

природні екосистеми настільки безпрецедентні, що інтуїція дослідника часто-густо відмовляє. Можливості ж експериментування з природними екосистемами зі зрозумілих причин більш ніж обмежені. Звідси зрозумілими стають важливість і актуальність математичного моделювання в екології.

Загалом, системний підхід не є строго методологічною концепцією: він виконує евристичні функції. *Евристичний метод викладання* – метод навідних питань, розрахований на те, що учень самотійно знайде рішення поставленого питання (у Древній Греції під евристикою розуміли систему навчання, яку використав Сократ, коли вчитель наводить учня до самотійного вирішення якого-небудь завдання, задаючи йому навідні запитання). По-перше, його змістовні принципи дозволяють фіксувати недостатність старих, традиційних методів вивчення екосистем для постановки і вирішення нових завдань їх цілісного дослідження. По-друге, поняття і принципи конструктивного системного підходу допомагають створювати нові програми вивчення, орієнтовані на розкриття сутності процесів трансформації енергії, передачі речовини та інформації в екосистемах.

Поняття «системний аналіз». *Системний аналіз* – наука, що займається проблемою прийняття рішення в умовах аналізу великої кількості інформації різної природи. З визначення випливає, що метою застосування системного аналізу до конкретної проблеми є підвищення ступеня обґрунтованості прийняття рішення, розширення безлічі варіантів, серед яких проводиться вибір, з одночасним зазначенням способів відкидання тих, що свідомо поступається іншим. У системному аналізі виділяють: методологію; апаратну реалізацію; практичні додатки. У вузькому розумінні, системний аналіз – це методологія дослідження складних, часто не цілком певних проблем теорії і практики.

Більш детально основи теорії систем, її понятійний апарат, підходи до класифікації, вивчення структури, внутрішніх і зовнішніх функцій систем, а також принципи системного аналізу подані у багатьох підручниках і начальних посібниках (А. І. Уемов, 1978; О. Д. Шаранов та ін., 2003; А. П. Ладанюк, 2004; В. В. Добровольський, 2005; П. С. Гнатів, П. Р. Хірівський, 2010 та ін.).

1.2 Принципи проведення системного аналізу якості навколишнього середовища

1.2.1 Суть системного аналізу

Системний аналіз – сукупність понять, методів, процедур і технологій для вивчення, опису, реалізації явищ та процесів різної природи і

характеру, міждисциплінарних проблем; це сукупність загальних законів, методів, прийомів дослідження таких систем.

Для того щоб отримати інформаційну модель будь-якого реального об'єкта або процесу, необхідно розглянути його з системної точки зору, тобто виконати системний аналіз об'єкта. Завдання системного аналізу – впорядкувати свої уявлення про об'єкт дослідження для того, щоб відобразити їх в інформаційній моделі.

Таким чином, проглядається наступний порядок етапів переходу від реального об'єкта до інформаційної моделі: *реальний об'єкт → системний аналіз → система даних, істотних для моделювання → інформаційна модель*.

Системний аналіз тісно пов'язаний з синергетикою. *Синергетика* – міждисциплінарна наука, що досліджує загальні ідеї, методи та закономірності організації (зміни структури, її просторово-часового ускладнення) різних об'єктів і процесів, інваріанти (незмінні сутності) цих процесів. Синергетика – це наука про самоорганізацію складних систем, про перетворення хаосу в порядок; це теорія виникнення нових якісних властивостей, структур на макроскопічному рівні. Найбільш прийнятним є визначення Г. Хакена (1980): «Синергетика – це міждисциплінарна ділянка дослідження кооперативних процесів самоорганізації в різних системах природи». Як відмічає В. М. Петлін (2013): «Синергетика – це дійсно міждисциплінарний науковий пласт досліджень явищ спрямовано-узгодженого функціонування (в тому числі й самоорганізації) поєднаних складних систем».

Системний аналіз тісно пов'язаний і з філософією. Філософія дає загальні методи змістовного аналізу, а системний аналіз – загальні методи формального, міжпредметного аналізу предметних областей, виявлення та опису, вивчення їх системних інваріантів. Можна дати і філософське визначення системного аналізу: системний аналіз – це прикладна діалектика.

Є такі основні типи ресурсів у природі і в суспільстві:

Речовина – найбільш добре вивчений ресурс, який в основному представлений таблицею Д. І. Менделєєва досить повно і поповнюється не так часто. Речовина виступає як відображення сталості матерії в природі, як міра однорідності матерії.

Енергія – неповністю вивчений тип ресурсів, наприклад, ми не володіємо керованою термоядерною реакцією. Енергія виступає як відображення мінливості матерії, переходів з одного виду в інший, як міра незворотності матерії.

Інформація – мало вивчений тип ресурсів. Інформація виступає як відображення порядку, структурованості матерії, як міра порядку, самоорганізації матерії (і соціуму).

Людина – виступає як носій інтелекту вищого рівня і в економічному, соціальному, гуманітарному сенсі є найважливішим і унікальним ресурсом суспільства, розглядається як міра розуму, інтелекту і цілеспрямованої дії, міра соціального початку, вищої форми відображення матерії (свідомості)

Організація (організованість) виступає як форма ресурсів у соціумі, групі, яка визначає його структуру, включаючи інститути людського суспільства, його надбудови, застосовується як міра впорядкованості ресурсів. Організація системи пов'язана з наявністю деяких причинно-наслідкових зв'язків у цій системі. Організація системи може мати різні форми, наприклад, біологічну, інформаційну, екологічну, економічну, соціальну, тимчасову, просторову, і вона визначається причинно-наслідковими зв'язками в матерії і соціумі.

Простір – міра протяжності матерії (події), розподілу її (його) в навколишньому середовищі.

Час – міра оборотності (необоротності) матерії, подій. Час нерозривно пов'язаний із змінами дійсності.

Можна говорити про різні поля, в які «поміщена» людина, – матеріальному, енергетичному, інформаційному, соціальному, про їх просторові, ресурсні (речовина, енергія, інформація) і тимчасові характеристики.

Відповідно до принципу системного мислення суспільство складається з людей (і, зрозуміло, з громадських інститутів). Кожна людина – також система (біологічна). У людини, в свою чергу існують властиві йому як організму системи, наприклад, система кровообігу. Коли люди взаємодіють з іншими людьми, утворюються нові системи – сім'я, етнос та ін. Ця взаємодія може відбуватися на рівні громадських інститутів, окремих людей (наприклад, соціальні взаємодії) і навіть окремих систем кровообігу (наприклад, при прямому переливанні крові). Відповідно до принципу системного підходу, кожна система впливає на іншу систему. Весь навколишній світ – взаємодіючі системи. Мета системного аналізу – з'ясувати ці взаємодії, їх потенціал і «спрямувати їх на службу людини».

Необхідні *атрибути системного аналізу* як наукового знання:

- 1) наявність предметної сфери – системи і системні процедури;
- 2) виявлення, систематизація, опис загальних властивостей і атрибутів систем;
- 3) виявлення та опис закономірностей та інваріантів у цих системах;
- 4) актуалізація закономірностей для вивчення систем, їх поведінки та зв'язків з навколишнім середовищем;
- 5) накопичення, зберігання, актуалізація знань про системи (комунікативна функція).

Системний аналіз базується на *ряді загальних принципів*, серед яких:

– *принцип дедуктивної послідовності* – послідовного розгляду системи за етапами: від оточення та зв'язків з цілим до зв'язків частин цілого;

– *принцип інтегрованого розгляду* – кожна система має бути нероз'ємною, як ціле, навіть при розгляді лише окремих підсистем системи;

– *принцип узгодження ресурсів і цілей розгляду*, актуалізації системи;

– *принцип безконфліктності* – відсутності конфліктів між частинами цілого, що призводять до конфлікту цілей цілого і частини.

У світі системне все: практика і практичні дії, знання і процес пізнання, навколишнє середовище та зв'язки з ним (у ньому).

Системний аналіз як методологія наукового пізнання структурує все це, дозволяючи досліджувати і виявляти інваріанти (особливо приховані) об'єктів, явищ та процесів різної природи, розглядаючи їх спільне та відмінне, складне і просте, ціле та частини.

Навколишній світ нескінченний у просторі і в часі; людина існує кінцевий час, розташовуючи при реалізації мети кінцевими ресурсами (матеріальними, енергетичними, інформаційними, людськими, організаційними, просторовими і тимчасовими).

Суперечності між необмеженістю бажання людини пізнати світ і обмеженою (ресурсами, невизначеністю) можливістю зробити це, між нескінченністю природи і закінченням ресурсів людства, мають багато важливих наслідків, у тому числі – і для самого процесу пізнання людиною навколишнього світу. Одна з таких особливостей пізнання, яка дозволяє поступово, поетапно вирішувати ці суперечності: використання аналітичного і синтетичного способу мислення, тобто поділу цілого на частини та подання складного у вигляді сукупності більш простих компонент, і навпаки, поєднання простих та побудови складного. Це також відноситься і до індивідуального мислення, і до суспільної свідомості, і до всього знання людей, і до самого процесу пізнання.

До розвитку системного аналізу в сучасному науковому світі існує декілька підходів – філософський, математичний і прикладний. Системний аналіз учені розглядають як основу наукового мислення методологію з одночасним конкретним застосуванням на практиці, а саме: використання специфічного комплексу методів і прийомів проектування, прогнозування, прийняття рішень та аналізу проблемних ситуацій.

Як зазначено вище, системний аналіз НС – це загальнометодологічний принцип використання узагальненої теорії систем у сучасній екології, з одного боку, а з іншого – системний аналіз результат екологічних досліджень у прагненні вивчення явищ і процесів у навколишньому середовищі та зв'язків між ними повною мірою.

Системний аналіз НС включає: 1) філософські аспекти в екології та методологію системного аналізу зовнішнього середовища; 2) теорію

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: