

Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут агроєкології та
землеустрою
Кафедра екології, технології захисту навколишнього
середовища та лісового господарства

05-02-376М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт з навчальної дисципліни
«Системний аналіз якості навколишнього середовища»
для здобувачів вищої освіти другого
(магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Технології захисту
навколишнього середовища» спеціальності 183
«Технології захисту навколишнього середовища»
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою
з якості ННІАЗ
Протокол № 2 від 19.09.2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до практичних робіт з навчальної дисципліни «Системний аналіз якості навколишнього середовища» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» денної та заочної форми навчання [Електронне видання] / Прищеп А. М., Стецюк Л. В., Брежицька О. А. – Рівне : НУВГП, 2023. – 42 с.

Укладачі: Прищеп А. М., д.с.-г.н., професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства; Стецюк Л. М., к.с.-г.н., доцент, доцент кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства; Брежицька О. А., к.с.-г.н., доцент, доцент кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Відповідальний за випуск: Клименко М. О., д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства

Керівник групи забезпечення спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» Прищеп А. М.

© А. М.Прищеп,
Л. М. Стецюк,
О. А. Брежицька, 2023
© НУВГП, 2023

ЗМІСТ

Назва	Стор.
Вступ	4
Практична робота № 1 Вивчення основних етапів системного аналізу при дослідженні природних та антропогеннозмінених систем	5
Практична робота №2 Використання методу «Дерево цілей» для вирішення екологічних проблем	11
Практична робота № 3 Системний аналіз як основний підхід до формалізації та вирішення екологічних задач	20
Практична робота № 4 Використання кореляційного та регресійного аналізу для побудови моделей систем	24
Практична робота № 5 Прогнозування екологічної ситуації з використанням моделі часового ряду	26
Практична робота № 6 Оцінювання екологічного стану складових навколишнього середовища	29
Додаток 1	31
Література	42

Вступ

Системний аналіз якості навколишнього середовища є методологічною дисципліною спрямованою аналізувати якість навколишнього середовища з використанням системного підходу, що об'єднує методи вивчення систем різної складності й призначення, розробляє ці методи, узагальнює їх, дає практичні рекомендації для їхнього використання.

Передбачені ОПП «Технології захисту навколишнього середовища» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти проведення 20 годин практичних занять. Практичні роботи направлені на отримання загальних та спеціальних компетенцій: **ЗК03** Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; **ЗК05** Здатність приймати обґрунтовані рішення; **СК02** Здатність використовувати науково-обґрунтовані методи обробки результатів досліджень в галузі технологій захисту навколишнього середовища; **СК08** Здатність до вибору стратегій та технологій захисту складових навколишнього природного середовища, забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку в умовах швидкої трансформації природного середовища.

Практичні роботи разом із теоретичним матеріалом (лекції, самостійна робота забезпечують наступні програмні результати навчання: **ПРО1** Аналізувати складні системи, розуміти їх взаємозв'язки та організаційну структуру; **ПРО3** Використовувати сучасні комунікаційні, комп'ютерні технології у природоохоронній сфері, збирати, зберігати, обробляти і аналізувати інформацію про стан навколишнього середовища та виробничої сфери для вирішення завдань професійної діяльності; **ПРО9** Оцінювати загрози фізичного, хімічного та біологічного забруднення біосфери та його впливу на довкілля і людину, вміти аналізувати зміни, що

відбуваються в навколишньому середовищі під впливом природних і техногенних факторів

Практичні заняття передбачають виконання завдань за індивідуальними вихідними даними. У контексті практичних робіт застосовуються пошукові інтернет-системи та прикладні комп'ютерні програми Microsoft Excel і Google таблиці

Практична робота № 1

Вивчення основних етапів системного аналізу при дослідженні природних та антропогеннозмінених систем

Мета роботи: ознайомитися та вивчити етапи системного аналізу при дослідженні складних систем

Основні поняття

Методологія системного дослідження, орієнтована насамперед на дослідження існуючих систем з метою виявлення проблем, включає до свого складу наступні кроки.

Детально етапи системного аналізу описані у [7] та представлені на рис. 1. Коротко зупинимося на аналізі кожного з них.

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. Якщо існування проблеми усвідомлене, а її вирішення невідкладне,

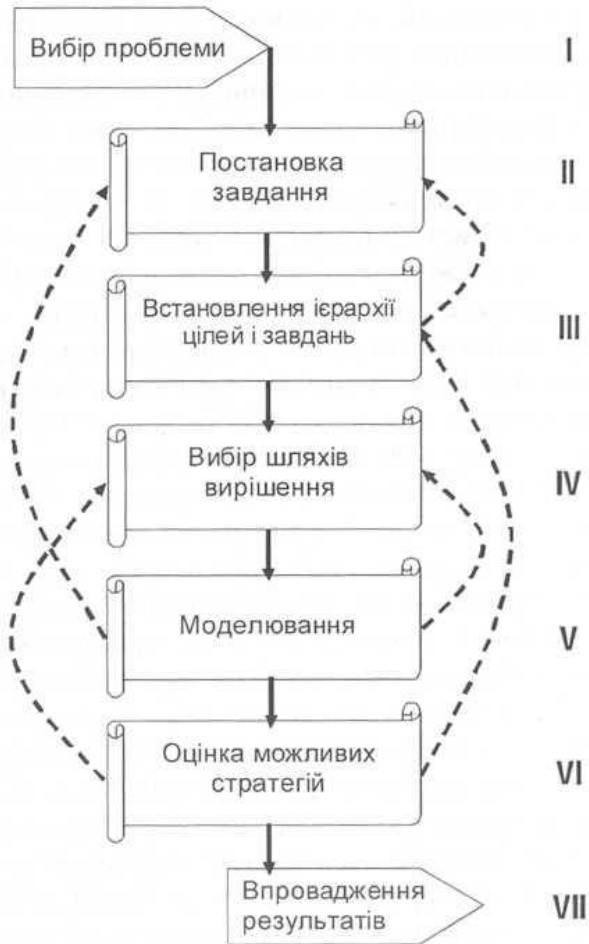


Рис.1 Етапи системного аналізу та їх взаємозв'язок

постає потреба *сформулювати завдання* (II етап). Воно має бути настільки простим, щоби мати аналітичне рішення за збереження всіх тих елементів, які роблять

проблему досить актуальною для практичного вивчення. Після постановки завдання й обмеження міри його складності приступають до *встановлення мети і завдань* дослідження (III етап). Зазвичай мета і завдання утворюють деяку ієрархію. Причому як мета, так і основні завдання послідовно підрозділяють на першочергові й другорядні.

Дослідник-аналітик повинен *вибрати шляхи (способи) вирішення проблеми* (IV етап). Ці шляхи або способи залежать від обсягу знань і матеріально-технічних засобів, що є в арсеналі системного аналітика. Після того, як проаналізовані вірогідні методологічні й методичні альтернативи, можна приступати до **моделювання** (V етап) - активних маніпуляцій із копіями й відображеннями систем, або модельних досліджень чи експериментів зі складними динамічними взаємозв'язками між різними аспектами проблеми. При цьому потрібно пам'ятати, що модельованим процесам, а також механізмам зворотного зв'язку властива внутрішня невизначеність, а це може значно ускладнити як розуміння системи, так і її керованість. Як тільки моделювання доведене до стадії, на якій модель можна (принаймні, заздалегідь) використовувати, починається **оцінювання потенційних стратегій**, отриманих із моделі (VI етап). Завершальний етап (VII) системного аналізу - це **практичне впровадження результатів**, які були отримані на попередніх етапах.

Хід роботи

1. Ознайомитися із структурною схемою, де представлені етапи системного аналізу.
2. Проаналізуйте кожен етап системного аналізу та їх взаємозв'язок.

3. Використовуючи системний аналіз сформуєте алгоритм (схему) вирішення практичного екологічного завдання згідно варіанта.
4. З'ясуйте наскільки ваші варіанти рішень відрізняються від запропонованих (табл.)
5. Зробити висновки

Завдання:

1. Використовуючи системний аналіз сформуєте алгоритм (схему) вирішення наступного практичного екологічного завдання: покращити стан атмосферного повітря урбосистеми малого міста. Охарактеризуйте етапи системного аналізу у вирішенні цього завдання. Конкретизуйте екологічну проблему, сформулюйте завдання системного дослідження, встановіть ієрархію цілей та завдань заданої проблеми.

2. Використовуючи системний аналіз сформуєте алгоритм (схему) вирішення наступної практичної екологічної проблеми: встановити причини погіршення екологічного стану мікрорайону урбосистеми великого міста. Охарактеризуйте етапи системного аналізу у вирішенні цього завдання. Конкретизуйте екологічну проблему, сформулюйте завдання системного дослідження, встановіть ієрархію цілей та завдань заданої проблеми.

3. Використовуючи системний аналіз сформуєте алгоритм (схему) вирішення наступного практичного екологічного завдання: покращити екологічну ситуацію території в зоні дії промислового об'єкта. Охарактеризуйте етапи системного аналізу у вирішенні цього завдання. Конкретизуйте екологічну проблему, сформулюйте завдання системного дослідження, встановіть ієрархію цілей та завдань заданої проблеми.

4. Використовуючи системний аналіз сформуєте алгоритм (схему) вирішення наступного практичного екологічного завдання: покращити екологічний стан

рекреаційної території навколо озера. Охарактеризуйте етапи системного аналізу у вирішенні цього завдання. Конкретизуйте екологічну проблему, сформулюйте завдання системного дослідження, встановіть ієрархію цілей та завдань заданої проблеми.

5. Використовуючи системний аналіз сформуєте алгоритм (схему) вирішення наступного практичного екологічного завдання: покращити стан паркової зони урбосистеми малого міста. Охарактеризуйте етапи системного аналізу у вирішенні цього завдання. Конкретизуйте екологічну проблему, сформулюйте завдання системного дослідження, встановіть ієрархію цілей та завдань заданої проблеми.

6. Використовуючи системний аналіз сформуєте алгоритм (схему) вирішення наступного практичного екологічного завдання: зменшити дію впливу промислового об'єкту на стан довкілля. Охарактеризуйте етапи системного аналізу у вирішенні цього завдання. Конкретизуйте екологічну проблему, сформулюйте завдання системного дослідження, встановіть ієрархію цілей та завдань заданої проблеми

Таблиця 1

Приклад вирішення екологічного завдання

Завдання	Проблема	Завдання	Ієрархія цілей і завдань*			
			Оцінити антропогенне навантаження (господарсько-виробничий комплекс) на місто, встановити джерела впливу	Оцінити екологічний стан природних компонентів міста (атмосфера, водні ресурси, ґрунтовий, рослинний	Встановити джерела забруднення довкілля, які є пріоритетними у формуванні екологічного стану мікрорайону.	
1	погіршення екологічного стану мікрорайону урбосистеми великого міста	встановити причини погіршення екологічного стану мікрорайону урбосистеми великого міста	Оцінити антропогенне навантаження (господарсько-виробничий комплекс) на місто, встановити джерела впливу	Оцінити екологічний стан природних компонентів міста (атмосфера, водні ресурси, ґрунтовий, рослинний	Встановити джерела забруднення довкілля, які є пріоритетними у формуванні екологічного стану мікрорайону.	

			на докiлля	покрив)		
2	Погiршення стану атмосферного повітря урбосистеми малого міста	Покращити стан атмосферного повітря урбосистеми малого міста	Встановити джерела забруднення атмосферного повітря	Дослідити якісний стан атмосферного повітря	Дослідити конструктивні фактори покращення стану атмосферного повітря	Розробка заходів з покращення атмосферного повітря
3	Несприятлива екосистема територією в зоні дії промислового об'єкта	покращити екологічну ситуацію територією в зоні дії промислового об'єкта	Дослідити стан складових докiлля територією	Провести екологічну оцінку промислового об'єкта	Розробити систему природоохоронних заходів на промисловому об'єкті	Розробити систему природоохоронних заходів для територією
4	Погіршений екологічний стан водного об'єкта, що знаходиться у межах населеного пункту	покращити екологічний стан водного об'єкта, що знаходиться у межах населеного пункту	Провести комплексно досліджено точкових та площинних джерел забруднення водойми	Провести дослідження якості води (гідрохімічні, біологічні)	Встановити причини погіршення стану водного об'єкту	Розробити комплексну систему природоохоронних заходів на покращення стану водойми
5	Погіршена екологічний стан рекреаційної територією навколо озера.	Покращити екологічний стан рекреаційної територією навколо озера.	Оцінити стан рекреаційної територією	Оцінити рекреаційне навантаження на територією	Розробити комплекс заходів щодо покращення екологічного стану рекреаційної територією	

6	Формування значних впливів промислового об'єкта на довкілля	зменшити дію впливу промислового об'єкта на стан довкілля.	Оцінити вплив підприємства на складові довкілля	Встановити стан довкілля поблизу підприємства	Визначити компоненти довкілля, що потребують покращення	Розробити комплекс заходів, щодо зменшення дії промислового об'єкта
*Можливі інші аргументовані шляхи та підходи до вирішення поставленого завдання						

Питання та завдання для самоперевірки

1. Що таке системний аналіз якості навколишнього середовища?
2. За яких послідовних етапів здійснюємо системний аналіз?
3. Проаналізуйте 6 етапів системного аналізу та їх взаємозв'язок.
4. Роль 7 етапу «Практичне впровадження результатів» у вирішенні екологічних задач.

Практична робота №2

Використання методу «Дерево цілей» для вирішення екологічних проблем

Мета роботи: навчитися застосовувати метод «Дерево цілей» для вирішення екологічних проблем

Основні поняття

Дерево цілей – ієрархічне візуальне уявлення досягнення цілей; принцип, при якій головна мета досягається за рахунок сукупності другорядних і додаткових цілей.

Джерело: <https://pyrogiv.kiev.ua/shho-take-derevo-cilej/>

© <https://pyrogiv.kiev.ua/>

Застосування методики побудови дерева цілей дозволяє систематизувати та структурувати усі етапи досягнення головної мети, виявити необхідні шляхи та

ресурси досягнення цілей і уникнути зайвих заходів та витрат, оцінити реалізацію досягнення цілей, враховуючи наявні ресурси, встановити пріоритет цілей, визначити конкретних виконавців, характер і розмір їхньої роботи
Термін «дерево цілей» використовується як для деревовидних ієрархічних структур, так і у випадку «слабких» ієрархій.

Таблиця

Опис дерева цілей*

*[Джерело: <https://pyrogiv.kiev.ua/shho-take-derevo-cilej/> © <https://pyrogiv.kiev.ua/>]

Мета – це те, що ми хочемо мати в результаті, наш фініш, наше успішне реалізація поставленої мети.

Для того, щоб зрозуміти чи є сформульована мета вірною, Вам допоможе критичне мислення, а також технологія **SMART** (рекомендується використовувати для короткострокових цілей тактичного і операційного рівнів).

Коротко нагадаємо про нього. Мета повинна бути: Конкретною (Specific). Вимірною (Measurable). Досяжною (Achievable). Значущою (Relevant). Обмеженою в часі (Time bound). Критерії якості: **S pecific**. Мета повинна

бути чітко, точно і ясно сформульованою, однозначно сприймається усіма зацікавленими особами. Для перевірки скористаєтесь правилом Брайна Трейсі: мета повинна бути зрозуміла 6-річній дитині, щоб він зміг пояснити її своєму ровеснику. **M easurable**. Результат,

отриманий при досягненні мети, повинен бути вимірюваний, необхідно визначити відповідні критерії, в ідеальному випадку кількісні. **A chievable**. Мета повинна

бути свідомо досяжна з урахуванням наявних ресурсів і інших внутрішніх / зовнішніх чинників. **R ealistic / r easonable**. Мета повинна бути реалістичною для Вашої команди. **T ime bound**. Потрібно чітко визначити терміни

досягнення мети. Якщо немає часових рамок, то вступає в силу принцип: робота займає весь відведений для неї час. Хотілося б додати, що при формулюванні цілей слід

описувати бажаний вимірний однозначний результат, а декомпозиція завершується, коли ясний шлях реалізації мети (отримуємо задачу) без подальшої деталізації.

Цілі 1, 2, 3 – основні цілі, що сприяють реалізації головної мети, природно і щоб другорядні цілі реалізувати – можливо, доведеться ще виконати, на ієрархію нижче, – **цілі a і b** (Тобто як справжнє дерево – є один стовп і кілька великих гілок, які містять також ще кілька гілок, але поменше. і т.д. і т.п.)

Другорядні цілі – можуть бути як складові для досягнення головної мети (без їх успішного виконання – ніяк не виконати головну), так і додаткові (можна обійтися, але не бажано).

При використанні методу дерева цілей як засобу прийняття рішень використовують також термін «дерево рішень». При застосуванні дерева цілей для виявлення й уточнення функцій керування говорять про «дерево цілей і функцій». При структуризації тематики науково-дослідної організації зручніше користатися терміном «дерево проблем», а при розробці прогнозів терміном «дерево напрямків розвитку (чи прогнозування розвитку)» або згаданим вище терміном «прогнозний граф».

Основне правило побудови «дерева цілей» - це «повнота редукції» - процес зведення складного явища, процесу або системи до більш простих складових. Для реалізації цього правила використовують такий системний підхід (*рис.2.1*): ціль вищого рівня є орієнтиром, основою для розробки (декомпозиції) цілей нижчого рівня; цілі нижчого рівня є способами досягнення мети вищого рівня і мають бути представлені так, щоб їхня сукупність зумовлювала досягнення початкової цілі.

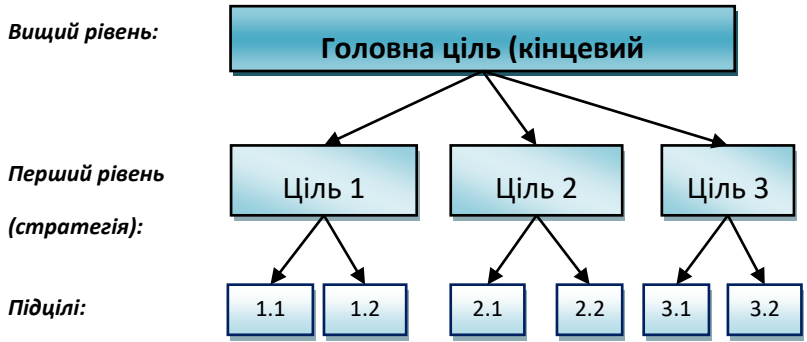


Рис. 2.1 Послідовність побудови «дерева цілей»

Побудова «дерева цілей» будь-яким методом базується на таких якостях цілей, як:

- *підпорядкованість* – одні цілі обумовлюють інші;
- *розгорнутість* – здатність зображення якої-небудь загальної мети декількома конкретними цілями;
- *співвідносна важливість* – різні цілі мають різне значення. Це дозволяє ранжувати цілі, виділяючи серед них більш менш важливі (рис. 2.1).

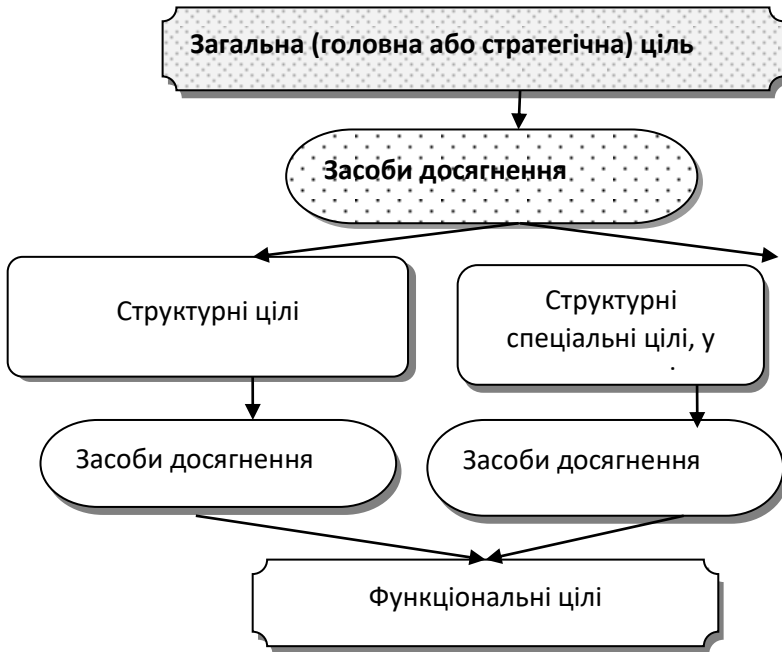


Рис.2.1. Схема постановки цілі

Таблиця 2.2

Вимоги до побудови «дерева цілей»

	Цілі кожного рівня повинні бути порівнянні по масштабу і значенню.
	Формулювання цілей повинне забезпечувати можливість кількісної і якісної оцінки досягнення мети.
	Основним принципом побудови дерева цілей є повнота редукції, тобто кожна мета певного рівня повинна бути зображена у вигляді підцілей наступного рівня так, щоб сукупність підцілей давала повне уявлення про початкову ціль.

	Формулюючи цілі різних рівнів необхідно описати бажані результати, а не способи їхнього отримання.
	Підцілі кожного рівня повинні бути незалежні одна від однієї і не повинні виходити одна з іншої.
	Ознакою завершення побудови дерева цілей є формулювання таких понять, які визначають альтернативні способи досягнення цілі. Самі вони не є цілями, це заходи щодо досягнення цілі вищого рівня.
	Відсутність суперечностей між цілями, що знаходяться на різних рівнях «дерева цілей».
	Декомпозицію місії і цілі на всіх рівнях слід проводити за одним і тим же методологічним підходом.
	Цілі усіх рівнів мають бути виражені в конкретних обсягах, строках з визначенням конкретних виконавців (відповідальних).
	Забезпечення узгодженості, зв'язку між цілями різного порядку. При цьому слід враховувати наявність двох видів зв'язків між цілями – горизонтальних і вертикальних

Метод дерева цілей орієнтований на одержання повної і відносно стійкої структури цілей, проблем, функцій, напрямків, тобто такої структури, яка мало змінюватиметься протягом певного періоду часу при неминучих змінах, що відбуваються в будь-якій системі, яка розвивається. Для досягнення цього при побудові варіантів структури варто враховувати закономірності цілеутворення і використовувати принципи і методики формування ієрархічних структур цілей і функцій. Цілі

впливають з об'єктивних потреб і мають ієрархічний характер.

Цілі верхнього рівня не можуть бути досягнуті, поки не досягнуті цілі найближчого нижнього рівня. В міру переміщення вниз рівнями ієрархії цілі конкретизуються. У процесі побудови та використання дерева цілей необхідно прагнути чіткого і конкретного формулювання цілей, забезпечити можливість кількісної чи порядкової оцінки ступеня їхнього досягнення.

Цілі діяльності системи необхідно конкретизувати за часом і виконавцями, тобто загальний остаточний результат, якого прагне система, треба піддати декомпозиції на окремі задачі, що розв'язуватимуться в коротші терміни. Крім того мета, якої прагне, наприклад, фірма загалом, конкретизується для окремих підрозділів і ланок апарату керування. При цьому необхідно, щоб колектив кожного підрозділу чітко знав загальну (генеральну) мету і свою роль у її досягненні.

Структурування дає можливість деталізувати цілі і шляхи їхнього досягнення, виявити існуючі між ними взаємозв'язки, забезпечити визначену логіку розв'язання проблеми. В більшості випадків дерево цілей будується поетапно, згори донизу, шляхом послідовного переходу від вищого рівня до нижчого суміжного рівня, хоча існують методи побудови дерева одночасно «згори» — від розробників та керівництва, та «знизу» — починаючи від користувачів-виконавців, з наступною координацією отримуваних структур.

Структурування дає можливість навіть при проведенні чисто якісного аналізу одержати нові ідеї, розкрити нові можливості рішення досліджуваної проблеми на різних рівнях керування.

Конкретизація цілей згори донизу повинна зростати: чим нижче рівень, тим в докладнішій формі формулюється мета - в деяких випадках вдається дістатися кількісної форми критеріїв (рис.2.3). Для перевірки повноти і

внутрішньої несуперечливості дерева цілей застосовуються наступні правила. При просуванні згори донизу деревом цілей підціль - нащадок утворюється шляхом відповіді на запитання «що потрібно зробити, щоб реалізувати безпосередню ціль-предок попереднього рівня?». При просуванні знизу догори ціль вищого рівня повинна відповідати на запитання «для чого необхідна безпосередня підціль-нащадок».

При розгляді множини безпосередніх підцелей-нащадків, необхідних для досягнення однієї цілі, необхідно уточнити, чи всі підцілі дійсно необхідні для її досягнення. При розгляді множини безпосередніх підцелей-нащадків, необхідних для досягнення однієї цілі, слід уточнити, які ще безпосередні підцілі-нащадки необхідні для досягнення мети.

Хід роботи

1. Ознайомитися із основними вимогами до побудови «дерева цілей».
2. З'ясуйте відмінності та подібності побудови «дерева цілей», «дерева рішень», «дерева цілей і рішень»
3. За заданими завданнями побудувати «дерево цілей».
4. Зробити висновки.

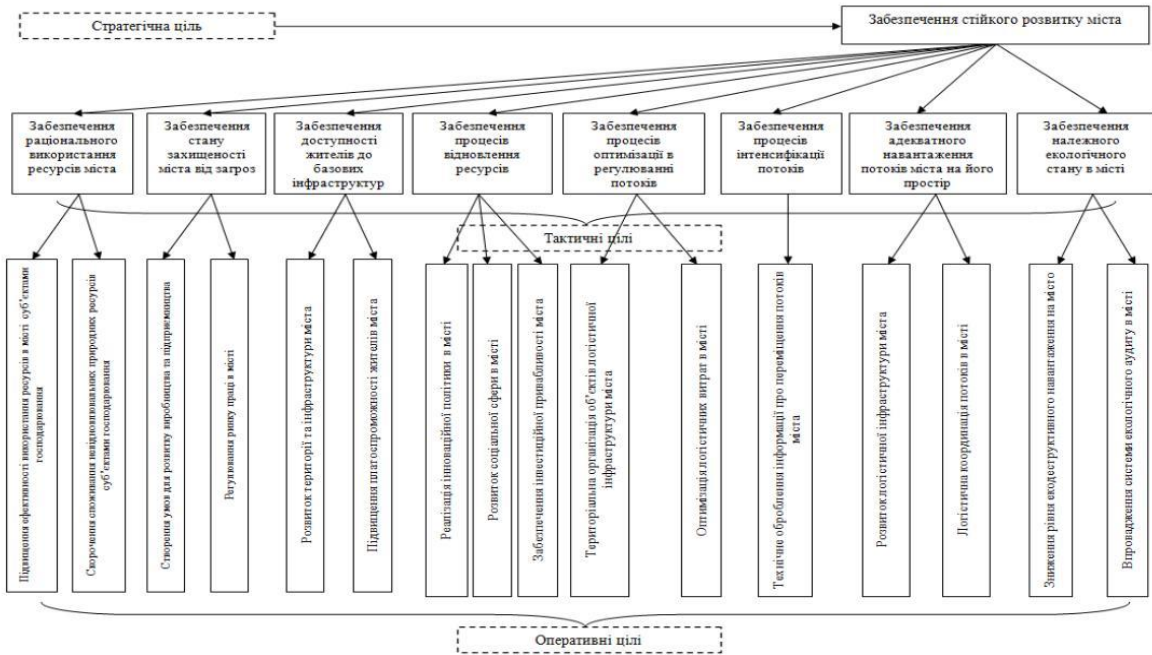


Рис. 2.3 Структурування стратегічної цілі

Завдання.

1. Побудувати «дерево цілей» при вирішенні наступного завдання: формування доброго стану малої річки.
2. Побудувати «дерево цілей» при вирішенні наступного завдання: сформувати місцевий план дії з охорони водного об'єкту, що знаходиться в межах населеного пункту.
3. Побудувати «дерево цілей» при вирішенні наступного завдання: отримання «умовно чистої» продукції на територіях, що постраждали від катастрофи на ЧАЕС.
4. Побудувати «дерево цілей» при вирішенні наступного завдання: оцінити стан ґрунтового покриву за комплексними показниками.
5. Побудувати «дерево цілей» при вирішенні наступного завдання: оцінити стан атмосферного повітря ґрунтосистеми за комплексними показниками.

Питання та завдання для самоперевірки

1. З'ясуйте сутність такого методу системного аналізу, як «дерево цілей».
2. Охарактеризуйте вимоги до побудови «Дерева цілей».
3. Яким чином проводиться структурування стратегічної цілі.

Практична робота № 3

Системний аналіз як основний підхід до формалізації та вирішення екологічних задач

Мета роботи: з'ясувати як використовують системний аналіз до вирішення екологічних задач.

Основні поняття

Для кількісної оцінки та прогнозу стану екологічних систем, їхніх реакцій на антропогенні дії, особливо на рівні невеликих дуже шкідливих для природи дій,

виключно ефективним є метод математичного моделювання. Цей метод відіграє суттєву роль переважно тоді, коли кінцевою метою є не тільки опис та оцінка стану природного середовища, але і його регулювання з урахуванням фактичного та прогнозного станів, а також екологічного резерву, що в решті решт має сприяти оптимізації взаємовідношень людської спільноти з природою. Побудову моделі системи розглядається як етап вирішення проблемної ситуації, етап вивчення системи. Існує багато моделей систем, які суттєво відрізняються одна від одної.

Формальні моделі – це окремі типи моделей, подані у формальному, описовому вигляді, в який входять головні ознаки, за якими дана модель, суттєво відрізняється від інших. В описі формальної моделі даються також правила її побудови, складові частини моделі, зв'язки між частинами, вигляд моделі в цілому.

Формальні моделі є абстрактними моделями, описаними бабстрактною, найбільш загальною мовою. Залежно від рівня абстракції формальні моделі можуть охоплювати різну кількість систем. До формальних моделей самого високого рівня абстракції відносяться моделі «Чорний ящик», «Склад системи», «Структура системи», «Структурна схема».

Змістовні моделі – це моделі, наповнені поняттями даної предметної області. Вони будуються на основі формальних моделей, що служать шаблоном, зразком для побудови змістовних моделей. Створення змістовної моделі – це процес інтерпретації формальної моделі на мові певної предметної області.

Моделі типу «Чорний ящик» будуються в рамках припущення про повну відсутність інформації про процеси в системі. У цих моделях зв'язуються значення вхідних і вихідних величин, найчастіше за допомогою формальних причинно-наслідкових зв'язків, що не базуються на якому-небудь фізико-хімічному чи біохімічному механізмі. Часто

для побудови таких моделей використовується статистичний підхід (аналіз статистичних даних на предмет кореляції входу і виходу).

Модель «Склад системи» будують на основі вивчення складових частин системи та процесів, що у ній відбуваються. На вербальному рівні маємо морфологічний опис (аналіз) системи. Під моделлю «Структура системи» розуміють сукупність необхідних та достатніх для досягнення цілі відношень і зв'язків між її елементами. Найбільш детальною та повною моделлю системи є «Структурна схема системи», що показує границі системи, елементний її склад, зв'язки між окремими елементами в середині системи та її зовнішні зв'язки.

Одним із методів, що застосовується при створенні моделей природних об'єктів є метод „чорного ящика”. Під „чорним ящиком” розуміють об'єкт, в якому зовнішньому спостерігачеві доступно визначити лише вхідні та вихідні величини, а внутрішня будова та процеси, що в ній відбуваються не відомі. Чорний ящик (скринька) це термін, який використовується у техніці й кібернетиці для позначення об'єкта чи системи, про принципи дії яких нічого невідомо, крім того, що певному вхідному сигналу відповідає певний вихідний сигнал. Чорний ящик є важливим елементом також у плануванні експерименту та в науці загалом.

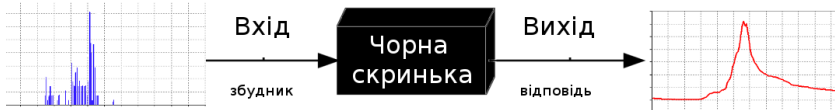


Рис. 3.1. Схема „чорного ящику (скриньки)”

Чимало важливих висновків можна зробити про поведінку системи, спостерігаючи лише за реакцією вихідних величин на зміну вхідних величин. Такий підхід, зокрема, відкриває можливості для об'єктивного вивчення систем, будова яких невідома, занадто складна для того, щоб можна було за властивостями складових частин цієї системи та структурою зв'язків між ними зробити висновки про їхню поведінку.

Нехай на вхід системи подаються сигнали (впливи, дії)

x_1, \dots, x_m , а на виході її одержують вихідні сигнали

y_1, \dots, y_m . Довго спостерігаючи за поведінкою такої системи і, в разі потреби, виконавши активні експерименти над нею, тобто змінюючи певним чином вхідні дії, можна досягти такого рівня знання властивостей системи, що виникає можливість передбачати зміну її вихідних координат при зміні вхідних. Проте, як докладно не вивчали б поведінку „чорного ящика”, не можна одержати однозначний висновок про його внутрішню будову, бо однакову поведінку можуть мати різні системи. Метод „чорного ящика” широко використовується для розв'язання задач моделювання керованих систем, але не враховує їх будову.

Хід роботи

1. Ознайомитися із методом системного аналізу «чорного ящика (скриньки), з'ясувати його сутність.

2. Використовуючи літературні джерела навести приклади використання методу «Чорного ящика» при вирішенні моделювання екологічних систем.

3. За наведеними ланками ланцюга побудувати моделі «Склад системи» та «Структура системи», згідно завдання:

Завдання Відомо, що ^{137}Cs здатний мігрувати у наступному трофічному ланцюзі *ґрунт* (тверда (мінеральний склад ґрунту та вміст органічної речовини)

та рідка фази ґрунту) – *рослина* (корінь, стебло, листок) – *тварина* (ротова порожнина, стравохід, шлунок, кров, молоко).

4. Зробити висновки

Питання та завдання для самоперевірки

1. Що таке формальна модель?
2. Дайте характеристику формальних моделей «Чорний ящик», «Склад системи», «Структура системи», «Структурна схема».
3. Наведіть приклади застосування формальних моделей при вирішенні екологічних задач.

Практична робота № 4 **Використання кореляційного та регресійного аналізу** **для побудови моделей систем**

Мета роботи: розглянути значення кореляційного та регресійного аналізу для побудови моделей систем.

Основні поняття

Для встановлення наявності зв'язків між частими досліджуваної системи і процесів, що у ній відбуваються використовують **кореляційний аналіз**. Загалом, науці відомі два типи зв'язків - функціональні й кореляційні. При **функціональному зв'язку** певному значенню однієї ознаки відповідає єдине значення іншої ознаки. При **кореляційному зв'язку** (від латин, *correlatio* - співвідношення, зв'язок) одному значенню першої ознаки відповідає певний розмах значень іншої ознаки. Завданням дослідження складних систем і процесів часто є перевірка наявності і встановлення типу зв'язку між незалежними змінними x (предикторами, факторами), значення яких можуть змінюватися дослідником і мають певну заздалегідь задану похибку, та залежною змінною

(відгуком) у. Розв'язання таких завдань є предметом **регресійного аналізу**.

Хід роботи

1. Ознайомитися із завданнями кореляційного та регресійного аналізу (додаток 1).
2. Використати кореляційний та регресійний аналіз для виявлення наявності зв'язку у завданні.

Завдання 1. і.

Проведено дослідження вмістом азоту у ґрунті (x_i) і у злакових рослинах (y_i) на закладені дослідні ділянки та отримано наступні результати:

X_i	5	8	5	13	15	11	23	26	31
Y_i	54	61	44	71	83	66	67	85	109

Необхідно:

3. визначити коефіцієнт кореляції, оцінити його вірогідність, зробити висновок про тісноту зв'язку та його напрямок.
4. за допомогою рівняння регресії відобразити залежність зміни вмісту азоту у злакових рослинах від його вмісту у ґрунті.
5. відобразити процес міграції азоту з ґрунту у рослини з використанням моделі «Чорний ящик».
6. Зробити висновки відповідно до поставленої мети.

Питання та завдання для самоперевірки

1. Що таке кореляційний аналіз, з якою метою його проводять?
2. Що є предметом вивчення регресійного аналізу.
3. Що таке коефіцієнт кореляції? Як він описує тісноту зв'язку між показниками.

Практична робота № 5

Прогнозування екологічної ситуації з використанням моделі часового ряду

Мета роботи: ознайомитися зі значенням моделі часового ряду для прогнозування екологічної ситуації і вироблення раціональних управлінських рішень.

Основні поняття

Часовим рядом називають серію числових величин, отриманих через регулярні проміжки часу. Вважається, що фактори, які впливають на відгук досліджуваної системи, діяли деяким чином у минулому та сьогодні, і очікується, що вони діятимуть подібним чином у недалекому майбутньому.

При аналізі даних методом часових рядів спочатку будують графік залежності відгуку від часу для визначення загальної довгострокової тенденції, що підвищує чи знижує тренд. Якщо дані сильно осцилюють і загальний тренд не проглядається, з'являється необхідність згладжування часового ряду, після виконання якого виявляється тренд. Надалі для опису часового ряду використовують один з методів регресії даних ряду на часову вісь і отриманий регресійний опис (модель) використовується для прогнозування.

При згладжуванні часового ряду зазвичай використовується метод ковзального середнього чи метод експоненційного згладжування.

Ковзальне середнє порядку L – це часовий ряд, що складається із середніх арифметичних L сусідніх значень Y_i , по всіх можливих значеннях часу. В якості L вибирається непарне число, як правило, 3, 5 або 7, такі схеми називають відповідно триточковою, п'ятиточковою і семиточковою. В загальному випадку обчислення середніх можна подати як

$$MA_i(L) = \frac{1}{L} \sum_{t=(1-L)/2}^{(L-1)/2} Y_{i+t}$$

Алгоритм розрахунку експоненційно згладжених значень у будь-якій i -точці ряду заснований на трьох величинах: даному спостереженню Y_i в i -й точці; розрахованому згладженому значенні для попередньої точки ряду E_{i-1} і деякому заздалегідь заданому коефіцієнті згладжування W , постійному для всього ряду. Зрозуміло, що в першій точці ряду немає згладженого значення для попередньої точки, і згладженим значенням E_1 вважається сама величина відгуку Y_1 , що спостерігається в цій точці. Для всіх наступних точок діє просте правило обчислень:

$$E_i = W \cdot Y_i + (1 - W) \cdot E_{i-1} .$$

При рівномірному ступені згладжування з використанням методу експоненційного згладжування і методу ковзального середнього коефіцієнт W пов'язаний з інтервалом L простим співвідношенням $W = 2 / (L + 1)$; у такий спосіб згладжування за 5-точковою схемою еквівалентне за своїм впливом на вихідні дані експоненційному згладжуванню з коефіцієнтом $W = 0,33$. Хоча, загалом, W може приймати будь-яке значення з діапазону $0 < W < 1$, зазвичай обмежуються інтервалом від 0,2 до 0,5.

Хід роботи

1. Обґрунтувати значення прогнозування у системному аналізі якості довкілля.
2. Розглянути особливості прогнозування на основі моделі часового ряду в екології.
3. Проаналізувати класичну мультиплікативну модель часового ряду.

Завдання 1. Побудувати часові ряди (у вигляді графіків) за даними викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел,

утворення відходів I-III класу небезпеки, скидів стічних вод у водні об'єкти в цілому в Україні, або на прикладі конкретних регіонів. Для виконання завдання рекомендовано використовувати матеріали Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні, доповіді про стан навколишнього середовища регіонів, статистичні щорічники України.

Завдання 2. Провести згладжування часового ряду з використанням методу ковзального середнього та експоненційного згладжування.

В результаті проведення щорічного моніторингу питомої активності ^{137}Cs у молоці корів на території сільських радах забруднених довгоживучими радіонуклідами було отримано наступні дані:

Рік	19 97 р	19 98 р	19 99 р	20 00 р	20 01 р	20 02 р	20 03 р	20 04 р	20 05 р	20 06 р
Вміст ^{137}Cs у молоці, Бк/л	22 9	12 2	22 2	18 9	15 9	14 8	20 1	12 6	14 8	16 0

На основі отриманих даних з використанням Microsoft Excel побудувати відповідні графіки, на які нанести трендові лінії, що показуватимуть зміну досліджуваної ситуації на два кроки вперед. Скласти відповідні рівняння регресії.

4.Зробити висновки відповідно до поставленої мети.

Питання та завдання для самоперевірки

1. Що таке часовий ряд?
2. Для чого використовують моделі часового ряду?

Практична робота № 6

Оцінювання екологічного стану складових навколишнього середовища

Мета роботи: проаналізувати особливості здійснення оцінки складових навколишнього середовища з використанням даних комплексного моніторингу довкілля.

Основні поняття

На сьогоднішньому етапі розвитку суспільства у поняття «комплексного моніторингу навколишнього природного середовища» необхідно включати як процеси спостережень, аналізу і оцінки даних, моделювання і прогнозу, так і підготовку агрегованої інформації для прийняття управлінських рішень і процедури регулювання станом навколишнього природного середовища на базі цієї інформації. Тим самим формується замкнений ланцюг: «спостереження – оцінка – прогноз – управління – спостереження - ...». Система регулювання якості природного середовища повинна діяти безперервно, забезпечуючи оптимальні рішення при дотриманні відповідних умов.

Основні цілі комплексного екологічного моніторингу полягають в тому, щоб на підставі отриманої інформації:

- оцінити показники стану й функціональної цілісності екосистем та середовища проживання людини (тобто провести оцінку дотримання екологічних нормативів);
- виявити причини зміни цих показників та оцінити наслідки таких змін, а також визначити корегуючі заходи в тих випадках, коли цільові показники екологічних умов не досягаються;
- створити передумови для визначення заходів щодо виправлення виникаючих негативних ситуацій до того, як буде нанесено збиток, тобто забезпечити завчасне попередження негативних ситуацій.

Для оцінки стану екологічних систем, територіальних природних комплексів, окремих складових довілля використовують різні стандарти якості середовища та екологічні нормативи. Порівняння допустимих нормативів впливу на довілля з фактично визначеними показниками дозволяє встановити рівень навантаження на складові екосистем.

Для комплексної оцінки стану природного середовища та виявлення динаміки цього стану одночасно повинні вестися метеорологічні, гідрологічні й біологічні спостереження, що дозволяють правильно інтерпретувати і виділяти антропогенні зміни на фоні природних процесів.

Критерії якості довілля можна поділити на **диференційні** та **інтегральні**. До перших належать ГДК, ЕДН тощо. До других віднесені індекси та коефіцієнти забруднення.

Хід роботи

1. Охарактеризувати основні види нормативі, що використовуються для зменшення навантаження на довілля та проаналізуйте їхнє значення для оцінки екологічного стану його складових.
2. Навести комплексні показники, що використовуються для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів та ґрунтів.
3. Обґрунтувати доцільність здійснення оцінки екологічної безпеки територіального комплексу.
4. Описати блоки на які розділяють інформацію при проведенні комплексного моніторингу стану довілля.

Завдання 1. Використовуючи дані Доповідей про стан довілля певного регіону, Екологічних паспортів, Статистичних щорічників, Національної доповіді про стан довілля України тощо здійснити оцінку стану вибраного регіону:

I варіант – атмосферного повітря,

II варіант – водних об'єктів,

III варіант – земельних ресурсів

за диференційними (використовуючи ГДК забруднюючих речовин у повітрі, воді та ґрунті) та інтегральними критеріями якості довкілля (коефіцієнтами та індексами забруднення).

Завдання 2. В результаті виявлення показників, що перевищують допустимі рівні забруднюючих речовин та створюють негативну екологічну ситуацію обґрунтувати причини їхнього виникнення. Розглянути наслідки впливу відповідних забруднювачів на організм людини та розробити і запропонувати заходи для покращення складеної та завчасного попередження негативної ситуації.

4. Зробити висновки відповідно до поставленої мети

Питання та завдання для самоперевірки

1. Що таке моніторинг довкілля?
2. Яким чином використовуються дані спостереження для оцінювання складових довкілля?

Додаток 1. ОСОБЛИВОСТІ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ПРИ ПОБУДОВІ МОДЕЛЕЙ

1. Виявлення наявності зв'язку за допомогою кореляційного аналізу

Один зі способів класифікації математичних моделей базується на ступені їхньої детермінованості. *Детермінованими* називаються моделі, входи, виходи і параметри яких жорстко зв'язані між собою, тобто заданим значенням параметрів входу відповідає строго визначене значення параметру виходу.

Стохастичні моделі враховують деяку невизначеність взаємозв'язку входу і виходу при заданих значеннях

параметрів, тобто одним і тим самим значенням вхідних параметрів можуть відповідати з деякою імовірністю різні значення вихідних параметрів.

При побудові стохастичних моделей використовують методи математичної статистики.

На практиці моделі з елементами стохастичного підходу більш адекватні реальності, оскільки природні явища залежать від величезного числа впливових факторів, які неможливо врахувати детерміновано всі разом. Наприклад, якщо треба розрахувати вплив очисних споруд на стан річки, то при цьому аналізі вирішальне значення має врахування засушливих періодів, коли рівень води в річці найнижчий, а потік води найменший. Саме в такі періоди вплив стічних вод буде максимальним. У цьому випадку розраховують імовірність низької витрати води в річці за статистичними даними попередніх періодів.

Моделі типу «чорний ящик» будуються в рамках припущення про повну відсутність інформації про процеси в системі. У цих моделях зв'язуються значення вхідних і вихідних величин, найчастіше за допомогою формальних причинно-наслідкових зв'язків, що не базуються на якомусь фізико-хімічному чи біохімічному механізмі. Часто для побудови таких моделей використовується статистичний підхід (аналіз статистичних даних на предмет кореляції входу і виходу).

Кореляційний аналіз – це сукупність статистичних заходів, за допомогою яких досліджуються зв'язки між ознаками. У науці відомі два типи зв'язків – функціональні й кореляційні. При *функціональному зв'язку* певному значенню однієї ознаки відповідає єдине значення іншої ознаки. При *кореляційному зв'язку* (від латин. *correlatio* – співвідношення, зв'язок) одному значенню першої ознаки відповідає певний розмах значень іншої ознаки.

Характеризуючи зв'язок між ознаками, говорять про його напрямок (прямий чи зворотний) і силу (слабкий, сильний

чи середній). Зв'язок між ознаками називається *прямим*, якщо при збільшенні однієї з них також збільшується значення іншої. При *зворотному* зв'язку збільшення однієї ознаки супроводжує зменшення іншої. Прикладом прямого зв'язку може бути зв'язок між зростом і масою у тварин, прикладом зворотного – врожайність і стійкість у рослин. Сила зв'язку показує, наскільки значення однієї ознаки залежить від значення іншої.

Напрямок і сила зв'язку відображаються у показнику, що називається *коефіцієнтом кореляції*. Генеральний показник зв'язку позначається грецькою літерою ρ , вибірковий – латинською літерою r . Якщо ознаки, що аналізуються, в генеральній сукупності розподіляються відповідно до закону нормального розподілу, для опису зв'язку між ними використовують *параметричний коефіцієнт кореляції*. Якщо розподіл ознак не підпорядковується нормальному закону або якщо характер розподілу ознаки невідомий, використовують *непараметричні показники зв'язку* [6].

Кількісні ознаки з нормальним розподілом. Лінійний зв'язок. Параметричний коефіцієнт кореляції Пірсона (r)

Коефіцієнт кореляції Пірсона (r) застосовується для оцінки лінійного зв'язку між двома кількісними ознаками з нормальним або лог-нормальним розподілом. Вибірковий коефіцієнт кореляції розраховується за формулами:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

(1.1)

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right)\left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}}$$

(1.2)

де r - коефіцієнт кореляції, x - значення однієї ознаки, y - значення іншої ознаки, n - обсяг вибірки (число пар ознак).

Формула (1.1) є математичним вираженням сутності коефіцієнта кореляції, а формула (1.2) – робочою формулою, яка зручна для розрахунків.

Значення коефіцієнта кореляції містяться у межах від -1 до +1. Значення $r = 0$ указує на відсутність зв'язку, $r = 1$ свідчить про повний (функціональний) зв'язок. Обидва ці значення в екологічних дослідженнях практично не зустрічаються. Як правило, абсолютні значення коефіцієнта кореляції містяться у межах: $1 > |r| > 0$. При прямому зв'язку $r > 0$ при зворотному $r < 0$.

Якщо абсолютне значення r міститься у межах від 0 до 0,3, зв'язок називають *слабким*, від 0,4 до 0,6 – *середнім*, 0,7 і більше – *сильним*. Однак ця характеристика відносна. Наприклад, коефіцієнт кореляції за кількісними ознаками з повною успадкованістю в парах «батько-нащадок» не може перевищувати +0,5. У таких випадках при $r = +0,4$ зв'язок оцінюється як сильний [6].

Статистична похибка коефіцієнта кореляції. Вибірковий коефіцієнт кореляції r служить точковою оцінкою генерального коефіцієнта кореляції – параметра ρ . Як будь-яка випадкова величина, він змінює свої значення при повторних вибіркових дослідженнях однієї й тієї ж генеральної сукупності й має статистичну похибку, що обчислюють за формулою:

$$s_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \quad (1.3)$$

де s_r - статистична похибка вибіркового коефіцієнта кореляції, r – вибірковий коефіцієнт кореляції, n – число вивчених об'єктів, у яких вимірювані дві ознаки.

Довірчий інтервал для коефіцієнта кореляції двох ознак, що нормально розподіляються, подається в такому вигляді:

$$r - ts_r \leq \rho \leq r + ts_r \quad (1.4)$$

де ρ - коефіцієнт кореляції в генеральній сукупності, $r-ts_r$ і $r + ts_r$ - відповідно нижня та верхня межі довірного інтервалу.

Вірогідність вибіркового коефіцієнта кореляції. При аналізі зв'язку перевіряється нульова гіпотеза: у генеральній сукупності зв'язок між ознаками відсутній ($H_0: \rho = 0$). Для того щоб вирішити, чи є відмінність вибіркового коефіцієнта кореляції від нуля випадковою чи ні, проводять перевірку нульової гіпотези. Якщо різниця між ρ і r не випадкова, вибірковий коефіцієнт кореляції вважається вірогідним. Для перевірки нульової гіпотези (якщо обидві ознаки розподіляються нормально) використовують параметричний критерій Стьюдента t .

$$t = \frac{r}{s_r} \quad (1.5)$$

де r – коефіцієнт кореляції, s_r – статистична похибка коефіцієнта кореляції. Розрахований критерій $t_{факт}$ порівнюють з критичним значенням (табл. 1 Додаток) при числі ступенів свободи $df=n-2$. Якщо $t_{факт} < t_{табл}$, нульова гіпотеза не відхиляється. Це означає, що зв'язок між ознаками в генеральній сукупності не доведений, коефіцієнт кореляції невірогідний, його відхилення від нуля для вибірки такого обсягу недостатньо, щоб бути взятим до уваги. Якщо $t_{факт} > t_{табл}$, нульову гіпотезу відхиляють. Це означає, що вибірковий коефіцієнт

кореляції значно відрізняється від нуля і не може вважатися випадковим.

Вірогідність вибіркового коефіцієнта кореляції можна оцінити без обчислення статистичної похибки та критерію Стюдента. Для цього використовують *табл. 2 Додаток*, у якій показано, яким має бути значення r при певному обсязі вибірки, щоб його відхилення від нуля вважалось достовірним (не випадковим). Для того щоб скористатися *табл. 2 Додаток*, обчислюють кількість ступенів свободи ($df=n-2$, де n - число вивчених пар ознак), знаходять у таблиці відповідний рядок і порівнюють емпіричний r із табличними. Якщо $t_{\text{факт.}} > t_{\text{табл.}}$, вибіркового коефіцієнта кореляції r вважається вірогідним, наявність зв'язку між ознаками в генеральній сукупності доведена на необхідному рівні значущості. Якщо $t_{\text{факт.}} < t_{\text{табл.}}$, він вважається невірогідним.

Якщо коефіцієнт кореляції виявився невірогідним (занадто велика статистична похибка), то за допомогою *табл. 2 Додаток* можна з'ясувати, яким має бути обсяг вибірки, щоб дане значення коефіцієнта кореляції було вірогідним. При продовженні досліджень (збільшенні обсягу вибірки) значення r може не змінитися, але значення статистичної похибки зменшиться, що зробить r вірогідним. Можливо, що при подальших дослідженнях поряд зі зменшенням статистичної похибки зменшиться і коефіцієнт кореляції, що буде свідчити про відсутність зв'язку між ознаками [6].

2. Використання регресійного аналізу для виявлення залежності між результатними показником і незалежними факторами

Завданням дослідження складних систем і процесів часто є перевірка наявності і встановлення типу зв'язку між незалежними змінними x . (предикторами, факторами), значення яких можуть змінюватися дослідником і мають певну заздалегідь задану похибку, та залежною змінною

(відгуком) y . Розв'язання таких завдань є предметом регресійного аналізу.

Рівняння регресії показує, як у середньому змінюється y при зміні будь-якого з x_i , і має вигляд:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

де y – залежна змінна (вона завжди одна);

x_i - незалежні змінні (фактори) (їх може бути декілька).

Якщо незалежна змінна – це *простий регресійний* аналіз. Якщо ж їх декілька ($n > 1$), то такий аналіз називається **багатофакторним**.

У ході регресійного аналізу вирішуються дві основні задачі:

- побудова рівняння регресії, тобто знаходження виду залежності між результатними показником і незалежними факторами x_1, x_2, \dots, x_n .
- оцінка значимості отриманого рівняння, тобто визначення того, наскільки вибрані факторні ознаки пояснюють варіацію ознаки y .

Класичний регресійний аналіз включає методи побудови математичних моделей досліджуваних систем, методи визначення параметрів цих моделей і перевірки їхньої адекватності. Він припускає, що регресія є лінійною комбінацією лінійно незалежних базисних функцій від факторів з невідомими коефіцієнтами (параметрами). Фактори і параметри є детермінованими, а відгуки — рівноточними (тобто мають однакові дисперсії) некорельованими випадковими величинами. Припускають також, що всі змінні вимірюються у неперервних числових шкалах.

Звичайна процедура класичного регресійного аналізу є такою. Спочатку обирають гіпотетичну модель, тобто формулюють гіпотези про фактори, які суттєво впливають на досліджувану характеристику системи, і тип залежності відгуку від факторів. Потім за наявними емпіричними даними про залежність відгуку від факторів оцінюють

параметри обраної моделі. Далі за статистичними критеріями перевіряють її адекватність.

Регресія виражається за допомогою *рівняння регресії, ліній регресії, коефіцієнтів регресії*. Показники регресії вказують на характер і напрямок залежності між ознаками, а також дають уявлення про те, як зміна однієї з них залежить від зміни іншої.

Регресія називається **лінійною**, якщо при рівномірній зміні x відбувається рівномірна зміна y , якщо значення однієї ознаки лінійно залежить від значень іншої ознаки, лінія регресії являє собою пряму лінію. Рівняння лінійної регресії:

$$y = a + bx,$$

де a – ордината в точці перетинання лінії регресії з віссю ординат, b – тангенс кута нахилу лінії регресії до осі абсцис.

Коефіцієнт b називають *коефіцієнтом лінійної регресії*.

Значення a та b знаходять за наступними формулами:

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \text{ або } b_{yx} = r \frac{S_y}{S_x}$$

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum xy \sum x}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \text{ або } a = \bar{y} - b\bar{x}$$

Регресія називається **нелінійною**, якщо при рівномірній зміні x відбувається нерівномірна зміна y . Нелінійні залежності можуть бути описані відповідними рівняннями та зображені у вигляді ліній регресії [6]:

- степенева функція має вигляд $y = x^a$ де a – дійсне число;
- показникова функція має вигляд $y = a^x$, де a – позитивне число;
- логарифмічна функція є зворотною відносно показникової $y = \log_a x$

3. Значення дисперсійного аналізу для визначення сили впливу факторів на різні ознаки

Дисперсійний аналіз – статистичний метод, що дає можливість порівнювати кілька груп. Метод одержав таку назву тому, що в його основі лежить аналіз різноманітності ознак, показником якої є дисперсія (в англomовній науковій літературі цей метод називається ANOVA - *analysis of variance*). Методологію дисперсійного аналізу розробив Р. Фішер. За допомогою дисперсійного аналізу розв'язують різні наукові задачі. Найчастіше дисперсійний аналіз застосовується в тих випадках, коли необхідно оцінити силу впливу фактора на ознаку. Загальним методичним прийомом усіх видів дисперсійного аналізу є порівняння декількох груп за різноманітністю об'єктів, що їх складають.

У дисперсійному аналізі вживається ряд понять. Характеристика об'єкта, що досліджується, називається *результативною ознакою*. Вважається, що причиною різноманітності ознаки є певний фактор (фактори), який організують у дослідженні відповідно до прийнятих методів. *Фактор* – це будь-який вплив (температура, час, хімічна речовина, екологічна ситуація та ін.) чи стан організму (стать, вік та ін.), різноманітність якого може впливати на різноманітність результативної ознаки. Ступені дії фактора називаються *градаціями фактора* (різний час дослідження, різні дози речовини, різна температура, різні генотипи тощо). Наявність декількох градацій фактора – необхідна умова щодо проведення дисперсійного аналізу. Вивчаючи вплив хімічної речовини на організм, розглядаються її різні концентрації.

Досліджуючи вплив радіації, на об'єкти діють різними дозами випромінювання. Якщо фактором є ***різна екологічна ситуація, за її градації приймають різні ступені забруднення*** навколишнього середовища. Вважається, що різні градації фактора неоднаково впливають на ознаку.

За допомогою *однофакторного дисперсійного аналізу* вивчають вплив одного фактора, за допомогою

двофакторного аналізують вплив двох факторів тощо. Знайдений вплив існує тільки в тих умовах, у яких був організований фактор [6].

За допомогою дисперсійного аналізу вивчають **статистичний вплив** факторів на ознаки. У екології статистичний вплив слід відрізнити від фізіологічного. Якщо фактор узагалі змінює ознаку живого об'єкта, говорять, що він чинить фізіологічну дію. Про статистичний вплив фактора говорять у тих випадках, коли виявляється, що різні його градації неоднаково впливають на ознаку. Про відсутність статистичного впливу фактора свідчить однакова дія на ознаку різних градацій. Статистичний вплив виявляється в різноманітності дат, середніх чи різниць. Наприклад, температури 9, 25, 37 і 48 °С виявляють сильний статистичний вплив на виживаність личинок дроздофіли - відсоток особин, що вижили, у цих умовах розрізняється; а температури 109, 125, 137 і 148 °С, хоча й виявляють сильний фізіологічний вплив, ніякого статистичного впливу не чинять: при всіх температурах гине однаковий відсоток личинок – 100 %.

У дисперсійному аналізі вивчають три види статистичних впливів: факторіальний, випадковий і загальний. *Факторіальний вплив* – це вплив фактора, що організований і контролюється в дослідженні. На ознаку діють не тільки організовані фактори, але й безліч інших, які не враховуються в дослідженні. Ці фактори називаються *випадковими*, а їхній вплив – *випадковим впливом*. Вони створюють загальний фон, на якому відбувається дослідження. Чим більше факторіальний вплив відрізняється від випадкового впливу, тим статистично більш достовірним вважається дія фактора. Сумарний вплив усіх організованих і неорганізованих факторів називається *загальним впливом*.

Дисперсійний комплекс. *Дисперсійний комплекс* являє собою таблицю, у якій окремі спостереження (дати)

розподілені за групами відповідно до градацій факторів. Комплекс також включає середні арифметичні дат за кожною градацією – *часткові середні*, і в усьому комплексі – *загальні середні*.

У залежності від числа прийнятих до уваги факторів, дисперсійні комплекси можуть бути *однофакторними*, *двофакторними* тощо. Якщо в усіх градаціях фактора міститься однакова кількість дат, комплекс називається *рівномірним*, якщо неоднакова – *нерівномірним*. Рівномірний комплекс на практиці буває складно організувати, тому що в процесі роботи окремі особини внаслідок випадкових причин (хвороба, загибель) вилучаються з аналізу, і комплекс, що спочатку задуманий як рівномірний, перетворюється на нерівномірний.

При формуванні дисперсійних комплексів необхідно дотримуватися наступних умов: фактори, що діють на ознаку, мають бути незалежні один від одного, а вибірки, що згруповані в статистичний комплекс, повинні формуватися у випадковому порядку. Для складання дисперсійного комплексу потрібно розподілити дати за градаціями. При вивченні *кількісних ознак* у градації заносяться результати виміру – *дати*. При вивченні *якісних ознак* у градації комплексу заносять *загальне число об'єктів*, а також *число об'єктів з досліджуваною ознакою*.

Питання для самоперевірки. Завдання

1. Наведіть у чому полягає відмінність стохастичних моделей від детермінованих.
2. Обґрунтуйте значення кореляційного аналізу в екології.
3. Назвіть приклади використання параметричного коефіцієнта кореляції Пірсона.
4. Проаналізуйте необхідність визначення статистичної похибки коефіцієнта кореляції.

5. Дайте пояснення необхідності перевірки вірогідності вибіркового коефіцієнта кореляції.
6. Охарактеризуйте значення регресійного аналізу.
7. Порівняйте лінійну та нелінійну регресію.
8. Проаналізуйте значення дисперсійного аналізу для визначення сили впливу факторів на різні ознаки.

Література

1. Гандзюра В. П. Системний аналіз якості навколишнього середовища : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К., 2020. 180 с.
2. Гнатів П. С., Хірівський П. Р., Теорія систем і системний аналіз в екології : навчальний посібник. Львів : «Камула», 2010. 204 с.
3. Голубець М. А. Екосистемологія. Львів : ПОЛЛІ, 2000. 316 с.
4. Дивак М. П. «Системний аналіз» : метод. посібник, Тернопіль, 2004
5. Добровольський В. В. Безсонов Є. М. Системний аналіз якості навколишнього середовища : навч. посіб. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2018. 164 с.
6. Медведєва О., Кропивний В., Мірзак Т., Немировський Ч. Системний аналіз якості навколишнього середовища : навчальний посібник для студентів спеціальності 101 Екологія. Кропивницький : 2021. 80 с.
7. Прищепя А. М., Лико С. М., Портухай О. І., Системний аналіз якості навколишнього середовища : підручник. Київ : Кондор-Видавництво, 2016. 496 с.
8. Системний аналіз якості навколишнього середовища: підручник / Т. А. Сафранов, Я. О. Адаменко, В. Ю. Приходько, Т. П. Шаніна, А. В. Чугай, А. В. Колісник. За ред. проф. Т. А. Сафранова і проф. Я. О. Адаменко. Одеса : ТЕС, 2014. 244 с.