

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**С. А. Грязнова**

**СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ В  
ОХОРОНІ ПРАЦІ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для студентів денної та заочної форм навчання другого (магістерського)  
рівня вищої освіти освітньої програми «Охорона праці»  
за спеціальністю 263 – Цивільна безпека)*

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2021**

**Грязнова С. А.** Системний аналіз та методи оптимізації в охороні праці : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Охорона праці» за спеціальністю 263 – Цивільна безпека) / С. А. Грязнова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 28 с.

Автор канд. техн. наук, доц. С. А. Грязнова

Рецензенти:

**В. Е. Абракітов**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова);

**П. А. Білим**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова).

Рекомендовано кафедрою охорони праці та безпеки життєдіяльності, протокол № 1 від 29.08.2017.

Конспект лекцій складено з метою допомогти студентам спеціальності «Цивільна безпека» освітньої програми «Охорона праці» під час підготовки до занять, заліків та іспитів із курсу «Системний аналіз та методи оптимізації в охороні праці».

© С. А. Грязнова, 2021

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лекція 1 Системні уявлення в практичній діяльності людини	5
Лекція 2 Основні складові, поняття і визначення системного аналізу.....	7
Лекція 3 Реалізація системного аналізу при вирішенні проблем техносфери .....	12
Лекція 4 Оцінка варіантів рішення. Вибір.....	14
Лекція 5 Нелінійне програмування (НП).....	17
Лекція 6 Теорія матричних ігор.....	20
Список рекомендованої літератури.....	27

## ВСТУП

У сучасному світі фахівці в різних галузях знань постійно стикаються з необхідністю вирішувати складні проблеми, породжені складністю самого навколишнього світу, як природного (природа), так і штучного (техносфера). Для того, щоб успішно з цим завданням впоратися, недостатньо розгляду якихось окремих елементів, окремих приватних питань. Необхідно розглядати їх, як ми говоримо, в системі, з урахуванням безлічі взаємозв'язків, безлічі специфічних властивостей. Для вирішення подібних завдань, наприклад, в області екології (дослідження стійкості популяцій тварин, поширення забруднень, проектування техніки і тому подібне було створено безліч підходів, методів, прийомів, які в процесі свого розвитку та узагальнення оформилися в певну технологію подолання кількісних і якісних складнощів.

Оскільки великі та складні системи стали предметом вивчення, управління та проектування, знадобилося узагальнення методів дослідження таких систем і методів впливу на них. Отже, з'явилася потреба в деякій прикладній науці, яка б об'єднала теорію і технологію (практику) вирішення системних завдань. Такі дисципліни виникали в різних сферах практичної діяльності, наприклад:

- а) в інженерній діяльності : методи проектування, інженерна творчість, системотехніка;
- б) в економіці : дослідження операцій;
- в) в адміністративному та політичному управлінні: системний підхід, футурологія, політологія;
- д) в прикладних наукових дослідженнях: «імітаційне моделювання, методологія експерименту».

Зрештою розвиток цих дисциплін спричинив виникнення науки, яка дістала назву «Системний аналіз». Ця дисципліна для вирішення своїх завдань (ліквідації проблеми або з'ясування її причин) використовує можливості різних наук і сфер діяльності. Мова ідеться про використання математики, обчислювальної техніки, експериментів (натурних і чисельних), моделювання.

Наша дисципліна називається «Системний аналіз та методи оптимізації в охороні праці». Таким чином, ви знайомитеся із системним аналізом не як із абстрактною дисципліною, а у зв'язку з тим кругом проблем, які вам, як фахівцям, можливо, належить вирішувати у вашій майбутній діяльності тобто з розробкою математичних моделей тих або інших явищ, що відбуваються в довкіллі, в техносфері, або із проектуванням систем.

## ЛЕКЦІЯ 1 СИСТЕМНІ УЯВЛЕННЯ В ПРАКТИЧНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ

Системність – це не якась придумана ученими якість. Світ, що оточує нас системний. Системне саме людське мислення. Проте є різні рівні системності. Стосовно людського знання, людської діяльності це особливо помітно. Що таке поява проблеми? Це сигнал про недостатню системність існуючої діяльності. Що таке вирішення виниклої проблеми? Це успішний перехід на новий, більш високий рівень системності. Затверджуючи це, в [1], автори підкреслюють, що системність – це не стільки стан, скільки процес.

Чи системне наше знання, наші представлення? Візьмемо те ж слово «система» або «системність». Усі ви, ймовірно, смутно, інтуїтивно розумієте, що це таке, але спроба висловити ці поняття покаже, що це не так просто. Тобто ваші представлення системні, але рівень системності невисокий, ви його підвищуватимете поступово, в процесі вивчення предмета.

Ми легко вживаємо в нашій мові слово «система» («сонячна», «нервова», «екологічна», «система заходів», «система рівнянь», «система поглядів» і тому подібне). Найочевидніші і обов'язкові ознаки систем ми можемо відмітити вже зараз, а саме певний склад, структурованість системи, взаємозв'язок її складників, ієрархічність, підлеглість організації усієї системи визначеній меті.

Це легко ілюструється на «біологічному» матеріалі. Прикладом може служити організм тварини, людини. Дійсно, організм – це система. Ця система представляє не просту сукупність складових її елементів, підсистем (клітин, органів і так далі), але сукупність взаємозв'язану, метою ж її служить підтримка гомеостазу – постійність внутрішнього середовища організму для забезпечення його життєдіяльності.

У світі нерухомої матерії легко видимі усі перераховані ознаки системи, за винятком, мабуть, підлеглості певної мети. Наприклад, сонячна система – це не просто дев'ять планет, що обертаються навколо Сонця; їх рухи по орбітах взаємозв'язані, взаємозалежні: зникнення однієї з них, або зміна її орбіти під дією якої-небудь гіпотетичної зовнішньої дії вплинула б на орбіти інших складових системи, тобто система якоюсь мірою змінила б свою внутрішню структуру, залишаючись проте, системою, єдиним цілим.

Крім того, сучасні переконання на процес самоорганізації матерії («синергетика») припускає прагнення нестійких нерівноважних станів систем до деяких «точок», які в деякому розумінні ми можемо розглядати як аналоги мети.

Якщо ми будемо розглядати практичну діяльність людини, то усі перераховані ознаки систем тут насправді очевидні. Дійсно:

- а) всяка наша усвідомлена дія переслідує певну мету;
- б) у всякій дії легко побачити його складові частини, тобто дрібніші дії.

При цьому легко переконатися, що ці дії (складові частини) повинні виконуватися не в довільному порядку, а в певній послідовності. Це і є певна,

підпорядкована меті взаємопов'язаність складових частин, яка і є ознакою системності.

Роль системних представлень в людській практиці постійно зростає, а з іншого боку зростає сама системність людської практики.

Світ, що оточує нас, нескінченний. Людина ж існує кінцевий час і має в розпорядженні кінцеві матеріальні, енергетичні, інформаційні ресурси. Але людина отримує світ і, йдучи довгою, звивистою стежкою, здійснюючи численні помилки, все ж пізнає його вірно, свідомством чому являється його практична діяльність. А. Ейнштейн говорив, що найдивовижніше в природі те, що вона пізнана.

Отже, людське пізнання має якісь особливості, які дозволяють вирішувати протиріччя між необмеженістю бажань людини пізнати світ та обмеженістю його можливостей зробити це, між нескінченністю природи та кінцівкою ресурсів людства.

Такою особливістю є, передусім, наявність аналітичного та синтетичного образів мислення, тобто здібності до аналізу і синтезу.

Аналіз – це поділ цілого на частини, уявлення складного у вигляді сукупності простіших компонентів.

Щоб зрозуміти ціле, складне, потрібний і зворотний процес – синтез. Синтез – метод дослідження, що складається в пізнанні досліджуваного предмета, явища як єдиного цілого, в єдності і взаємозв'язку його частин. Аналітичність людського пізнання знаходить вираження, зокрема, у виділенні з єдиної натурфілософії різних наук.

Процес диференціації наук, глибоке вивчення усе більш вузьких питань йде і понині.

В той же час виникають так звані «пограничні» науки, що утворюються як би на стику різних дисциплін, як, наприклад, біохімія, біофізика.

Це вже процес «синтезу» знань. Інша, більш висока форма синтетичних знань реалізується у вигляді наук про найзагальніші властивості природи (філософія, математика). Такі науки як кібернетика, теорія систем, теорія організації, теорія управління, інженерна психологія, синтетичні за своєю суттю. У них з'єднуються природні, технічні і гуманітарні знання.

Усвідомлення діалектичної єдності аналізу і синтезу настало не відразу, і в різні історичні епохи системність мислення мала різний характер. Так, в історії пізнання людиною природи виділяють 4 стадії:

1. Синкретична – стадія нерозчленованого, недеталізованого знання. На цій стадії формувалася так звана натурфілософія – вмістище ідей і припущень, що були до XIII – XV століття зачатками природничих наук.

2. Аналітична (із XV – XVI ст.) – уявне розчленовування і виділення частковостей, фізики, що привели до виникнення хімії і біології та ін. природних наук. Для цієї стадії характерний метафізичний спосіб мислення.

3. Синтетична – відтворення цілісної картини Природи на основі раніше пізнаних частковостей.

4. Інтегрально–диференціальна (людство ще тільки вступає в неї) покликана не лише обґрунтувати принципову цілісність (інтегральність) усього природознавства, але і сформувати дійсно єдину науку про Природу, розглядаючи її (Всесвіт, Життя, Розум) як єдиний багатогранний об’єкт, із загальними закономірностями розвитку.

Слід сказати, що усвідомлення системності світу та мислення завжди відставало від системності (емпіричною) людської практики.

Історія розвитку системних представлень йшла як би по різних напрямках і з різних вихідних позицій. З одного боку до сучасного розуміння йшла філософія, з іншої – конкретні науки. У своєму русі до істини вони неминуче повинні були зійтися, що, по суті і відбувається нині.

Результати філософії відносяться до безлічі усіх існуючих і мислимих систем, носять загальний характер. Щоб застосувати їх до конкретних ситуацій ми повинні використати дедуктивний метод.

Конкретні науки переважно дотримуються протилежного, індуктивного методу, тобто від дослідження реальних, конкретних систем до встановлення загальних закономірностей.

Особливий інтерес представляють ті моменти в історії, коли системність сама по собі ставала об’єктом дослідження для природних і технічних наук.

Загальна теорія систем Л. Берталанфі. Загальна теорія систем – це як би паралельний, незалежний по відношенню до кібернетики, підхід до науки про системи. У 1950 р. австрійський біолог Л. Берталанфі опублікував книгу «Основи загальної теорії систем». Берталанфі намагався відшукувати структурну схожість законів, встановлених в різних дисциплінах і, узагальнюючи їх, виводити загальносистемні закономірності.

Якщо в кібернетиці Вінера вивчалися лише внутрісистемні зворотні зв’язки, а функціонування систем розглядалося як відгук на зовнішні дії, то Берталанфі, розвиваючи ідеї фізика Шредінгера, розробив концепцію організму як відкритої системи та сформулював програму побудови загальної теорії систем.

Ще один підхід до дослідження систем, пов’язаний із так званою бельгійською школою на чолі з І. Пригожиным. Цей учений займався термодинамікою не рівноважних фізичних систем (Нобелівська премія 1977 р.) та стверджував, що виявлені ним закономірності справедливі для систем будь-якої природи.

## **ЛЕКЦІЯ 2 ОСНОВНІ СКЛАДОВІ, ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ**

У сучасному розумінні системний аналіз – це синтетична наукова дисципліна, яка розробляє способи дослідження різноманітних складних систем або ситуацій при нечітко поставлених критеріях і ухвалення рішень в умовах аналізу великої кількості інформації різної природи.

Склад загальної теорії систем та системного аналізу може бути представлений схематично (рис. 2.1).

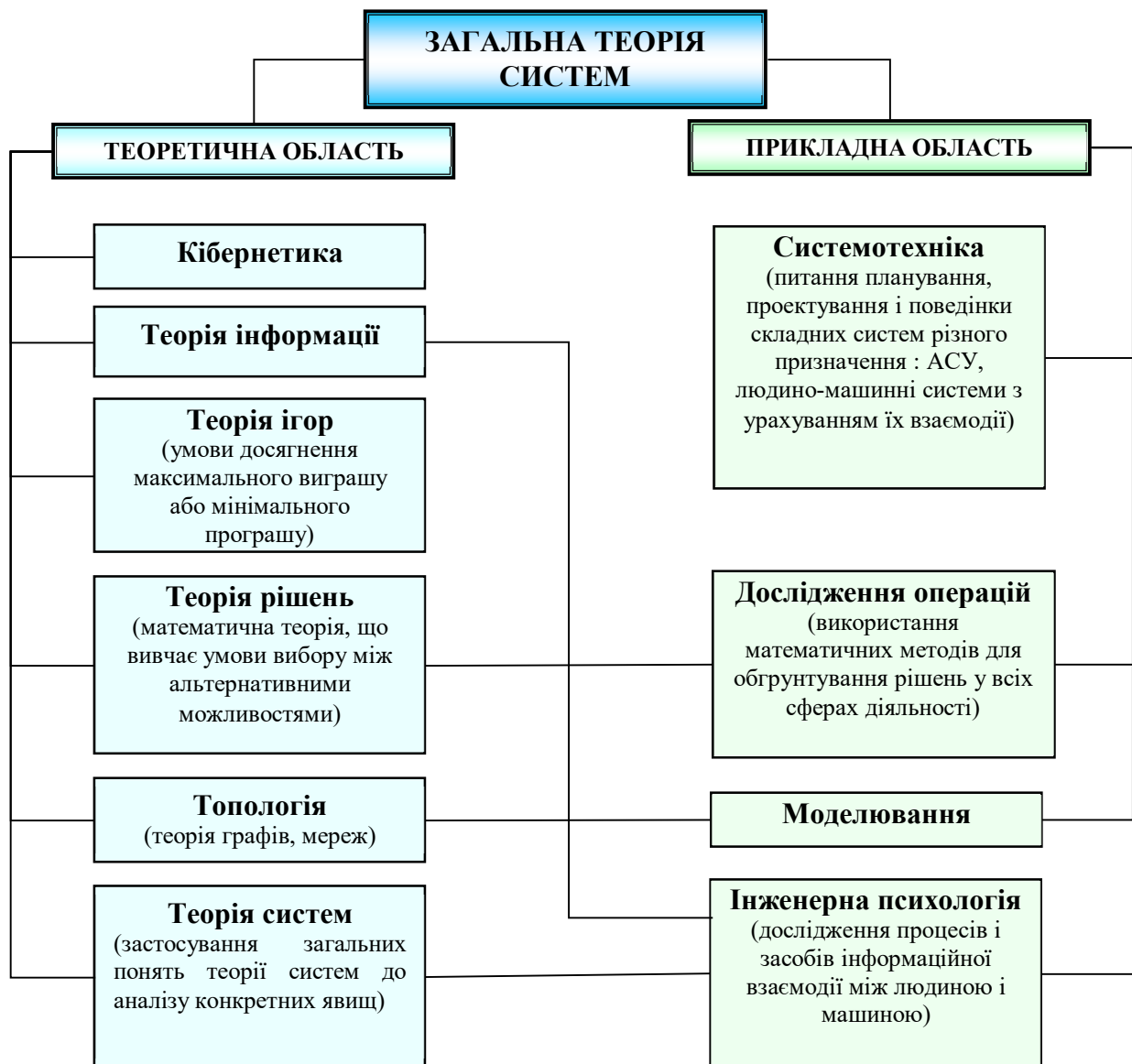


Рисунок 2.1 – Склад загальної теорії систем і системного аналізу

Ці способи припускають облік не лише об'єктивної, але і суб'єктивної інформації.

При системному підході використовуються як математичний апарат (теорія ухвалення рішень, теорія ігор, теорія дослідження операцій), так і методи неформального аналізу.

Оскільки в сучасній літературі використовується три схожих на перший погляд поняття: «системний аналіз», «теорія систем» і «системний підхід», уточнимо ці поняття ще раз.

1. Системний аналіз, як було сказано вище, виник у відповідь на потреби вивчення складних систем. Центральною проблемою системного



аналізу є проблема ухвалення рішень і побудова моделей. Таким чином, ця дисципліна безумовно прикладна, орієнтована на рішення конкретних завдань.

2. Теорія систем, яку розвивав біолог Л. Берталанфі в 50-х роках (раніше в 20-х – А. А. Богданов), пізніше І. І. Шмальгаузен, В. Н. Беклемишев. Це розробка поняття організації, дослідження різних форм і рівнів організації, значення організації в розвитку матеріального світу.

Таким чином ця дисципліна носить не прикладний, як системний аналіз, а методологічний характер.

3. Системний підхід. Поява цього поняття пов'язана з розвитком двох ліній в історії науки : аналізу і синтезу. У останні десятиліття роль синтезуючих побудов, синтезу особливо зросла. Потребу не просто вивчати явище, факт, але встановлювати його зв'язок з іншими фактами, привела до появи терміну «системний підхід». Системний підхід може розглядатися як початкова фаза системного аналізу, етап первинного, якісного аналізу проблеми і постановки завдань змін, що відбуваються в них, і формалізація такого опису, причому навіть у разі суб'єктивної інформації.

Одним з найважливіших напрямів розвитку системних досліджень є вивчення організаційних структур систем і, передусім, систем, що мають ієрархічну організацію (теорія систем).

Другий напрям пов'язаний з розробкою принципів побудови і використання моделей (моделювання), що імітують протікання реальних процесів, способів об'єднання таких моделей в системи і представлення системи моделей в ЕОМ.

Третій напрям – застосування методології системного аналізу в конкретних областях. Наприклад, створення систем забезпечення безпеки, керівництво і управління виробництвом.

Дійсно, що таке система забезпечення безпеки? Це сукупність людей, устаткування і процедур, спеціально розроблена стосовно промислової (чи будь-якої іншої трудової системи) для збільшення безпеки працівників. При цьому, проте, встає питання: які критерії повинні використовуватися при формуванні штатів, складанні правил і придбання устаткування? Очевидно, що потрібно прагнути до максимальної ефективності капіталовкладень, проте при цьому добитися досягнення головної мети – безпеки.

Таким чином, в системному аналізі можуть бути виділені три основні складових :

а) методологія – базовий початок системного аналізу; вона включає визначення базових понять, принципи системного підходу, постановку і загальну характеристику основних проблем системного дослідження;

б) апаратна реалізація, яка має на увазі стандартні процедури моделювання (процесів і явищ, ухвалення рішень);

в) досвід застосування (ця область надзвичайно велика, оскільки системність досліджень потрібна для таких галузей, як біологія, екологія, психологія, медицина, соціологія, управління державою, регіоном та ін.).

Використання обчислювальної техніки. Йдеться про використання ЕОМ при рішенні системних завдань, тобто про взаємодію людини і ЕОМ. Можна виділити три сторони цієї взаємодії :

1) партнерство у виконанні операцій (діалог з ЕОМ); діалог у вигляді питань і відповідей є присутнім у будь-якій інформаційній базі, є зручним при роботі з імітаційними моделями;

2) програмування, створення програмних засобів, програмного продукту (від рішення квадратного рівняння до програми розрахунку динаміки посадки літака, космічного апарату та ін.)

3) оцінка людиною рішення або іншої інформації, отриманої за допомогою ЕОМ і виробітку вказівок для використання результатів дослідження на практиці. Є спеціальний термін : «особа, що приймає рішення». Володіння апаратом системного аналізу неможливо без уміння визначати тактику і стратегію використання ЕОМ, баз цих, обчислювальних мереж. Частенько це уміння безпосередньо визначає успіх системного дослідження.

Існує певний набір понять, пов'язаних із сучасним використанням слова «система».

Елементом системи називається деякий об'єкт (матеріальний, енергетичний, інформаційний), що володіє рядом важливих для нас властивостей, але внутрішній зміст (будова) якого безвідносний до мети розгляду (наприклад, елемент – висхідна або не аналізована далі подія в дереві відмов).

Позначимо елементи буквою М, а всю їхню можливу сукупність  $\{M\}$ . Приналежність елемента до сукупності прийнято записувати :  $M \in \{M\}$ .

Зв'язок – важливий для цілей розгляду обмін між елементами, речовиною, енергією, інформацією.

Система – сукупність елементів, що характеризується наступними ознаками :

а) зв'язками, які дозволяють за допомогою переходу по них від елемента до елемента з'єднати два будь-які елементи сукупності (зв'язність системи);

б) властивістю (призначенням, функцією), відмінною від властивостей (чи суми властивостей), окремих елементів сукупності; ця властивість також називається емерджентністю (функція системи), якій, у свою чергу, можна дати наступне визначення: емерджентність – особливість систем, що полягає в тому, що властивості системи не зводяться до сукупності властивостей частин, з яких вона полягає і не виводяться з них.

Велика система – система, що складається зі значного числа однотипних елементів і зв'язків.

Складна система – система, що складається з елементів різних типів і має різноманітні зв'язки між ними.

Структура системи – розчленовування її на групи елементів з вказівкою зв'язків між ними, незмінне на увесь час розгляду і уявлення, що дає, про систему в цілому.

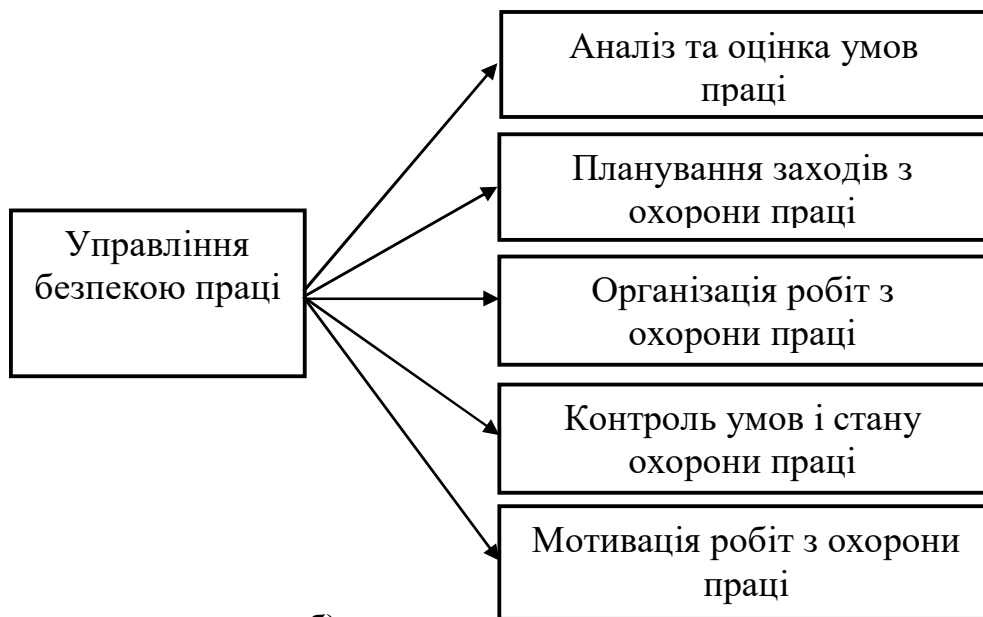
Розчленовування системи може мати різну основу:

- матеріальну (речову) (рис. 3а);
- функціональну (рис. 3б);
- алгоритмічну (алгоритм програми, інструкція).

Групи елементів в структурі зазвичай виділяються за принципом простих або відносно слабкіших зв'язків між елементами різних груп. Структура системи зазвичай зображується у вигляді графічної схеми (структурної схеми).



а).



б).

Рисунок 2.3 – Структура системи

Близьким до поняття структури є поняття декомпозиції.

Декомпозиція – ділення системи на частини, зручні для яких-небудь операцій з цією системою (приклад : розгляд фізичного явища або математичний опис окремо для цієї частини системи).

Суть декомпозиції – спрощення системи, занадто складної для розгляду цілком. Фактично, це найважливіша процедура системного аналізу, пов'язана саме з аналізом системи.

Агрегація – протилежна процедура (процедура синтезу) – об'єднання частин в ціле, встановлення зв'язків.

Оточення системи. Для того, щоб диференціювати, відокремити систему від не системи, вводиться поняття оточення системи (зовнішнього середовища, що оточує середовища).

Ієрархія – структура з наявністю підлеглості, тобто нерівноправних зв'язків між елементами, коли дія в одному з напрямів роблять набагато більший вплив на елемент, чим в іншій.

### **ЛЕКЦІЯ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ПРИ РІШЕННІ ПРОБЛЕМ ТЕХНОСФЕРИ**

Системний підхід до рішення проблем включає наступні етапи:

- відшукування можливих варіантів рішення;
- визначення наслідків використання кожного з можливих варіантів рішення;
- застосування об'єктивних тверджень або критеріїв, які вказують, чи є одно рішення більш переважним, ніж інші.

При цьому не передбачається, що використовувані способи вибору рішення є єдиними або, що вони не мають визначеностей.

Як вже говорилося раніше, елементи системи і сама система мають властивості. Тепер можна ввести поняття характеристики системи.

Характеристика – те, що відбиває деяку властивість елементу системи. Характеристика задається кортежем  $y_i = \langle \text{name}, \{\text{value}\} \rangle$  де name – ім'я j-ї характеристики  $\{\text{value}\}$  – область допустимих значень. Область допустимих значень задається перерахуванням цих значень або функціонально, за допомогою правил обчислення або виміру їх оцінки.

Мета – ситуація або область ситуацій, яка має бути досягнута при функціонуванні системи за певний проміжок часу.

Мета може задаватися вимогами до показників результативності, трудомісткості, оперативності функціонування системи або до траєкторії досягнення заданого результату.

Показник – це характеристика, що відбиває якість j-ї системи або цільову спрямованість процесу (операції), що реалізовується j-ї системою.

Показники якості відбивають властивості самої системи. Ефективність системи обумовлена не лише властивостями системи, але і умовами довкілля (оточення системи).

В цілому показники можуть бути поставлені у відповідність деяким чинникам, властивим системі.

Опис системи за допомогою багатьох показників заданих якісно або що мають різні одиниці виміру є векторною. Інформація, що відноситься до системи, не може бути представлена як результат єдиного виміру. Кожна компонента вектору мінятиметься при заміні одного можливого варіанту іншим.

Приклад : негативні дії в системі «Людина – місце існування». Основними показниками тут є:

- 1) захворюваність (A1);
- 2) дитяча смертність (A2);
- 3) медико–генетичні порушення (A3);
- 4) специфічні і онкологічні еколого-залежні захворювання (A4);
- 5) зниження якості питної води (B1);
- 6) радіоактивне забруднення ґрунтів (B2);
- 7) хімічне забруднення ґрунтів (B3);
- 8) колективна ефективна доза опромінення (B4);
- 9) критичних рівнів (максимальні значення концентрацій забруднюючих речовин (C1);
- 10) міра виснаження водних ресурсів (C2);
- 11) міра деградації ґрунтів (C3);
- 12) міра забруднення ґрунтів (C4);
- 13) міра деградації наземних екосистем (C5);
- 14) стан рослинності (C6);
- 15) стан тваринного світу (C7);
- 16) змін геологічного середовища Д1;
- 17) змін біогеохімічного складу середовища Е.

Етапи системного аналізу.

1. Формулювання проблеми.
2. Визначення цілей.
3. Збір інформації.
4. Розробка максимальної кількості альтернатив.
5. Відбір альтернатив.
6. Побудова моделі у вигляді рівнянь, програм або сценарію.
7. Оцінка витрат.
8. Дослідження чутливості рішення (параметричне дослідження).

Як бачимо, тут багато схожості, основні моменти практично ті ж. Проте, зазвичай не вдається побудувати модель усієї системи в цілому, або це недоцільно із–за необхідності залучення величезних обчислювальних ресурсів. Тому при дослідженні складних систем прибігають до декомпозиції, або структурного розбиття системи.

## ЛЕКЦІЯ 4 ОЦІНКА ВАРІАНТІВ РІШЕННЯ. ВИБІР

В попередній лекції були розглянуті два етапи завдання розробки програми (системи). Третій етап – це етап, де оцінюються можливі варіанти рішення.

Тут ми намагаємося класифікувати можливі варіанти їх переваги. Найбільш поширений метод ґрунтований на інтуїтивних судженнях.

Найчастіше основна увага приділяється тим змінним, які легко представляються в чисельному вигляді (наприклад, вартість). Таким чином, важливу роль тут грає вимір змінних системи. Важливо ще раз згадати: При системному плануванні техносфери необхідно буває розглядати змінні, які не можуть бути виміряні в одних і тих же одиницях. Коротко можна перерахувати наступні операції, що виконуються на етапі оцінки варіантів рішення :

- 1) визначення міри для кожного показника системи;
- 2) об'єднання усіх показників в єдине представлення або функцію, по яких можна вибрати найбільш бажане рішення (так звану цільову функцію).

**Цільова функція.** Поняття цільової функції відноситься до найважливіших понять системного аналізу. Цільовою функцією називається скалярний опис системи, який використовується для ухвалення рішення. Якщо, наприклад, єдиною вимогою до системи є її вартість, то цільова функція – це вартість здійснення проекту і вимагається вибрати варіант рішення, при якому досягається мінімальна вартість системи, тобто її максимальна корисність. Якщо, наприклад, вимоги до системи включають і вартість, і час, то цільова функція повинна включати обидві ці характеристики.

Таким чином, цільова функція використовується для оцінки системи, а саме, її ефективності.

Властивості систем можуть бути підрозділені на наступні. загальносистемні: цілісність, стійкість, спостережливість, керованість, детермінована, відкритість, динамічність;

структурні: склад, зв'язність, організація, складність, централізованість, об'єм;

функціональні: результативність, трудомісткість, оперативність, активність, потужність, мобільність, продуктивність, швидкодія, готовність, працездатність, економічність і тому подібне.

Спираючись на цю класифікацію, показники якості системи можна віднести до області загальносистемних і структурних властивостей, а показники ефективності – до області функціональних властивостей.

**Цільова функція.** Якість результату якої-небудь операції і алгоритм отримання результатів оцінюють по результативності  $Y_z$  (цільовий ефект), трудомісткості  $Y_p$  (витрата ресурсів усіх видів) і оперативності  $Y_o$  (витрата часу).

Ці показники в сукупності і породжують комплексну властивість системи – ефективність  $Y_{\text{эф}}$  – міра пристосованості системи до досягнення заданої мети.

Вибір  $Y_{\text{эф}}$  – центральний (і в той же час, досить суб'єктивний) і найважливіший момент при дослідженні і проектуванні систем. Тут можна доки лише відмітити, що краще отримати неоптимальне рішення за правильно вибраним показником (критерієм), чим оптимальне за неправильно вибраним показником.

Ефективність системи на відміну від якості проявляється тільки при її функціонуванні і залежить від властивостей самої системи, способу її застосування і від дії зовнішнього середовища (оточення).

Конкретний фізичний сенс цільової функції визначається метою операції. У загальному випадку :  $Y_{\text{эф}} = \langle Y_z, Y_p, Y_o \rangle$ .

Оцінка можливих варіантів рішення з подальшим вибором найкращого є найважливішою операцією, що обов'язково входить у будь-які цілеспрямовані процеси і носить назву вибору, або ухвалення рішень.

Вибір є дією, що надає усій діяльності цілеспрямований характер. Саме вибір реалізує підлеглість усієї діяльності певній меті або сукупності цілей. Для досить добре вивчених (добре структурованих) завдань можлива повна формалізація, тобто алгоритмізація знаходження найкращого рішення. Цільова функція при цьому є аналітичним вираженням. Для вирішення слабо структурованих завдань, особливо за наявності розпливчатості, повністю формальних алгоритмів не існує (якщо не рахувати методу проб і помилок). Сучасна тенденція практики вибору в природних ситуаціях – поєднання здатності людини вирішувати неформалізовані завдання з можливостями формальних методів і комп'ютерного моделювання (діалогові системи підтримки рішень, експертні системи, інформаційно-пошукові системи, системи управління базами даних, АСУ і тому подібне).

Можна виділити два класи оптимізаційних завдань : завдання безумовної оптимізації, коли рішення можна шукати на усій безлічі дійсних чисел і завдання умовної оптимізації, коли на область допустимих рішень накладаються певні обмеження – умови, і формується так звана область допустимих рішень. Перший клас завдань нам добре знаком – це завдання дослідження функцій на максимум–мінімум, яке здійснюється за допомогою похідної. До другого класу відносяться завдання так званого математичного програмування. Спрощена класифікація завдань оптимізації приведена на рисунку 4.1.

Вважається, що необхідною і достатньою умовою для постановки завдань умовної оптимізації систем є завдання:

а) критерію оптимізації  $q = F(X) \rightarrow \min (\max)$ , тобто показника або параметра, в екстремумі якого зацікавлений дослідник;

б) цільової функції  $F(X)$ , що зв'язує критерій зі змінними  $x_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ), тобто тими конструктивними і іншими характеристиками системи, які можуть бути змінені при необхідності;

в) обмежень  $A_{ij}(X_j) \geq b_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ), на ряд характеристик, що також є функціями  $x_j$ ;

г) області значень змінних  $x_j^{\min} \leq x_j \leq x_j^{\max}$ , що враховуються.

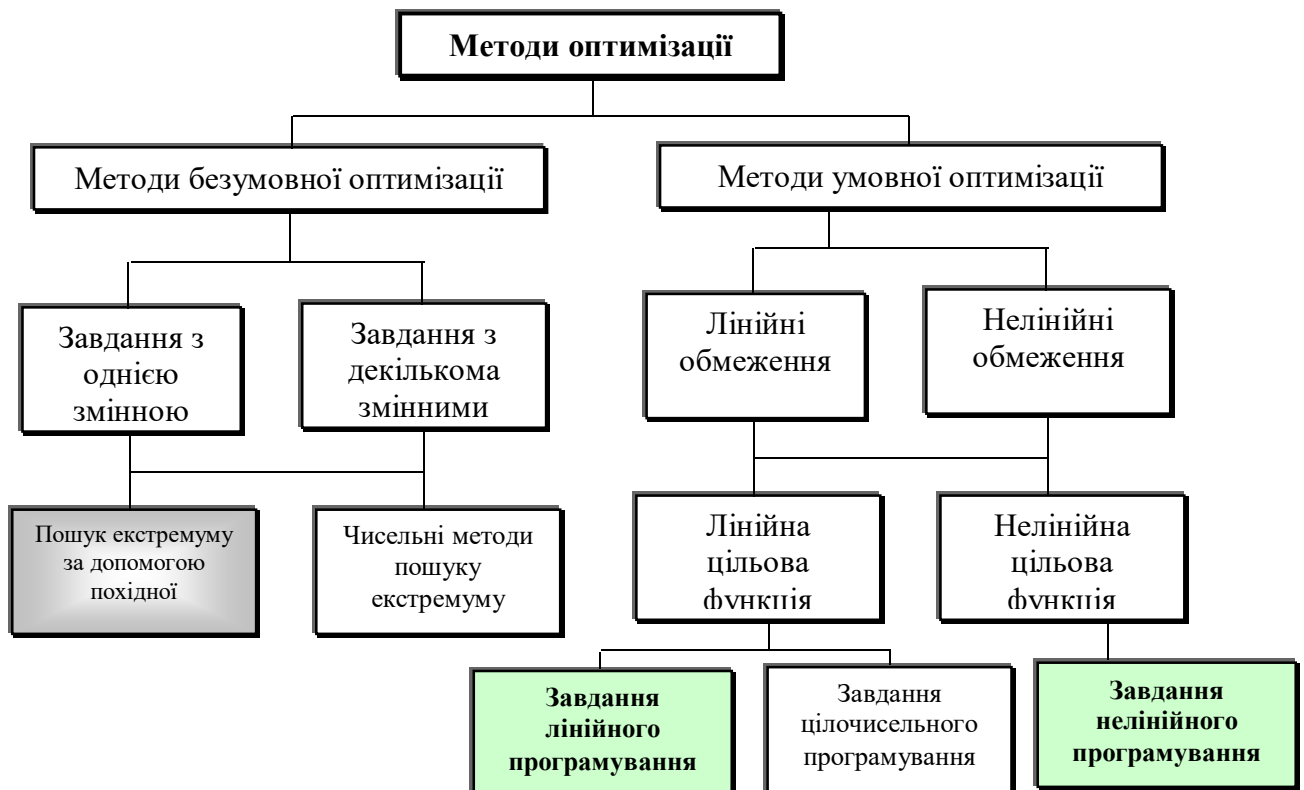


Рисунок 4.1 – Методи оптимізації

Обмеження в завданнях оптимізації можуть торкатися:

- доступних ресурсів (засобів, часу);
- природи даних процесів і змінних, що враховуються;
- особливостей прийняття допущень і області значень змінних.

Послідовність рішення оптимізаційних завдань в зазвичай включає наступні етапи:

- 1) змістовна (вербальна) постановка;
- 2) складання математичної (числовий) моделі;
- 3) підготовка початкових даних по кожній з альтернативних дій і визначення області допустимих рішень;
- 4) вибір методу рішення задачі;
- 5) розробка або підбір алгоритму (програми) обчислень вручну або на ЕОМ;
- 6) рішення задачі, тобто знаходження оптимуму – максимального або мінімального значення цільової функції (критерію);
- 7) верифікація, тобто перевірка отриманих результатів на правдоподібність і аналіз рішення.



## ЛЕКЦІЯ 5 НЕЛІНІЙНЕ ПРОГРАМУВАННЯ (НП)

У загальному вигляді завдання НП полягає у визначенні  $\max/\min$  значення

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

за умови, що її змінні задовольняють співвідношенням

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i \quad (i = 1, k),$$

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_i \quad (i = k + 1, m),$$

де  $f_i$ ,  $g_i$  деякі відомі функції  $n$  змінних, а  $b_i$  – задані числа.

Мається на увазі, що в результаті рішення задачі буде визначена точка  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ , координати якої задовольняють співвідношенню (2), причому для всякої іншої точки, що відповідає умовам (2), виконується

$$F^*(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) > f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Якщо  $f$  і  $g_i$  – лінійні функції, то це буде завдання лінійного програмування.

Співвідношення (2), що утворюють систему обмежень, включають і умови позитивності змінних, якщо такі є. Останні можуть бути задані і окремо.

У просторі Евкліда  $E_n$  система обмежень (2) визначає ОДР. На відміну від завдання ЛП вона не завжди є опуклою.

Якщо визначена ОДР, то знаходження рішення задачі НП зводиться до визначення такої точки цієї області, через яку проходить гіперповерхня найвищого (найнижчого) рівня:  $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = h$ , причому ця точка може знаходитися як на межі ОДР, так і усередині неї.

На проведення заходів по підвищенню екологічності виробництва підприємство має 220 тис. грн. Ці засоби можуть бути розподілені між трьома підрозділами. Кожен варіант розподілу знижує певною мірою збиток від забруднення довкілля і дає певний ефект, рівний відверненому збитку. Вимагається визначити такий варіант розподілу капіталовкладень, при якому ефект, що отримується підприємством буде максимальним.

### Математична модель.

Позначимо капіталовкладення, розподілені між трьома підрозділами  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ .

Ефект по кожному підрозділу:  $C_1(x_1)$ ,  $C_2(x_2)$ ,  $C_3(x_3)$ .

$$F = C_1(x_1) x_1 + C_2(x_2) x_2 + C_3(x_3) x_3 = f(x_1, x_2, x_3) \rightarrow \max$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = 220$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0.$$

Відомо, що можна регулювати міру чистоти оточуючого середовища шляхом нормування, тобто введення допустимого рівня забруднюючих речовин в середовищі. Таке регулювання можна здійснювати шляхом видачі виробникові ліцензій, умовою для отримання яких було б дотримання встановлених норм якості оточуючого середовища. Природно, що кожне підприємство – джерело забруднення несе певні витрати на усунення забруднення.

Повні витрати ( $C$ ) на усунення забруднення складаються з суми витрат  $C_i$  для кожної забруднюючої середу:

$$C = \sum_i C_i(Q_i)$$

де  $Q_i$  – маса усуненої забруднюючої речовини  $i$ -м підприємствам.

Для забезпечення встановленого рівня якості оточуючого середовища повна маса забруднюючої речовини  $Q$ , що підлягає усуненню, визначається як:

$$Q = \sum_i Q_i.$$

Оскільки витрати підприємств на усунення забруднень лягають також і на споживачів продукції (дорожчання її), то суспільству в цілому вигідна мінімізація повних витрат на забезпечення якості оточуючого середовища.

Таким чином цільова функція:

$$C = \sum_i C_i(Q_i),$$

де обмеження  $\sum_i Q_i = Q$ .

У загальному випадку це завдання з розмірністю  $> 2$ . Їх рішення зводиться до мінімізації так званої функції Лагранжа

$$L(Q_i) = \sum_i C_i(Q_i) \cdot \lambda \left[ \sum_i Q_i - Q \right].$$

При числі змінних не більше двох задачі НП можна вирішити геометричним способом.

Процес знаходження рішення задачі НП (1), (2) з використанням її геометричної інтерпретації включає наступні етапи:

1. Знаходять ОДР завдання, визначувану співвідношенням (2); якщо вона порожня, то завдання не має рішення.
2. Будують гіперповерхню  $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = h$ .
3. Визначають гіперповерхню найвищого (найнижчого) рівня або встановлюють нерозв'язність завдання із-за необмеженості функції (1) зверху (знизу) на безлічі допустимих рішень.
4. Знаходять точку ОДР, через яку проходить гіперповерхня найвищого (найнижчого) рівня, і визначають значення функції (1).

Математична постановка. Розглянемо окремий випадок загального завдання НП (1), (2), припускаючи, що система обмежень (2) містить тільки рівняння, відсутні умови позитивності змінних, і  $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$  і  $q_i(X_1, X_2, \dots, X_n)$  – функції, безперервні разом зі своїми приватними похідними:

$$\begin{aligned} f(X_1, X_2 \dots X_n) &\rightarrow \max (\min) \\ q_i(X_1, X_2, \dots X_n) &= b_i \quad (i = 1, m). \end{aligned}$$

Це так зване завдання на умовний екстремум або класичне завдання оптимізації.

Щоб знайти рішення цієї задачі, вводять набір змінних  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ , що називаються множниками Лагранжа, складають функцію Лагранжа.

$$F(X_1, X_2, \dots, X_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = f(X_1, X_2, \dots, X_n) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot [b_i - q_i(x_1, x_2, \dots, x_n)]$$

Для цього знаходять приватні похідні:

$$\frac{dF}{dX_j} (j = 1, n) \text{ і } \frac{dF}{d\lambda_i} (i = 1, m) \text{ і розглядають систему } n + m \text{ рівнянь.}$$

$$\frac{dF}{dX_j} = \frac{df}{dX_j} - \sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{dq_i}{dX_j} = 0 \quad (j = 1, n)$$

$$\frac{dF}{d\lambda_i} = b_i - q_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (i = 1, m)$$

з  $n+m$  невідомими  $X_1, X_2, \dots, X_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ .

Всяке рішення цієї системи рівнянь визначає точку  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ , в якій може мати місце екстремум функції  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Отже, вирішивши систему рівнянь, отримують усі точки, в яких функція  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  може мати екстремальні значення.

Таким чином, визначення екстремальних точок завдання НП методом множників Лагранжа включають наступні етапи:

1. Складають функцію Лагранжа.
2. Знаходять приватні похідні від функції Лагранжа по змінних  $X_1$  і  $\lambda_1$  і прирівнюють їх нулю.
3. Вирішуючи отриману систему рівнянь, знаходять точки, в яких цільова функція завдання може мати екстремум.
4. Серед точок, підозрілих на екстремум, знаходять такі, в яких досягається екстремум, а обчислюють значення цільової функції в цих точках.

Розглянуті нами методи лінійного і нелінійного програмування (а також цілочисельне програмування, динамічне програмування) об'єднуються поняттям математичне програмування. Математичне програмування як і інші

методи рішення екстремальних завдань складають основу апарату дослідження операцій – дисципліни, яка є одним з витоків системного аналізу. Фактично, основні концепції, принципи аналізу систем є розвитком теорії дослідження операцій, і її методи є сьогодні однією з основних глав системного аналізу.

Сам термін «дослідження операцій» виник в післявоєнні роки, коли стало ясно, що завдання широкого класу, що виникли в найрізноманітніших сферах людської діяльності, мають, незважаючи на їх якісну відмінність, одно загальне. Вони зводяться до вибору способу дії, варіанту плану, параметрів конструкції і тому подібне, тобто до ухвалення рішень, і цього загального досить для побудови єдиної теорії і єдиної системи методів. Створення складних технічних систем, проектування складних народногосподарських комплексів, аналіз екологічних ситуацій і багато інших напрямів інженерної, наукової і господарської діяльності вимагали розвитку міждисциплінарних, системних досліджень. У цих умовах виник і дуже загальний термін – «операція», що означає будь-яку цілеспрямовану дію. Говорячи про операцію, ми завжди зв'язуємо з нею деякого суб'єкта, який формулює мету операції і в інтересах якого остання проводиться. Мета операції – зазвичай деякий зовнішній (екзогенний) елемент, який задається.

Разом з суб'єктом, ми завжди маємо справу ще і з дослідником операції. Його завдання полягає в тому, щоб знайти спосіб використання цього ресурсу та досягнення мети.

Вище було сказано, що математичне програмування, як і інші методи рішення екстремальних завдань, складають основу апарату дослідження операцій, проте сама теорія дослідження операцій не може бути зведена до рішення екстремальних завдань. Більше того, дослідження операцій не є чисто математичною дисципліною і головні складнощі аналізу конкретних операцій, як правило, полягають не в математичних труднощах.

## ЛЕКЦІЯ 6 ТЕОРІЯ МАТРИЧНИХ ІГОР

Раніше ми познайомилися із завданнями вибору рішення, коли кожній альтернативі (варіанту вибору) відповідав певний результат. Це був, таким чином, вибір в умовах визначеності.

У реальних завданнях часто доводиться мати справу з ситуацією, коли альтернатива неоднозначно визначає наслідки зробленого вибору. Іншими словами, є набір можливих результатів  $u \in Y$ , з яких один виявиться поєднаним з вибраною альтернативою, але з якою саме – у момент вибору невідомо, але стане ясно тільки тоді, коли вибір вже зроблений, і нічого змінити не можна. Хоча з різною альтернативою  $x \in X$  пов'язана одно і те ж безліч результатів  $Y$ , для різних альтернатив різні результати мають неоднакове значення.

У разі дискретного набору альтернатив і результатів описану вище ситуацію можна представити у вигляді матриці

X, Y	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_j$	...	$y_m$
$x_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{1i}$	...	$a_{1m}$
$x_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{2i}$	...	$a_{2m}$
$x_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	$a_{i3}$	$a_{ii}$	...	$a_{im}$
...	...	...	...	...	...	...
$x_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	$a_{n3}$	$a_{ni}$	...	$a_{nm}$

Вектор  $y = (y_1, \dots, y_m)$  – це усе можливі результати. Числа  $a_{ii}$  виражають оцінку ситуації, коли зроблений вибір альтернативи  $x_i$  та реалізувався результат  $y_i$ . У різних випадках числа  $a_{ii}$  можуть мати різний сенс ("виграш", "втрати", «платіж»).

Можливі два варіанти:

1) усі рядки  $a_i = (a_{i1}, \dots, a_{im})$  (тобто ми бачимо, це теж вектор) однакові і проблеми вибору між альтернативами немає;

2) рядки різні, отже, виникає проблем вибору альтернативи.

У разі безперервної безлічі  $X$  і  $Y$  ситуація описується аналогічно за допомогою функцій  $a(x, y)$ , що задаються на цих множинах,  $a(x, y)$ ,  $x \in X$ ,  $y \in Y$ .

Ми дещо визначилися з ситуацією, проте усього цього доки недостатньо для формальної постановки завдання вибору. Реальні завдання можуть бути самими різними і вимагають, відповідно, самих різних методів рішення.

Теорія ігор відноситься до розділу прикладної математики такою, що досліджує математичні моделі ухвалення рішень в умовах конфлікту, протиріч і невизначеності. Завданням теорії ігор є знаходження оптимальної стратегії поведінки в умовах конфлікту, невизначеності або протидії будь якої сторони в цій ситуації незалежно від того свідомо або ні це відбувається. Ігрові математичні моделі дозволяють не лише знайти оптимальну стратегію, яка не завжди однозначна, але і оцінити кожен варіант рішення з різних іноді суперечливих точок зору, а так само глибше розібратися в усіх складнощах і невизначеність реальної ситуації для прийняття до кінця продуманого рішення.

Початком теорії ігор як послідовній математичній теорії поведінки можна рахувати вихід у світ 50 років тому монографії Джоуля. фон Неймана і О. Моргенштерна. Французький математик Е. Мулен так характеризує значення теорії ігор для соціально-економічних наук : «На нашу думку, теорія ігор є набором інструментів для побудови моделей в економічних і політичних теоріях. Єдиним, але цілком достатнім виправданням існування теорії ігор, служить її зростаюче застосування в цих дисциплінах. Вона є воістину невичерпним джерелом гнучких концепцій, кожна з яких проливає світло на певні сторони соціальних взаємовідносин».

Спочатку введемо декілька фундаментальних поняття теорії ігор, після цього дамо визначення цьому розділу прикладної математики.

Конфлікт – це протиріччя, викликане протилежними інтересами сторін.

Конфліктна ситуація – ситуація в якій беруть участь сторони інтереси яких повністю або частково протилежні.

Гра – це дійсний або формальний конфлікт, в якому є принаймні два учасники, кожен з яких прагне до досягнення власних цілей. Правилами гри називають допустимі дії кожного з гравців, спрямовані на досягнення деякої мети.

Платежем називається кількісна оцінка результатів гри.

Парна гра – гра в якій беруть участь тільки дві сторони (два гравці).

Гра з нульовою сумою – парна гра при якій сума платежу дорівнює нулю, тобто, якщо програш одного гравця, дорівнює виграшу іншого.

Стратегія гравця – це однозначний вибір гравця в кожній з можливих ситуацій, коли цей гравець повинен зробити особистий хід.

Оптимальна стратегія – це така стратегія гравця, яка при багатократному повторенні гри забезпечує йому максимально можливий середній виграш або мінімально можливий середній програш.

Нехай ми маємо парну гру з нульовою сумою, один гравець може обрати при цьому ході  $i$ -у стратегію з  $m$  своїх можливих ( $i=1, \dots, m$ ), а другий, не знаючи вибору першого,  $j$ -у стратегію з  $n$  своїх можливих стратегій ( $j=1, \dots, n$ ). В результаті перший гравець виграє величину, а другий програє цю величину. З цих величин складемо матрицю  $A$ .

$$A = (a_{ij}) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}.$$

Платіжна матриця – так назвемо матрицю  $A$  або ще по іншому матрицею гри.

Кінцевою грою розмірності  $(m \times n)$  називається гра визначена матрицею  $A$  що має  $m$  рядків і  $n$  стовпців.

Максиміном або нижньою ціною гри назвемо число:

$$\alpha = \max_i (\min_j a_{ij}),$$

а стратегія (рядок) максимінной, що відповідає йому.

Мінімаксом або верхньою ціною гри назвемо число:

$$\beta = \min_j (\max_i a_{ij}),$$

а стратегія (стовпець), що відповідає йому, мінімаксною.

**Теорема 1.1.** Нижня ціна гри завжди не перевершує верхню ціну гри.

Грою з сідловою точкою називається гра для якої  $\alpha = \beta$ .

Ціною гри називається величина  $V$ , якщо  $V = \alpha = \beta$ .

У разі гри з сідловою точкою, гравцям вигідно притримуватися максимінної і мінімаксної стратегій і не вигідно відхилятися від них. У таких випадках про гру говорять, що в ній має місце рівновага в чистих стратегіях.

Можлива гра і з декількома сідловими точками. Тоді гра має декілька оптимальних рішень, але з однаковою ціною гри.

Частіше зустрічаються матричні ігри без сідлової точки, коли  $\alpha < \beta$  і тоді для знаходження її рішення використовуються змішані стратегії.

Змішаною стратегією гравця називається вектор, кожна з компонент якого показує відносну частоту використання гравцем відповідної чистої стратегії.

**Теорема 1.2.** Основна теорема теорії матричних ігор. Всяка матрична гра з нульовою сумою має рішення в змішаних стратегіях.

**Теорема 1.3.** Якщо один з гравців застосовує оптимальну змішану стратегію, то його виграш дорівнює ціні гри  $v$  в не залежності від того, з якими частотами застосовуватиме другий гравець свої стратегії (у тому числі і чисті стратегії).

Невизначеність в ситуації ухвалення рішення далеко не завжди пов'язана зі свідомою протидією партнера. Часто буває, що ми не диспонуємо точною інформацією про поведінку партнера і це викликає невизначеність в грі з ним. У таких випадках ця матрична гра називатиметься грою з природою.

У цих умовах гравцеві (обличчю що приймає рішення) здавалося б легше знайти рішення, але навіть в умовах відсутності активної протидії, його вибір має бути обґрунтований.

У матричній грі з «природою» ставиться завдання пошуку оптимальної стратегії в умовах ризику. Введемо чітке математичне визначення ризику в матричній грі з «природою».

Ризиком  $r_{ij}$  гравця при виборі стратегії  $A_i$  в умовах  $H_j$  називається різниця :

$$r_{ij} = b_j - a_i ,$$

де  $b_j$  – максимальний елемент в  $j$ -м стовпці.

Іншими словами ризик при виборі стратегії  $A_i$  це програш в порівнянні з тим випадком, коли гравець знав би умову при якому він може отримати виграш  $b_j$ .

## 2. Критерій Вальда (максимінний).

Критерій Вальда співпадає з край обережною максимінною стратегією  $\alpha = \max_i (\min_j a_{ij})$ .

## 3. Критерій мінімального ризику Севіджа.

Критерій рекомендує вибирати стратегію, при якій величина ризику набуває найменшого значення в самій несприятливій ситуації:

$$S = \min_i (\max_j r_{ij}).$$

Гравець, що застосовує критерій Севіджа, також дотримується позиції песимізму, що орієнтується на мінімально можливий ризик.

#### 4. Критерій Гурвіца.

Критерій Гурвіца відповідає усім проміжним стратегіям між песимізмом і крайнім оптимізмом. Виграш розраховується за формулою:

$$T = \max_i [\lambda \min_j a_{ij} + (1 - \lambda) \max_j a_{ij}], \quad 0 \leq \lambda \leq 1,$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт песимізму ; чим більше гравець хоче підстрахуватися тим більше значення  $\lambda$  він вибирає. При  $\lambda = 1$  критерій Гурвіца відповідає критерію крайнього песимізму, критерію Вальда.

Системний аналіз джерел і чинників техногенної і екологічної небезпеки може бути проведений на основі методологічних принципів, запозичених з теорії підготовки і обґрунтування рішень по складних проблемах.

При цьому сукупність джерел небезпеки, що знаходяться в регіоні або на окремих його територіях, наслідуючи системний підхід, треба розглядати як складну систему.

У свою чергу кожне з джерел може також розглядатися в якості системи, але системи, що знаходиться на нижчому ієрархічному рівні.

Системний аналіз сукупності джерел техногенної небезпеки доцільно проводити з урахуванням певної безлічі чинників, у тому числі чинників радіаційної, хімічної природи, економічних, психологічних та ін.

В якості альтернативного варіанту може розглядатися кожне з джерел техногенної небезпеки. Застосовуючи математичні методи вибору і обґрунтування рішень в умовах невизначеності, що неминуче виникає при багатофакторному аналізі, представляється можливим провести ранжування небезпечних об'єктів за наперед заданими ознаками і властивостями. При цьому ранжуванні передбачається послідовне повторення процедур вибору об'єктів у міру їх висновку з прийнятої для аналізу сукупності і перекладу в такий ряд.

Системний аналіз окремого джерела техногенної небезпеки також повинен ґрунтуватися на застосуванні процедур вибору і бути багатофакторним.

В якості альтернативних варіантів в цьому випадку можна прийняти різні стани небезпечного об'єкту і довілля, що характеризуються значеннями певного параметра або співвідношеннями параметрів. В якості такого параметра доцільно розглядати рівень безпеки, виражений, наприклад, через величину ризику. Прикладом співвідношення параметрів є



співвідношення «користь – витрати». Під користю тут мається на увазі міра досягнення безпеки (відвернений збиток), під витратами – витрати на вжиття заходів безпеки.

До складу чинників, що беруться до уваги при здійсненні ухвалення рішення в умовах невизначеності) найбільш прийнятнього стану об'єкту і довкілля, слід включити економічні витрати на досягнення того або іншого рівня безпеки (якщо цей чинник не враховується в згадуваному вище параметрі), психологічна страхітлива дія на населення, дію на соціальне середовище і економіку. Результатом системного аналізу окремого джерела техногенної небезпеки може бути оптимальний, з урахуванням усіх чинників, що приймаються, варіант. Можуть бути і доцільні варіанти стани об'єкту і довкілля, обґрунтовані за умови введення тих або інших обмежень, наприклад, на економічні витрати, пов'язані із забезпеченням безпеки.

Кінець кінцем, при системному аналізі джерела техногенної небезпеки може бути отриманий цілий ряд варіантів, що відрізняються введеними обмеженнями, які далі можуть включатися для експертної оцінки. Таким чином, результатом системного аналізу окремого джерела може також бути ранжирування станів об'єкту і довкілля по рівню техногенної небезпеки або іншій ознаці при заданих обмеженнях.

Методологія системного аналізу сукупності техногенно-небезпечних об'єктів і окремого об'єкту має багато спільного. Тому подальший її розгляд буде проведений в єдиному ключі.

Як відомо, процес ухвалення рішення є дією над безліччю альтернатив, в результаті якого знаходиться одна альтернатива або підмножина альтернатив (коли неможливо зупинити вибір на одній альтернативі), що задовольняє (що задовольняє) певним умовам або меті.

Існує декілька способів порівняння альтернатив між собою і визначення найбільш прийнятних з них. Найбільш розвиненим і частіше за інших вживаним є спосіб, ґрунтований на критерійній мові вибору. При цьому способі кожна окрема альтернатива оцінюється конкретним числом, що є значенням критерію.

Вибір оптимального варіанту відповідно до приведеного минулому не являється, взагалі кажучи, однозначним, оскільки максимальний результат може досягатися у безлічі усіх результатів багаторазово.

Завдання, що вирішуються методом системного аналізу джерел техногенної небезпеки, є багатокритерійними. Тому завдання вибору придбаває практичний сенс лише у тому випадку, коли використовується метод вибору рішення, при якому багатокритерійне завдання зводиться до однокритерійного. Багатокритерійні завдання, пов'язані з ранжируванням техногенно і екологічно небезпечних об'єктів і станів одного з них, можуть вирішуватися за допомогою двомірної матриці.

Безліч чинників, що беруться до уваги при ранжируванні джерел техногенної небезпеки, на наш погляд, повинні включати принаймні:

– чинники дії на людей, їх здоров'я і життєдіяльність;

- чинники дії джерел небезпеки на екосистеми і інші об'єкти біосфери;
- соціально-економічні чинники, що проявляються в дії джерел небезпеки на соціальне середовище і економіку;
- чинники психологічної страхітливої дії на населення, обумовленої наявністю джерел небезпеки в тому або іншому районі;
- економічні витрати на встановлення і підтримку ризику на прийнятному соціально усвідомленому рівні.

При системному аналізі окремого джерела техногенної небезпеки і виборі стану об'єкту і довкілля можуть бути прийняті ті ж самі чинники. Проте їх перелік, залежно від цілей аналізу, може і має бути змінений.

Склад безлічі джерел техногенної небезпеки або стану об'єкту і довкілля особливих коментарів не вимагає.

Аналіз способів і процедур, використовуваних для виходу із стану невизначеності при рішенні багатокритерійних завдань, дає можливість вибрати ті з них, якими можна було б скористатися при системному аналізі джерел техногенної небезпеки. До числа цих способів можна віднести:

- спосіб вибору з використанням оцінної (цільовий) функції;
- спосіб вибору з використанням функції переваги (функції корисності) при зведенні багатокритерійного завдання до однокритерійної, ґрунтованої на згортанні безлічі критеріїв в один;
- спосіб вибору з використанням функції переваги і виділенням пріоритетного критерію;
- спосіб вибору альтернативи з використанням множини Парето.

### Список рекомендованої літератури

1. Перегудов Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасов. – М. : Высшая школа, 1989. – 360 с.
2. Введение в системный анализ / В. А. Губанов и др. – Л., 1988. – 238 с.
3. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды. – М. : Мир, 1979. – 215 с.
4. Чепурных Н. В. Экономика и экология. Развитие, катастрофы / Н. В. Чепурных, А. Л. Новоселов. – М. : Наука, 1996. – 270 с.
5. Браун Д. Б. Системы обеспечения техники безопасности. – М., 1979. – 298 с.
6. Анфилатов В. С. Системный анализ в управлении : Учеб. пособие для студ. вузов / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 368 с.
7. Фишберн П.С. Теория полезности для принятия решений / Под ред. Н. Н. Воробьева. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

*Навчальне видання*

**ГРЯЗНОВА** Світлана Аркадіївна

**СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ В  
ОХОРОНІ ПРАЦІ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «магістр»  
за спеціальністю 263 – Цивільна безпека освітня програма «Охорона праці»)*

*Відповідальний за випуск В. Е. Абракітов  
Редактор Ю. Ц. Ільницька  
Комп'ютерне верстання С. А. Грязнова*

План 2017, поз. 127 Л

---

Підп. до друку 12.04.2018. Формат 60×84/16  
Друк на різнографі. Ум. друк. арк. 1,6.  
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК 5328 від 11.04.2017