною для практичного вивчення. Саме на цьому етапі можна зробити найвагоміший внесок у вирішення проблеми.

Встановлення ієрархії цілей і завдань (III етап). Зазвичай мета і завдання утворюють деяку ієрархію. Причому як мета, так і основні завдання послідовно поділяють на першочергові й другорядні. Генеральну мету методом декомпозиції слід розділити на *дерево цілей**.

Необхідно визначити пріоритети різних стадій і зіставити їх із тими зусиллями, які потрібні для досягнення поставлених цілей.

Вибір шляхів вирішення (IV етап). Шляхи або засоби залежать від обсягу знань матеріально-технічних засобів, що є в арсеналі фахівця із системного аналізу. Як правило, на початку системного аналізу потрібен

* «Дерево цілей» – структурована, побудована за ієрархічним принципом сукупність цілей системи, програми, плану, в якій виділені: генеральна мета («вершина дерева»); підлегли їй підцілі першого, другого і подальшого рівнів («гілки дерева»). Дерево цілей пов'язує між собою перспективні цілі та конкретні завдання на кожному рівні ієрархії. Мета вищого порядку (генеральна, головна мета) відповідає вершині дерева, в гілках дерева розташовуються локальні цілі (завдання), які забезпечують досягнення цілей верхнього рівня. Основною вимогою до дерева цілей є відсутність циклів. Представлення цілей починається з верхнього рівня, потім вони конкретизуються. Основним правилом розукрупнення цілей є повнота – кожна мета верхнього рівня повинна бути представлена у вигляді підцілей наступного рівня таким чином, щоб об'єднання понять підцілей повністю визначало поняття вихідної мети. Дерево цілей – це графічна схема, яка демонструє розбивання загальних цілей на підцілі. Метод дерева цілей є головним універсальним методом системного аналізу.

вербальний опис проблеми, який повинен окреслити певну піддослідну проблему. Загалом аналітик шукатиме найзагальніше аналітичне рішення, що дозволяє використовувати результати дослідження вже виконаних аналогічних завдань і результативний математичний апарат.

Моделювання (V етап) – етап активних маніпуляцій із копіями й відображеннями систем або модельних досліджень чи експериментів зі складними динамічними взаємозв'язками між різними аспектами проблеми.

Оцінка можливих стратегій (VI етап). У ході цього етапу досліджують чутливість результатів до допусків, зроблених за побудови моделі, оскільки правомірність цих допусків можна перевірити лише в процесі використання моделі. Якщо виявиться, що основні допуски некоректні, можливо, доведеться повернутися до етапу моделювання, але часто вдається поліпшити модель, трохи модифікувати вихідний варіант.

Впровадження результатів (VII етап). Системний аналіз не можна вважати завершеним доти, поки дослідження не дійде до стадії практичного впровадження, управлінського чи виробничого використання – перевірки ефективності розробки для вирішення виниклої проблеми.

1.2.3 Основні методи неформального системного аналізу

Будь-яка науково-дослідна та практична діяльність проводиться на базі *методів* (прийомів або способів дії), *методик* (сукупності методів і прийомів проведення будь-якої роботи) і *методологій* (сукупності прийомів дослідження). Методологія системного аналізу представляє сукупність принципів, концепцій і конкретних методів, а також методик.

Методологія системного аналізу дозволяє побудувати системну картину світу із застосуванням принципів системного проектування, прогнозування і моделювання. Найбільший вплив системний аналіз має на процеси управління в соціальних, економічних, екологічних і політичних системах (П. М. Хомяков, 2007).

Важливою складовою системного аналізу є генерування альтернатив, тобто гіпотез про можливі шляхи та способи досягнення визначеної мети. При цьому застосовують різні *неформальні (якісні) методи (процедури)*: метод експертних оцінок, метод Дельфи, метод мозкового штурму, метод сценаріїв тощо.

Метод експертної оцінки. Суть методу в сучасному розумінні зводиться до процедури отримання оцінки проблем на основі думки спеціалістів даної галузі знань (експертів) з метою подальшого прийняття рішення. Ці думки зазвичай виражені в кількісній або якісній формах. Експертні дослідження виконують з метою підготовки інформації для прийняття рішень. Для проведення роботи за методом експертних оцінок створюють робочу групу. Експертні оцінки бувають індивідуальні та

колективні. Метод експертної оцінки використовують у тому випадку, коли об'єкти прогнозу не піддаються формалізації повністю або частково. За допомогою методів експертної оцінки можна підвищити надійність прогнозів, отриманих за допомогою інших методів.

Існує маса методів отримання експертних оцінок. Один з найбільш відомих методів експертних оцінок – це *метод Дельфі**.

Основними особливостями методу Дельфі є: анонімність гіпотез; обґрунтування думок експертів із граничними оцінками; наявність зворотного зв'язку, що реалізується за допомогою багатокрокового опитування.

Метод Дельфі розроблений для вирішення стратегічних проблем за граничного зменшення впливу суб'єктивного фактора, стимулювання способів мислення спеціалістів шляхом створення інформаційної системи зі зворотними зв'язками, усунення перешкод в обміні інформацією між фахівцями, тиску авторитету та інших форм тиску, підвищення достовірності прогнозів шляхом спеціальних процедур кількісного оцінювання думок експертів та їх опрацювання. У найрозвинутіших варіантах методу експертам присвоюють вагові коефіцієнти значущості їхніх тверджень, які обчислюють на основі попередніх опитувань. Їх уточнюють від туру до туру і враховують при одержанні узагальнених результатів оцінок.

Технічна процедура методу Дельфі така:

- 1) формування групи компетентних експертів;
- 2) формулювання мети роботи;
- 3) розроблення опитувальної форми для експертів;
- 4) опитування експертів за розробленою формою;
- 5) статистичне опрацювання результатів опитування;
- 6) аналіз кожним експертом підсумків опрацювання даних і надання йому шансу врахувати думку всієї групи;

* Назва методу дана за асоціацією зі звичаєм: для отримання підтримки при прийнятті рішень звертатися до храму Аполлона в давньогрецькому місті Дельфі (VII-V ст. н.е.). Він був розташований біля виходу отруйних вулканічних газів. Жриця храму пила воду із джерела, жувала лавр, сідала на високий триніжок і, вдихаючи випари (мабуть штучного походження), бралася пророкувати, вимовляючи незрозумілі слова. Спеціальні «перекладачі» – жерці храму тлумачили ці слова і відповідали на питання паломників, які прийшли зі своїми проблемами. У США в 1960-х роках методом Дельфі назвали експертну процедуру прогнозування науково-технічного розвитку. У першому турі експерти називали ймовірні дати тих чи інших майбутніх звершень. У другому турі кожен експерт знайомився з прогнозами всіх інших. Якщо його прогноз сильно відрізнявся від прогнозів основної маси, його просили пояснити свою позицію, і часто він змінював свої оцінки, наближаючись до середніх значень. Треба сказати, що реальні результати дослідження виявилися досить скромними – хоча дата висадження американців на Місяць була передбачена з точністю до місяця, всі інші прогнози провалилися – керованого термоядерного синтезу і надійних засобів від раку у XX ст. людство не дочекалося.

7) корегування думки окремих експертів, повторне опитування й статистичне опрацювання всіх думок (П. С. Гнатів, П. Р. Хірівський, 2010).

Ще один варіант експертного оцінювання – *мозковий штурм* («конфедерація ідей» і «колективна генерація ідей»), який використовується для глибокого і швидкого вчення проблеми у вузьких сферах чи напрямках. Спочатку здійснюється групування завдань з використанням універсального методу сканування. Цей етап завжди використовують для першого осмислення виниклої проблеми у найширшому спектр підходів для розв'язання проблеми, коли немає попереднього практичного досвіду її опрацювання. Суть методу мозкового штурму зводиться до того, що експертам надається повна свобода мислення і висловлювання нових ідей. Розглядаючи всі генеровані ідеї, не допускають критики і не припиняють обговорення жодної ідеї. З цією метою створюють атмосферу, котра сприяє генерації нетривіальних ідей і звільняє експертів від стереотипного мислення.

Процедура мозкового штурму має такий вигляд: 1) вузьке формулювання завдання; 2) створення групи вузьких фахівців; 3) генерування (часто анонімне) множини ідей та підходів; 4) групування відібраних ідей на актуальні й перспективні, відбір актуальних рішень; 5) документація ідей, придатних для використання на подальших етапах роботи (П. С. Гнатів, П. Р. Хірівський, 2010).

Зазвичай зі 100 ідей 30 заслуговують подальшого опрацювання, 5-6 дають можливість сформулювати основи проекту, а 2-3 залишаються і в результаті приносять корисний ефект – прибуток, підвищення екологічної безпеки, оздоровлення навколишнього природного середовища і т.д.

Метод сценаріїв передбачає, що способи та процедури підготовки й узгоджень уявлень про проблему чи об'єкт, які досліджують, викладені у письмовому вигляді (сценарій). Як правило, сценарій готує кожен експерт, а потім думки експертів узгоджують. Цей метод застосовують для розв'язання слабо структурованих проблем, у яких стратегія розвитку системи спрямована на гостро конфліктну ситуацію (П. С. Гнатів, П. Р. Хірівський, 2010).

Метод сценаріїв необхідний не тільки в екологічній чи соціально-економічній галузі. Наприклад, при розробці методологічного, програмного та інформаційного забезпечення аналізу ризику хіміко-технологічних проектів необхідно скласти детальний каталог сценаріїв аварій, пов'язаних з витоками токсичних хімічних речовин. Кожен з таких сценаріїв описує аварію свого типу, зі своїм індивідуальним походженням, розвитком, наслідками, можливостями попередження. Таким чином, метод сценаріїв – це метод декомпозиції задачі прогнозування, що передбачає виділення набору окремих варіантів розвитку подій (сценаріїв), у сукупності охоплюють всі можливі варіанти розвитку. При цьому кожен окремий сценарій повинен допускати можливість досить точного

прогнозування, а загальну кількість сценаріїв необхідно оглянути. Набір сценаріїв повинен бути доступним для огляду. Доводиться виключати різні малоімовірні події – приліт інопланетян, падіння астероїда, масові епідемії раніше невідомих хвороб і т.д. Саме по собі створення набору сценаріїв – предмет експертного дослідження. Крім того, експерти можуть оцінити ймовірності реалізації того чи іншого сценарію.

Як відомо, при прийнятті рішень на основі *аналізу ситуації* (*ситуаційного аналізу*), в тому числі аналізу результатів прогнозних досліджень, можна виходити з різних критеріїв. Наприклад, можна орієнтуватися на те, що ситуація складеться найгіршим, або найкращим, або середнім (у будь-якому сенсі) чином. Можна спробувати намітити заходи, що забезпечують мінімально допустимі корисні результати при будь-якому варіанті розвитку ситуації і т.д.

Метод комісії полягає в організації та проведенні відкритої дискусії з метою отримання єдиного угодженого висновку експертів, причому цей висновок визначають шляхом голосування (бажано таємного). Перевагою цього методу є можливість підвищення рівня інформованості експертів і зміна їхніх попередніх висновків у процесі обговорення. До вад методу комісії можна віднести: відсутність анонімності, що може призвести до неформального впливу авторитетних експертів; різну активність експертів, яка часто не залежить від їхньої компетентності; заангажованість експертів.

Одним із різновидів неформального методу системного аналізу є *метод суду*, коли частина експертів підтримує певну альтернативу і наводить аргументи на її користь, а частина – є противники, котрі обґрунтовують її вади. У країнах із розвиненим громадським суспільством саме суди найчастіше стають ефективними засобами захисту безпеки довкілля, оскільки навіть рядові громадяни все більш звертаються у ці інстанції з позовами і скаргами щодо дій влади, компаній, окремих порушників екологічної безпеки (П. С. Гнатів, П. Р. Хірівський, 2010).

Осторонь від основного русла експертних оцінок перебуває *SWOT-аналіз*. *SWOT* – це *strengths* (сильні сторони), *weaknesses* (слабкі сторони), *opportunities* (можливості) і *threatening* (загрози). Внутрішні елементи системи (наприклад, урбоекосистеми) відбиваються в основному в *S* і *W*, а зовнішні – в *O* і *T*. *SWOT*-аналіз є ефективним засобом систематичного вивчення та оцінки потенціалу, які система має для реалізації її екологічної місії та відповідних даної місії цілей.

Одним із видів науково-практичної діяльності, де реалізується метод експертної оцінки, є *екологічна експертиза*, що являє собою систему державних природоохоронних заходів, спрямованих на перевірку відповідності проектів, планів і заходів в області господарського будівництва і використання природних ресурсів вимогам захисту довкілля. Екологічна експертиза – це вид науково-практичної діяльності, яку можна

здійснювати ефективно лише на системному підході з використанням методології системного аналізу. Крім того, екологічна експертиза є одним з інструментів системного аналізу НС.

Приклади основних математичних методів та математичних моделей, що використовуються у системному аналізі стану навколишнього середовища, наведені у додатку А.

1.2.4 Основи інструменти системного аналізу навколишнього середовища

Для оцінювання якості НС використовують такі основні інструменти: *оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС), екологічна експертиза (ЕЕ) та екологічна оцінка (ЕО).*

Оскільки дається оцінка планованої діяльності на природне, соціальне та техногенне середовище, то процедура ОВНС є одним з інструментів системного аналізу НС. На відміну від традиційних методів управління, що базуються на застосуванні екологічно орієнтованих норм і правил планування, проектування та будівництва, ліцензування видів діяльності, з яким пов'язаний вплив на НС, для ОВНС характерні превентивність, комплексність підходів та оцінок і демократичність використовуваних процедур. Слід нагадати, що ОВНС – це «процедура обліку» екологічних вимог або їх виявлення та обґрунтування (тобто суто інформаційна міра). Вона реалізується при підготовці оптимального рішення (на стадії намірів чи проектування). ОВНС є процесом дослідження впливу проектованої діяльності та прогнозу його наслідків для НС і здоров'я людини.

Як правило, ОВНС в Україні – це окремий розділ до проектної документації, тобто оцінка впливів розпочинається, коли рішення про впровадження певної господарської діяльності вже фактично прийняте і земельна ділянка під будівництво – відведена. Тобто, ОВНС не передуює прийняттю рішення, не є його складовою, а здійснюється здебільшого – постфактум. При цьому, потенціал ОВНС значно втрачає у своїй економічній значимості, зберігаючи одночасно свою екологічну сутність.

Екологічна експертиза – це «встановлення відповідності» екологічним вимогам вже готового проекту і «визначення допустимості» прийняття рішення про його реалізацію (тобто адміністративна міра). ЕЕ є процесом попередньої контрольної перевірки прийнятих господарських рішень на відповідність вимогам екологічного законодавства.

Найважливішим інструментом системного аналізу НС є *екологічна оцінка*, яка охоплює як *екологічну оцінку проектів (ЕОП)* та проектних задумів, так і оцінку загальної політики, планів і програм країни – *стратегічну екологічну оцінку (СЕО).*

Аналогом системи ЕО в Україні є екологічна експертиза, яка складається з ОВНС та *державної екологічної експертизи (ДЕЕ).* Практика