

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ, ІНСТРУМЕНТИ ТА МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

1.1 Базові поняття системного аналізу якості навколишнього середовища

Для розгляду теоретичних основ системного аналізу необхідно проаналізувати основні *дефініції* (від фр. *définition* – пояснення, тлумачення, визначення слова, поняття або предмета) цієї дисципліни, які в науковій літературі з сучасної екології, енвайронментології та природокористуванні трактуються неоднозначно.

Поняття «навколишнє середовище». Широко використовується термін «навколишнє середовище» (НС) під яким розуміють всю сукупність зовнішніх для людини чинників. Деякі автори вважають цей термін невдалим, оскільки незрозуміло кого середовище оточує. У зв'язку з цим М. Ф. Реймерс (1990) пропонує інший термін – *середовище, що оточує людину*, тобто сукупність абіотичного, біотичного та соціального середовищ, які сумісно і безпосередньо впливають на людей та їх господарство. У середовищі, що оточує людину, він виділяє:

- *інтимне середовище* (житло, інші штучні споруди, родина, сусіди, робочий колектив), де людина проводить 60-90 % всього часу життя;
- *ближнє середовище* (населений пункт – від невеликого селища до мегаполісу, включаючи зелені зони, оточення земляків і т.п.);
- *дальнє або регіональне середовище* (частина НС, що забезпечує людей основною масою продовольства і рекреацією, оточення рідного етносу тощо);
- *глобальне середовище* (біосфера в цілому);
- *реальне середовище*, яке широко використовує людина;
- *потенційне середовище*, що не використовується людиною або незначно використовується лише частина регіонального середовища, а також райони для можливого освоєння в перспективі.

Стосовно до людини навколишнє середовище включає:

- 1) *природний компонент* – природні ландшафти;
- 2) *техногенний компонент* – створені людиною поселення, промислові підприємства, сільськогосподарські угіддя, середовище житла і т.п.;
- 3) *соціально-економічний компонент* – культурно-технологічний клімат, економічна забезпеченість, вплив людей один на одного та інші компоненти.

За М. Ф. Реймерсом (1990), *природне середовище, що оточує людину* («навколишнє природне середовище» – НПС) – це сукупність природних і

незначно змінених діяльністю людей біотичних і абіотичних природних факторів, що впливають на людину. Відрізняється від інших складових навколишнього середовища людини властивістю самопідтримки і саморегуляції без коригувального впливу людини.

Природне середовище – поняття близьке, але незалежне від безпосередніх контактів з людиною; може розглядатися не тільки щодо людини, але й до тварин, рослин та інших живих організмів.

Таким чином, *навколишнє середовище* можна розглядати як *складну систему*, що складається з *природної* (сукупність абіотичних та біотичних) і *соціальної* (соціально-економічної) *підсистем*. Наприклад, оцінюючи вплив на навколишнє середовище (ОВНС), навколишнє середовище (систему) розглядають як сукупність природного, соціального і техногенного середовищ (підсистем).

Поняття «якість навколишнього середовища». Поняття «якість навколишнього середовища», «захист навколишнього середовища» та «охорона навколишнього середовища» нерозривно пов'язані між собою.

Захист середовища – це комплекс міжнародних, державних, регіональних і локальних адміністративних, правових, технологічних, планових, управлінських, економічних, соціальних, політичних та громадських заходів, спрямованих на охорону навколишнього середовища людини в цілому або природного середовища проживання людей і біоти (М. Ф. Реймерс, 1990).

Охорона середовища (життя) – сукупність заходів, спрямованих на збереження природи Землі в стані, відповідному еволюційним потребам сучасної біосфери та її живої речовини, включаючи людину (М. Ф. Реймерс, 1990).

Охорона навколишнього природного середовища – це система державних та громадських заходів, спрямованих на забезпечення гармонійної взаємодії системи «суспільство-природа» на основі збереження та відтворення природних об'єктів; їх раціонального використання; поліпшення якості життєво необхідного середовища проживання людини.

Об'єкти охорони природного середовища поділяються на:

- *глобальні* (озоновий шар атмосфери, атмосферне повітря, генетичний фонд, природні екосистеми Землі);
- *окремі природні компоненти* (надра Землі, ґрунти, води, повітря, флора, фауна);
- *території та об'єкти природи, що особливо охороняються.*

Наскільки ефективно захищають та охороняють навколишнє середовище, можна судити за його якісними характеристиками.

Якість – це ступінь відповідності будь-яких властивих характеристик встановленим вимогам.

Якість екологічна – сукупність властивостей, ознак, умов навколишнього середовища, продукції, послуг, робіт, які визначають їхню здатність задовольняти екологічні потреби суспільства і вимоги екологічних стандартів (*Екологічна енциклопедія*, 2008, Т.3, с. 388).

Якість середовища – ступінь відповідності природних умов потребам людей або інших живих організмів (*М. Ф. Реймерс*, 1990).

За *І. І. Дедю* (1990), *якість навколишнього середовища* – поняття екологічне, антропоцентричне, що відображає суб'єктивно-об'єктивні відношення. Критерієм якості навколишнього середовища людини виступає стан його здоров'я. Якість навколишнього середовища – відносне поняття. Наприклад, один і той самий стан властивостей ландшафту може охарактеризуватись як неоднаковий за якістю для різних груп населення (наприклад, діти – дорослі, здорові – хворі, аборигени – мігранти і т. д.).

У словнику термінів Міністерства надзвичайних ситуацій (2010 р.) під «*якістю навколишнього середовища*» розуміють ступінь відповідності стану навколишнього середовища потребам людини та інших живих організмів.

Середовище оцінюють як *комфортне*, при оптимальних взаємовідношеннях людини з середовищем, коли здоров'я людини перебуває в нормі або поліпшується. Середовище вважають *дискомфортним*, якщо взаємовідношення людини з середовищем супроводжуються відхиленнями у стані здоров'я від норми. Середовище вважають *екстремальним*, якщо при взаємовідношеннях людини з середовищем спостерігаються серйозні незворотні зміни в стані здоров'я населення.

Якість навколишнього середовища – не застигле поняття, воно може змінюватися в часі в зв'язку із змінами реакції людини на середовище (зміни можуть бути пов'язані, з одного боку, з адаптацією організму, з іншого боку – з накопиченням у ньому негативних чи позитивних наслідків).

Зазвичай оцінка якості навколишнього середовища виконується за допомогою порівняння спостережуваних (вимірюваних) станів компонентів ландшафту з нормативами, нормами, стандартами біологічної, хімічної, фізичної безпечності атмосферного повітря, природних вод, ґрунтів, вмістом у них сторонніх або токсичних речовин, наприклад, шляхом зіставлення з гранично допустимими концентраціями (ГДК) забруднювальних речовин (ЗР).

Якість середовища до активного втручання людини забезпечувалася самою природою шляхом саморегуляції, самоочищення від чужорідних агентів нетехногенного походження. Всім природним процесам властивий циклічний (замкнутий) характер на відміну від штучних. Приблизно зі 100% створюваної речовини і енергії людство використовує лише десять і навіть менше відсотків, все інше у вигляді забруднень надходить і

накопичується в біосфері, а останнім часом частина відходів виводиться за межі біосфери в область навколоземного космічного простору.

Таким чином, *якість навколишнього середовища* – це система взаємопов'язаних характеристик довкілля, в першу чергу компонентів природного середовища (атмосферного повітря, природних вод, ґрунтів, геологічного середовища, біоти), що відображають їх здатність без відхилення здійснювати своє призначення.

У цьому зв'язку, необхідно зупинитися на характеристиці якості компонентів навколишнього природного середовища.

Якість атмосфери – це сукупність властивостей атмосфери, які визначають ступінь впливу фізичних, хімічних та біологічних факторів на людей, рослинний і тваринний світ, а також на матеріали, конструкції і навколишнє середовище загалом. Якість атмосфери регламентується стандартами, де розглядаються показники якості атмосферного повітря за ступенем забрудненості, правила контролю якості повітря населених пунктів і т.д. Атмосферне повітря лише умовно можна вважати «невичерпним» природним ресурсом, оскільки під впливом антропогенної діяльності погіршуються його фізико-хімічні властивості, а в деяких промислових містах стан атмосферного повітря вже не відповідає вимогам екологічної безпеки (В. В. Тарасова та ін., 2007).

Оскільки атмосфера є досить потужною і складною геосферою, то логічніше говорити про якість повітря в приземному шарі атмосфери, тобто про ступінь відповідності його фізико-хімічних і біологічних характеристик потребам людини та/або технологічним вимогам (М. Ф. Реймерс, 1990).

Якість води – це характеристика складу і властивостей, що визначає придатність води для конкретних видів використання або споживання (М. О. Клименко, П. М. Скрипчук, 2006; В. В. Тарасова та ін., 2007). Згідно з «Водним кодексом України» (1995), оцінка якості води здійснюється на основі нормативів екологічної безпеки водокористування та екологічних нормативів водних об'єктів комунально-побутового, господарсько-питного і рибогосподарського призначення.

Якість водних об'єктів – це сукупність властивостей води, що визначають ступінь впливу фізико-хімічних та біологічних факторів на людей, рослинний і тваринний світ та навколишнє середовище в цілому. Регламентується стандартами, де розглядаються основні терміни та визначення, правила контролю якості води водойм і водотоків, оцінка якості джерел централізованого господарсько-питного водопостачання, гігієнічні вимоги та контроль якості питної води і т.д. При цьому враховують фізичне (теплове і радіоактивне), хімічне та біологічне (в основному бактеріальне) забруднення (В. В. Тарасова та ін., 2007).

За М. Ф. Реймерсом (1990), якість води – це ступінь відповідності показників якості води потребам людей та/або технологічним вимогам. Їм

дано дещо інше визначення *якості природних вод* – ступінь відповідності фізико-хімічних і біологічних характеристик вод потребам питного, промислового, сільськогосподарського використання, як місць існування гідробіонтів. У «*Екологічній енциклопедії*» (2008, Т. 3, с. 388), під якістю води мають на увазі «характеристика складу і властивостей води як компонента водної екосистеми і життєвого середовища гідробіонтів, а також у контексті придатності її в конкретних цілях водокористування». За визначенням *С. М. Юрасова та ін.* (2012), *якість природних вод* – це їх стан, представлений набором показників, який відображає потреби користувачів у складі й властивостях вод.

Якість ґрунтів – це сукупність фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунтів, що визначають їх безпеку в епідеміологічному та гігієнічному відношеннях. Визначається *якість ґрунтів* за показниками їх санітарного стану, за комплексом критеріїв (санітарно-хімічних і санітарно-мікробіологічних).

Якість ґрунтів регламентується стандартами, де розглядаються номенклатура показників санітарного стану ґрунтів, методи відбору та підготовки проб для хімічного, бактеріологічного і гельмінтологічного аналізу тощо (*В. В. Тарасова та ін.*, 2007).

Крім зазначених, існує система стандартів у галузі безпеки та захисту навколишнього середовища, праці та життєдіяльності населення (стандарти професійної безпеки та промислової гігієни; стандарти безпеки праці та захисту від шумового і вібраційного забруднення; стандарти безпеки праці та захисту від радіаційного забруднення); стандарти системи якості та управління якістю; система стандартів відповідності продукції вимогам природоохоронного законодавства тощо (*М. О. Клименко, П. М. Скрипчук*, 2006; *В. В. Тарасова та ін.*, 2007).

Характеристика якості компонентів НПС, як правило, обмежується відомостями про *якість повітря, води і ґрунтів* і, на жаль, зазвичай не розглядається *якість геологічного середовища та біоти*. *Якість цих природних компонентів* не регламентується і відповідними стандартами.

Якість геологічного середовища – це сукупність ресурсних, геодинамічних, геохімічних та геофізичних функцій геологічного середовища (еколого-геологічних особливостей), які відображають умови функціонування біоти (у т. ч. людини) і техногенних об'єктів у даному обсязі земної кори.

Якість біоти – це сукупність властивостей продуцентів, консументів та редуцентів, що сприяє підтримці рівноважного стану (гомеостазу) екосистеми, джерела отримання необхідних людям матеріальних і духовних благ.

Система критеріїв якості навколишнього середовища характеризує основні події, що відбуваються в цьому середовищі і важливі при визначенні якості життя. Можна виділити сім критеріїв якості НС:

1) *геономічні* – характеризують явища і процеси, що зумовлюють фізико-географічні та біокліматичні відмінності ділянок земної поверхні;

2) *біогеохімічні* – характеризують природні біогеохімічні цикли та їх порушення;

3) *екогенетичні* – відображають процеси історичного перетворення біоценозів та екосистем у цілому;

4) *ценологічні* – описують видовий склад біоценозів і різноманітність у них живих організмів;

5) *продукційно-біологічні* – характеризують продуктивність популяцій і біоценозів досліджуваної ділянки земної поверхні;

6) *геогігієнічні* – відображають природну здатність атмосферного повітря, природних вод і ґрунтів зберігати свої властивості;

7) *санітарні* – відображають ефективність штучних заходів, спрямованих на збереження та відновлення важливих для людини і біосфери параметрів атмосферного повітря, природних вод та ґрунтів.

Нерідко для оцінки НС застосовують поняття «комфортність». Оцінка комфортності включає аналіз різноманітних параметрів, що відображають кліматичні чинники, особливості рельєфу, геологічної будови, характеристики підземних і поверхневих вод, рослинного і тваринного світу, епідеміологічного стану регіону тощо.

Поняття «якість життя». *Якість життя* – «сукупність показників життя індивідів або групи людей, яка характеризує ступінь забезпеченості матеріальних і культурних потреб та інтересів людей» (*Екологічна енциклопедія*, 2008, Т. 3, с. 389).

За визначенням Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), *якість життя* – «сприйняття індивідом його положення в житті у контексті культури і системи цінностей, в яких він живе, та у зв'язку з цілями, очікуваннями, стандартами й інтересами індивіда».

З *біологічної точки зору*, *якість життя* – це система взаємопов'язаних характеристик атмосферного повітря, природних вод і ґрунтів, а також умов харчування та індивідуального розвитку організмів. Саме від цих характеристик залежить життєдіяльність, збереження і відтворення організмів, а також їх угруповань.

З *точки зору людини як біосоціального виду*, *якість життя* відображає ступінь відповідності середовища проживання соціально-психологічним установам особистості.

Критерії якості життя настільки ж різноманітні й багатопланові, як і критерії, що визначають *якість* навколишнього середовища. Можна виділити сім таких критеріїв:

1) *біогігієнічні* – характеризують стан здоров'я людини;

2) *соціологічні* – дозволяють оцінити взаємодії людей;

3) *демографічні* – оцінюють чисельність, віковий і статевий склад людських популяцій;

4) *нозологічні* – відображають захворюваність;

5) *популяційно-генетичні* – характеризують частоту виникнення та прояви спадкових патологій, відображаючи в цілому особливості мутаційного процесу в популяціях;

6) *трофічні* – оцінюють оптимальність, збалансованість і умови харчування;

7) *санітарні* – дозволяють оцінити ефективність заходів щодо створення умов для збереження нормальної життєздатності організмів при порушенні довкілля.

Якість життя визначається інтегральними параметрами якості та безпеки НПС, життєдіяльності людства, економічної та соціальної громадської діяльності, сталого розвитку і зумовлюється рівноправністю, доступністю економічного, соціального стану і орієнтованістю на духовні, екологічні цінності цивілізації в період глобалізації. Тому, визначення критеріїв якості життя потребує нормативного забезпечення, науково-методичного обґрунтування та системного аналізу. Якість життя багато в чому залежить від параметрів якості атмосфери, природних вод, ґрунтів, геологічного середовища та біоценозів.

Важливою філософсько-соціологічної категорією, що має безпосереднє відношення до екології людини, є «*спосіб життя*». Це поняття охоплює сукупність типових видів життєдіяльності індивіда, соціальної групи, суспільства в цілому. Спосіб життя найтіснішим чином пов'язаний з умовами життя і ними визначається. Можна визначити *спосіб життя людини* як сукупність матеріальних умов, суспільних соціальних установок (культури, звичаїв і т.д.) і природних факторів, що становлять у своїй єдності умови поведінки особистості і зворотний вплив її на ці умови.

Якість навколишнього середовища та екологічні стандарти.
Нормування якості навколишнього природного середовища (НЯНПС) – це процес розробки і додання юридичної норми науково обґрунтованим нормативам у вигляді показників гранично допустимого впливу людини на природу. Це встановлення системи нормативів (показників) гранично допустимого впливу людини на НПС.

Завданням НЯНПС є: встановлення гранично допустимих норм впливу на природу; гарантованість екологічної безпеки населення; збереження генетичного фонду флори, фауни, людини; раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Норма – це міра впливу.

Гранично допустима норма – це така міра впливу на природу, за якої стабільно забезпечується нормальний процес обміну речовини, енергії, інформації в екологічних системах Землі. Це законодавчо встановлені допустимі норми впливу людини на НПС. Дотримання екологічних нормативів, що визначають якість НПС, забезпечує: екологічну безпеку

населення; збереження генофонду біоти (включаючи людину); раціональне використання і споживання природних ресурсів тощо.

Нормативи якості оцінюють за трьома показниками:

1) *медичними*, які встановлюють пороговий рівень загрози здоров'ю людини, його генетичній програмі;

2) *технологічними* – які оцінюють рівень встановлених меж техногенного впливу на людину і НПС;

3) *науково-технологічними*, що оцінюють можливість наукових і технічних засобів контролювати дотримання меж впливу за всіма характеристиками.

Широкої популярності набули нормативи ГДК, ГДР, ГДВ, ГДС. До нормативів якості навколишнього середовища відносяться нормативи хімічних, фізичних, біологічних показників стану середовища.

Якість навколишнього природного середовища – це ступінь відповідності природних умов фізіологічним можливостям людини. Звідси випливає, що для збереження здоров'я населення нашої країни необхідно стежити за якістю НПС. Для цього розроблені наукові оцінки якості НПС, які називаються стандартами якості НПС.

Екологічні стандарти встановлюють гранично допустимі норми антропогенного впливу на НПС, перевищення яких несе небезпеку здоров'ю людини, є згубним для рослинності і тварин. Дані норми встановлюються у вигляді гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин і гранично допустимих рівнів (ГДР) шкідливого впливу фізичних полів.

ГДК – це кількість шкідливої речовини у природному середовищі, віднесена до маси або об'єму її конкретного компонента, яка за постійного контакту або за впливу в окремий проміжок часу практично не впливає на здоров'я людини і не спричиняє несприятливі наслідки у його потомства. При визначенні ГДК, підкреслюють *Т. А. Акімова та ін.* (2001), враховується не тільки ступінь впливу ЗР на здоров'я людини, а також і вплив їх на природні угруповання в цілому. ГДК з кожним роком все більше встановлюються для ЗР у повітрі, воді, ґрунті. Так, у даний час розроблені ГДК для 200 ЗР у повітряному середовищі і понад 600 ЗР у водному середовищі. ГДР шкідливого фізичного впливу встановлюються, як правило, для шумового та електромагнітного забруднення.

Виробничо-господарські стандарти якості НС регламентують екологічно безпечний режим роботи виробничого, комунально-побутового та інших об'єктів. До даного виду стандартів якості відносяться гранично допустимий викид (ГДВ) ЗР у навколишнє середовище і гранично допустимий скид (ГДС) ЗР у водойми і водотоки конкретними техногенними джерелами (підприємствами) тієї чи іншої території. Близько 2 млн т, не враховуючи мінеральних добрив, становить загальна кількість речовин, які щорічно потрапляють у біосферу. Менше гранично

допустимого значення може бути концентрація кожної з цих речовин, але сумісна їх наявність спричиняє такий самий ефект, як і при їх вмісті, що перевищує ГДК. Це явище називається *ефектом сумачії дії*. Такий ефект, наприклад, мають такі сполучення ЗР: ацетон – фенол, діоксид сірки – фенол, діоксид сірки – сірководень та ін.

Наприклад, якщо для даного територіально-виробничого комплексу перевищено значення ГДВ, то прийняття рішень не обмежує заходи тільки впливами на технологічні процеси або засоби очищення, які повинні зменшити інтенсивність і небезпечність емісії ЗР. Можуть бути й інші варіанти: перерозподіл і переміщення потужності джерел, заміна технології, збільшення санітарно-захисної зони, відселення людей із зони активного впливу джерела і т.д.

Забрудненням НПС зазвичай вважають привнесення в середовище нових, не характерних для нього фізичних, хімічних і біологічних агентів або перевищення природного середнього багаторічного рівня цих агентів в середовищі. Забруднення може зумовлювати будь-який фізичний агент, хімічна речовина або біологічний вид (в основному – мікроорганізми), які є у довкіллі або утворюються у ньому в кількостях, вищих за природні. Забрудненням НПС можна назвати зміну якості середовища, здатну викликати негативні наслідки. За походженням забруднення поділяють на природне й антропогенне. Вважають, що однакові агенти справляють однакові негативні впливи незалежно від їх походження, тому пил, джерелом якого є природне явище (наприклад, пилові бурі), потрібно вважати такою ж ЗР, як і пил, який викидає промислове підприємство, хоча останній може бути більш токсичним у силу свого складного складу.

Існують *верхня і нижня критичні межі забруднення НС*, досягнення яких загрожує настанням незворотних зрушень у біологічній системі і в її окремих ланках. Деякі речовини (наприклад, важкі метали) в значних кількостях є сильними токсикантами, а в малих дозах вони необхідні, оскільки зменшення їх вмісту в організмі людини нижче від критичної величини спричиняє важкі функціональні розлади. Здоров'ю шкідливі як зайве шумове навантаження, так і відсутність звуків; те ж можна сказати і про електромагнітні поля, температурні навантаження, оптичні явища та інші фізичні, а також біологічні, інформаційні та інші параметри.

Взаємодія людини з середовищем проживання може бути позитивною чи негативною, і характер взаємодії визначають потоки речовин, енергій та інформацій. *Негативні впливи* зумовлені елементами техносфери (машини, технічні споруди тощо) і діями людини.

Змінюючи величину будь-якого потоку маси, енергії, інформації, дій людини від мінімально значущої до максимально можливої, можна пройти ряд характерних станів взаємодії в системі «людина – середовище проживання»:

1) *комфортне* (оптимальне), коли потоки відповідають оптимальним умовам взаємодії;

2) *допустиме*, коли потоки, впливаючи на людину та середовище проживання, не мають негативного впливу на здоров'я, але приводять до дискомфорту, знижуючи ефективність діяльності людини;

3) *небезпечне*, коли потоки перевищують допустимі рівні і чинять негативний вплив на здоров'я людини, викликаючи при тривалому впливі захворювання, та/або призводять до деградації природного середовища;

4) *надзвичайно небезпечне*, коли потоки високих рівнів за короткий період часу можуть нанести травму, привести людину до летального результату, спричинити руйнування в природному середовищі.

Критерії безпеки техносфери – це обмеження, яке вводять на концентрації речовин і потоки енергій в життєвому просторі.

Нормативи якості навколишнього середовища – нормативи, які встановлені відповідно з фізичними, хімічними, біологічними та іншими показниками для оцінки стану НС і при дотриманні яких забезпечується сприятливе довкілля.

У ряді країн національні стандарти з управління якістю навколишнім середовищем існують з середини 1970-х рр. У першу чергу, вони розроблялися і застосовувалися з метою забезпечення якості на етапах проектування і виробництва в найважливіших галузях промисловості – авіації, космонавтиці, виробництві військової техніки тощо.

Дослідженням критеріїв якості займається *екологічна квалітологія* (квалітологія – наука про якість) – комплексна наука з визначення якісних показників складових і об'єктів навколишнього середовища, систем управління та якості виробників товарів, послуг для впровадження екологічно-орієнтованих рішень (М. О. Клименко, П. М. Скрипчук, 2003, 2006).

Поняття «система». Під системою мають на увазі будь-який об'єкт, що складається з безлічі взаємозалежних частин і існує як єдине ціле.

Система – це набір елементів, котрі взаємодіють (Л. фон Берталанфі, 1960). Елемент системи через ієрархічну структуру світу сам виявляється системою зі своїми елементами. Фіксація системи поділяє світ на дві частини – на систему і середовище. При цьому підкреслюється велика сила зв'язків елементів усередині системи в порівнянні з силою зв'язків з елементами середовища. Під системою мають на увазі також «впорядковані взаємодіючі і взаємозалежні компоненти, що утворюють єдине ціле».

Системи поділяються на:

1) *матеріальні* (дерево, будівля, людина, планета Земля, Сонячна система тощо);

2) *нематеріальні* (людський мова, мова програмування, математика тощо);

3) *змішані* (університет, включає в себе як матеріальні частини – будівлю, обладнання, підручники та ін., так і нематеріальні частини – стандарти освіти, навчальні плани, програми, розклад занять і т.д.).

Все розмаїття існуючих систем можна розділити на дві категорії:

- 1) *природні системи* – існуючі в природі (Сонячна система, біосфера);
- 2) *штучні системи* – створені людиною (комп'ютер, автомобіль, різні техногенні об'єкти і т.д.).

Для будь-якої штучної системи існує мета її створення людиною (комп'ютер – працювати з інформацією, автомобіль – перевозити людей і вантажі, завод – виробляти продукцію і т.п.); в системології штучну систему визначають як «засіб досягнення мети».

Доцільністю системи визначається її *склад* і *структура*.

Склад системи – це безліч частин, які входять до неї. Як приклад системи можна розглянути об'єкт – персональний комп'ютер, складовими частинами якої є системний блок, клавіатура, монітор, принтер, мишка. Кожна з цих частин – це теж система, що складається з безлічі взаємозалежних частин. Іншим прикладом може бути озеро – природна екосистема, що складається з сукупності і взаємозв'язку біотопу і біоценозу. У свою чергу, складові біотопу (водна товща, донні відкладення) і біоценозу (продуценти, консументи і редуценти) також складаються з сукупності взаємопов'язаних компонентів нижчого порядку. Наприклад, у межах біоценозу можна виділити: біотичні угруповання – популяції – види – особини – органи – тканини – клітини – молекули (гени). Систему, що входить до складу якоїсь іншої, більш великої системи, називають *підсистемою*.

Концепція екосистем за Ю. Одумом (1986) є чільною в сучасній екології. Всі спільно функціонуючі організми на даній ділянці (біоценоз) які взаємодіють з фізико-хімічним середовищем (біотопом) таким чином, що потік енергії створює чітко визначені біотичні структури та кругообіг речовин між живою в неживій частинами, являє собою *екосистему*.

Структура системи. Будь-яка система визначається не тільки складом своїх частин, але також порядком і способом об'єднання цих частин в єдине ціле. Всі частини (елементи) системи перебувають в певних відносинах або зв'язках один з одним. *Структура* – це сукупність зв'язків між елементами системи, внутрішня організація системи.

Складність системи на «структурному рівні» задається числом її елементів і зв'язків між ними. Надати визначення «складності» в цьому випадку надзвичайно важко: дослідник стикається з так званим «ефектом купи» (одна куля – не купа, дві кулі – не купа, три – не купа, сто куль – купа, дев'яносто дев'ять – купа; так де ж межа між «купою» і «не купою?»). (Д. І. Башмаков, 2004).

Зв'язки в системах бувають *матеріальними* та *інформаційними*. У природних системах неживої природи (космічні системи, атоми і молекули

і т.п.) зв'язки носять тільки матеріальний характер, а в системах живої природи існують зв'язки матеріальні та інформаційні. Інформаційні зв'язки – це обмін інформацією між частинами системи, що підтримує її цілісність і функціональність. Очевидно існування інформаційних зв'язків у тваринному світі, в людському суспільстві. У технічних системах, що використовуються в інформаційній сфері (радіо, телебачення, комп'ютерні мережі), також діють зв'язки інформаційного типу.

Системний ефект – будь-яка система набуває нових якостей, не притаманних її складовим частинам. Поява нової якості у системи називається системним ефектом. Ця ж властивість виражається фразою: «Ціле більше від суми своїх частин».

Наші уявлення про реальні системи носять наближений, *модельний характер*. Описуючи в будь-якій формі реальну систему, ми створюємо її інформаційну модель.

Залежно від особливостей системи-оригіналу і завдань дослідження використовують найрізноманітніші моделі.

За типом реалізації розрізняють реальні та знакові моделі.

Реальна модель відображає суттєві риси оригіналу вже за самою природою своєї фізичної реалізації (наприклад, акваріум як модель природних водойм).

Знакова модель – це умовний опис системи-оригіналу за допомогою даного алфавіту символів і операцій над символами, в результаті чого отримують слова і словосполучення деякої мови, які за допомогою певного коду інтерпретуються як образи деяких властивостей елементів системи-оригіналу і зв'язків між ними.

Концептуальна модель представляє собою більш формалізований і систематизований варіант традиційного опису досліджуваної природної екосистеми, що складається з наукового тексту, супроводжуваного блок-схемою системи, таблицями, графіками та іншим ілюстративним матеріалом.

При кількісному вивченні динаміки екосистем набагато ефективніші методи *математичного моделювання*. Якщо знайдено точний аналітичний вираз, що дозволяє для будь-яких вхідних функцій і початкових умов безпосередньо визначати значення змінних стану в будь-який потрібний момент часу, то модель прийнято називати *аналітичною*. Водночас, якщо сукупність рівнянь та нерівностей не суперечлива і сповнена, то нерідко вдається знайти алгоритм чисельного рішення цих рівнянь на ЕОМ. Такі моделі називаються *чисельними (імітаційними)*.

Залежно від ступеня визначеності передбачення моделі діляться на детерміновані і стохастичні (ймовірні). У *детермінованій моделі* значення змінних стану визначаються однозначно (з точністю до помилок обчислення). *Стохастична модель* для кожної змінної стану дає розподіл

можливих значень, що характеризується такими імовірнісними показниками.

За характером тимчасового опису динаміки змінних стану розрізняють *дискретні* і *неперервні моделі*. Дискретна модель описує поведінку системи на фіксованій послідовності моментів часу $t_0 < t_1 < \dots < t_n$, тоді як у неперервній моделі значення змінних стани можуть бути розраховані для будь-якої точки t розглянутого інтервалу.

Розглянемо три різновиди інформаційних моделей систем: модель чорного ящика; модель складу; структурна модель.

Модель «чорного ящика». Будь-яка система – це щось цілісне і виділене з навколишнього середовища. Система і середовище взаємодіють між собою. У системології використовуються уявлення про входи і виходи системи. Вхід системи – це вплив, на систему з боку зовнішнього середовища, а вихід – це вплив, який чинить система на навколишнє середовище. Таке уявлення про систему називається моделлю «чорного ящика».

Модель складу системи дає опис входять до неї елементів і підсистем, але не розглядає зв'язків між ними.

Структурну модель системи ще називають *структурною схемою* (рис. 1.1). На структурній схемі відбивається склад системи та її внутрішні зв'язки. Поряд з терміном «зв'язок» нерідко вживають термін «ставлення».

Основні *принципи системології* (науки про системи):

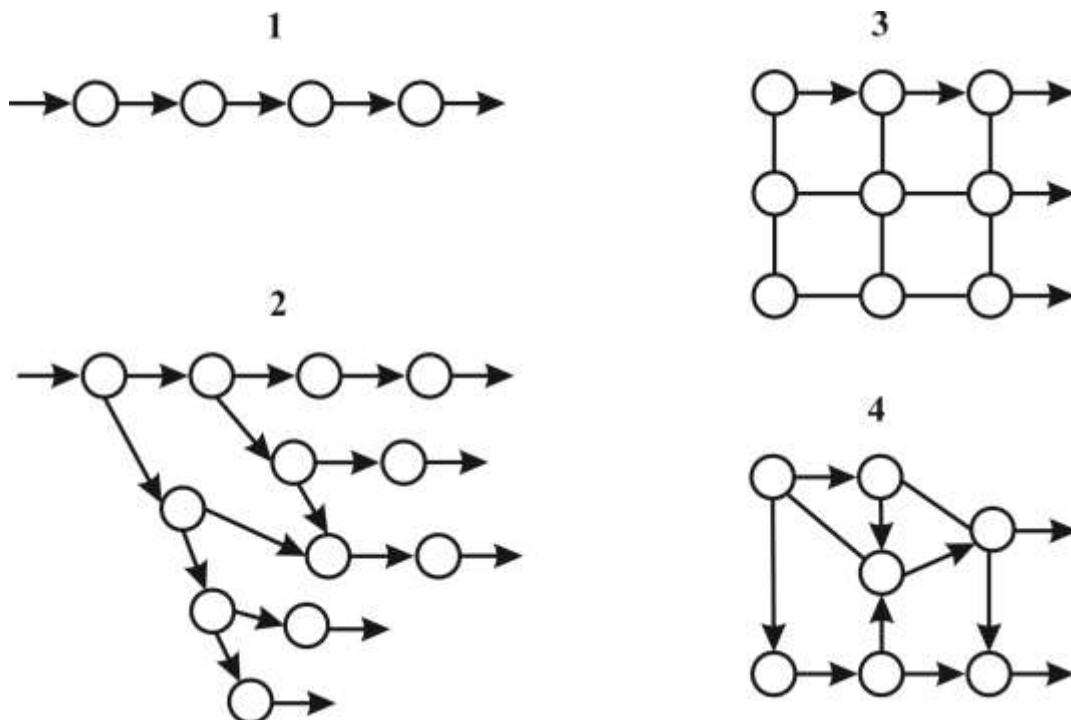


Рисунок 1.1 – Схема моделі структури системи: 1 – лінійна; 2 – деревоподібна; 3 – матрична; 4 – мережева

1. *Принцип емерджентності* – у міру об'єднання компонентів (підмножин) в більш великі функціональні одиниці, у цих нових одиниць виникають нові властивості, відсутні на попередньому рівні.

2. *Принцип ієрархічної організації (принцип інтегративних рівнів Ю. Одума)* – принцип супідрядності один одному як природних, так і штучних систем.

3. *Принцип несумісності Л. Заде* – складність системи і точність, з якою її можна аналізувати, пов'язані зворотною залежністю.

4. *Принцип контрінтуїтивної поведінки Дж. Форрестера* – дати задовільний прогноз поведінки складної системи на досить великому проміжку часу, спираючись лише на власний досвід та інтуїцію, практично неможливо.

5. *Принцип множинності моделей В. В. Налимова* – для пояснення і передбачення структури та/або поведінки складної системи можливо побудова декількох моделей, що мають однакове право на існування.

6. *Принцип здійсненності Б. С. Флейшмана* – ми не сподіваємося на везіння і у нас мало часу; системологія розглядає тільки ті моделі, для яких алгоритм здійснимо, тобто рішення може бути знайдено з заданою вірогідністю p_0 час t_0 .

7. *Принцип формування законів* – закони системології носять дедуктивний характер і ніякі реальні явища не можуть спростувати або підтвердити їх справедливість.

8. *Принцип рекурентного пояснення властивості систем даного рівня ієрархічної організації світу* пояснюються, виходячи з властивостей елементів цієї системи, що з постулюються, і зв'язків між ними.

9. *Принцип мінімаксної побудови моделей* – теорія повинна складатися з простих моделей (*min*) систем наростаючої складності (*max*).

Поняття «системний підхід». Системний підхід – це напрям методології наукового пізнання, в основі якого лежить розгляд об'єкту як системи, тобто сукупності взаємодіючих об'єктів (Л. фон Берталанфі, 1960), що дозволяє досліджувати складні властивості і відносини в об'єктах.

Системний підхід полягає у тому, що будь-який малий чи великий складний об'єкт потрібно розглядати як відносно самостійну, креативну систему зі своїми особливостями функціонування та еволюції. Ґрунтуючись на ідеях цілісності і відносної незалежності об'єктів, що перебувають у цілісному світі, принцип системності передбачає розгляд досліджуваного об'єкта як певної системи, котру описують за (П. С. Гнатів, П. Р. Хірівський, 2010):

- а) елементним (компонентним) складом;
- б) структурою як формою зв'язку елементів;
- в) функціями елементів і цілого;

г) єдністю внутрішнього і зовнішнього середовища системи; законами розвитку системи та її складників.

Основні принципи системного підходу:

– *цілісність*, що дозволяє розглядати одночасно систему як єдине ціле і в той самий час як підсистему для вищих рівнів;

– *ієрархічність будови*, тобто наявність безлічі (принаймні, двох) елементів, розташованих на основі підпорядкування елементів нижчого рівня елементам вищого рівня. Реалізацію цього принципу добре видно на прикладі будь-якої конкретної організації. Як відомо, будь-яка організація являє собою взаємодію двох підсистем: керуючої і керованої. Одна підпорядковується іншій.

– *структуризація*, що дозволяє аналізувати елементи системи та їх взаємозв'язки в рамках конкретної організаційної структури. Як правило, процес функціонування системи обумовлений не стільки властивостями її окремих елементів, скільки властивостями самої структури.

– *множинність*, що дозволяє використовувати безліч кібернетичних, економічних та математичних моделей для опису окремих елементів і системи в цілому;

– *системність*, властивість об'єкта володіти всіма ознаками системи.

Найбільш загальним поняттям, яке позначає прояв системи, є «системність», яку пропонується розглядати у трьох аспектах: 1) *системна теорія* дає суворе наукове знання про світ систем і пояснює походження, будову, функціонування і розвиток систем різної природи; 2) *системний підхід* виконує орієнтаційну та світоглядну функції, забезпечує не тільки бачення світу, а й орієнтацію в ньому; 3) *системний метод* реалізує пізнавальну та методологічну функції.

Системний підхід не є чимось принципово новим у дослідженні навколишнього світу і його проблем – він базується на природничому підході. На відміну від традиційного підходу, за якого проблема вирішується в суворій послідовності певних етапів, системний підхід полягає в багатозв'язності процесу рішення.

Головною ознакою системного підходу є наявність домінуючої ролі складного, а не простого, цілого, а не складових елементів. Якщо при традиційному підході до дослідження, думка рухається від простого до складного, від частин – до цілого, від елементів – до системи, то при системному підході, навпаки, думка рухається від складного до простого, від цілого до складових частин, від системи до елементів.

Існує кілька підходів до передбачення поведінки складних систем: користування інтуїції і багатого досвіду дослідника, порівняння з даними експериментів, пророблених на тотожних або схожих системах, і, нарешті, математичне моделювання.

У екологічних дослідженнях повинні використовуватися всі можливі підходи. Однак у наш час масштаби і характер втручання людини у

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 самостійно знайде рішення поставленого питання (у Древній Греції під евристикою розуміли систему навчання, яку використав Сократ, коли вчитель наводить учня до самостійного 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