

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ**  
**Харківський національний університет внутрішніх справ**

**Факультет № 4**

**Кафедра інформаційних технологій**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЙ**

**з дисципліни «Основи загальної теорії систем»  
за темою « Основні поняття системного аналізу»**

**Галузь знань: 12 "Інформаційні технології "**

**Спеціальність: 125 "Кібербезпека"**

**Ступінь вищої освіти - магістр**

**м. Харків  
2017 р.**

**СХВАЛЕНО**

Науково-методичною радою ХНУВС

\_\_\_\_\_  
(дата, місяць, рік ) Протокол № \_\_\_\_\_**ЗАТВЕРДЖЕНО**Вченою радою факультету № 4  
ХНУВС\_\_\_\_\_  
(дата, місяць, рік ) Протокол № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  
(підпис) (П.І.Б.)**ПОГОДЖЕНО**Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін\_\_\_\_\_  
(дата, місяць, рік ) Протокол № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  
(підпис) (П.І.Б.)**ЗАТВЕРДЖЕНО**На засіданні кафедри інформаційних  
технологій\_\_\_\_\_  
(дата, місяць, рік ) Протокол № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  
(підпис) (П.І.Б.)**Рецензент:****Чухрай А.Г.**, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри  
інформатики Національного аерокосмічного університету  
«Харківський авіаційний інститут»Розробники: Яковлев С.В. – Харків: Харківський національний університет  
внутрішніх справ, 2017© Яковлев С.В., 2017  
© Харківський національний  
університет внутрішніх справ

## **План лекції**

1. Місце, роль та задачі дисципліни.
2. Історія, предмет, цілі системного аналізу.
3. Описи, базові структури.
4. Етапи аналізу систем .

## **Література:**

### **Основна:**

1. Згуровський М.З. Основи системного аналізу: підручник для ВНЗ / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: Вид. група ВНУ, 2007. – 544 с.
2. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ. – М.: Юрайт, 2010. – 680 с.
3. Лямец В. И., Тевяшев А. Д. Системный анализ. Харьков, ХТУРЭ, 1998, 252 с.
4. Яковлев С.В. Теория систем и системный анализ (лабораторный практикум) / С.В. Яковлев. – М.: Гор. линия телеком, 2015. – 320 с.
5. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ. – К.: МАУП, 2003. – 368 с.

### **Додаткова:**

1. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ. – К.: МАУП, 2003. – 368 с.

## **Текст лекції**

Системний аналіз — це наукова методологія, об'єктом аналізу якої є проблема, незалежно від сфери діяльності, де вона виникла, а метою системного аналізу є проект вирішення проблеми. Системний аналіз є напрямом, в якому поєднано методологію і досягнення математичних і прикладних наук.

Системний аналіз у технічній галузі орієнтований на вирішення складних проблем аналізу та створення комп'ютерних, комунікаційних, інформаційних та інших технічних систем, і ґрунтується на принципах інженерних наук, імітаційному та інформаційному моделюванні об'єктів і процесів та націлений на застосування в конкретних проектах, розробленнях, прикладних дослідженнях і дослідницько-конструкторських роботах. Робочий інструментарій системного аналітика — методи моделювання, системного аналізу, дослідження операцій, а також техніка прогнозів та ризиків, теорія прийняття рішень, досвід та інтуїція.

## 1. Історія, предмет, цілі системного аналізу

*Розглядаються історія розвитку і предмет системного аналізу, системні ресурси суспільства, предметна область системного аналізу, системні процедури і методи, системне мислення.*

*Мета лекції: введення в коротку історію, предмет і значення системного аналізу як методології, наукової області, технологічної дисципліни і принципу мислення.*

Можна говорити про настання етапу наукового, системно-міждисциплінарного підходу до проблем науки, освіти, техніки і технології, етапу, що концентрує увагу не тільки на матеріально-енергетичних, але і на системно-міждисциплінарних аспектах, побудові і дослідженні системно-інформаційної картини миру, про настання етапу системних парадигм.

Системний аналіз, чий основи є достатньо стародавніми, - все ж таки порівняно молода наука (можна порівняти за віком, наприклад, з кібернетикою). Хоча вона і активно розвивається, її визначальні поняття і терміни недостатньо формалізовані (якщо це взагалі можливо здійснити). Системний аналіз застосовується в будь-якій предметній області, включаючи як окремі, так і загальні методи і процедури дослідження.

Ця наука, як і будь-яка інша, ставить за мету дослідження нових зв'язків і відносин об'єктів і явищ. Проте, основною її проблематикою є дослідження зв'язків і відносин так, щоб об'єкти, що вивчаються, стали б більш керованими, більш дослідженими, а "розкритий" в результаті їх вивчення механізм взаємодії цих об'єктів - більш застосовним до інших об'єктів і явищ. Завдання і принципи системного підходу не залежать від природи об'єктів і явищ.

При викладі основ аналізу, синтезу і моделювання систем можливі два основні підходи: формальний і понятійно-змістовний. Формальний підхід використовує математичний апарат різного рівня строгості і спільності (від простих співвідношень до операторів, функторів, категорій, алгебр). Понятійно-змістовний підхід - концентрується на основних поняттях, ідеях, підході, концепціях, можливостях, на основних методологічних принципах, використовує "напівформальне" введення в суть даних ідей і понять. Багато ідей і принципів системного аналізу, хоча і точніші, строгіші на формальній мові викладу, проте, зберігають свою силу, актуальність, можливість ефективного використання і на змістовній мові. Необхідно відзначити, що часто один вдалий зрозумілий приклад має більше значення для розуміння цих принципів, чим строгі математичні визначення. Крім того, чинник невизначеності в системному аналізі обмежує застосовність строгих математичних формулювань і виводів. Ми нижче будемо дотримуватися, в основному, змістовно-понятійного підходу, застосовуючи там, де це буде визнано необхідним, формальні визначення і положення, хоча чітко усвідомлюємо, що для викладу основ науки, що претендує на роль

методологічної, необхідний високий ступінь формалізації, аж до створення аксіом.

Не дивлячись на змістовні формулювання і алгоритмічні процедури деяких основних положень, що приводяться, і фактів, вони мають в основі достатньо формальний фундамент.

Слово "система" (організм, союз, ціле, складене з частин) виникло в Стародавній Греції близько 2000 років тому. Стародавні учені (Арістотель, Демокріт, Платон та інші) розглядали складні тіла, процеси і міфи всесвіту як складені з різних систем (наприклад, атомів, метафор). Розвиток астрономії (Коперник, Галілей, Ньютон та інші) дозволив перейти до геліоцентричної системи миру, до категорій типу "річ і властивості", "ціле і частина", "субстанція і атрибути", "схожість і відмінність" і ін. Далі розвиток системного аналізу відбувається під впливом різних філософських переконань, теорій про структуру пізнання і можливості прогнозу (Бекон, Гегель, Ламберт, Кант, Фіхте та інші). В результаті такого розвитку системний аналіз виходить на позиції методологічної науки. Природодослідники XIX-XX століть (Богданов, Берталанфі, Вінер, Ешбі, Цвікки та інші) не тільки актуалізували роль модельного мислення і моделей в природознавстві, але і сформували основні системоутворюючі принципи, принципи системності наукового знання, "з'єднали" теорію відкритих систем, філософські принципи і досягнення природознавства. Подальший розвиток теорія систем та системний аналіз отримали під впливом досягнень як класичних областей науки (математика, фізика, хімія, біологія, історія і ін.), так і неklasичних областей (синергетика, інформатика, когнітологія, теорії нелінійної динаміки і динамічного хаосу, катастроф, нейронматематики, нейроінформатики і ін.). Необхідно особливо підкреслити вплив техніки (з якнайдавніших часів) і технології (сучасності) на розвиток системного аналізу, зокрема, на її прикладну гілку - системотехніку, на методологію проектування складних технічних систем. Цей вплив є взаємним: розвиток техніки і технології збагачує системний аналіз новими методами, моделями, середовищами.

Епоха зародження основ системного аналізу найчастіше характеризувалася розглядом систем фізичного або філософського (гносеологічного) походження. При цьому постулат (Арістотеля): "Важливість цілого вище важливості його складових" змінився пізнішим на новий постулат (Галілея): "Ціле пояснюється властивостями його складових".

Найбільший внесок в зародження і розвиток системного аналізу, системного мислення внесли такі учені, як Р. Декарт, Ф. Бекон, І. Кант, І. Ньютон, Ф. Енгельс, А.І. Берг, А.А. Богданов, Н. Вінер, Л. Берталанфі, Ч. Дарвін, І. Прігожін, Э. Ешбі, А.А. Ляпунов, Н.Н. Моїсєєв та інші. Ідеї системного аналізу розвивали також А. Аверьянов, Р. Акофф, В. Афанасьєв, Р. Абдєєв, І. Блауберг, Н. Белов, Л. Бріллюєн, Н. Буслєнко, В. Волкова, Д. Гвішиані, В. Геодакян, До. Гейн, Дж. ван Гиг, А. Денісов, Е. Дубровський, В. Завадський, Ю. Клімонтовіч, Д. Колісників, Э. Квейд, В. Кузьмін, О. Ланге, Е. Луценко, В. Лекторський, В. Лефєвр, Ю. Лібіх, А. Маліновський, М.

Месаровіч, В. Могилевський, До. Негойце, Н. Овчинников, С. Оптнер, Дж. Патерсон, Ф. Перегудов, Д. Поспелов, А. Рапопорт, Л. Растрігін, С. Родін, Л. Розенблют, В. Садовський, В. Сегал, В. Симанков, Б. Советов, В. Солодовников, Ф. Тарасенко, К. Тімірязев, А. Уємов, Ю. Черняк, Р. Хакен, Дж. Холдейн, Р. Шустер, А. Шилейко, Р. Щедровицький, Э. Юдін, С. Яковлев, С. Янг і багато інших.

Предметна область - розділ науки, що вивчає предметні аспекти системних процесів і системні аспекти предметних процесів і явищ. Це визначення можна вважати системним визначенням предметної області.

Системний аналіз - сукупність понять, методів, процедур і технологій для вивчення, опису, реалізації явищ і процесів різної природи і характеру, міждисциплінарних проблем; це сукупність загальних законів, методів, прийомів дослідження таких систем.

Системний аналіз - методологія дослідження складних, часто не цілком визначених проблем теорії і практики.

Строго кажучи, розрізняють три галузі науки, що вивчає системи:

1. системологію (теорію систем) яка вивчає теоретичні аспекти і використовує теоретичні методи (теорія інформації, теорія вірогідності, теорія ігор і ін.);
2. системний аналіз (методологію, теорію і практику дослідження систем), що досліджує методологічні, а часто і практичні аспекти і використовує практичні методи (математична статистика, дослідження операцій, програмування і ін.);
3. системотехніку (практику і технологію проектування і дослідження систем).

Таке ділення достатньо умовне.

Спільним у всіх цих гілок є системний підхід, системний принцип дослідження - розгляд сукупності, що вивчається, не як простої суми складових (лінійно взаємодіючих об'єктів), а як сукупності нелінійних і багаторівневих взаємодіючих об'єктів.

Будь-яку предметну область також можна визначити як системну.

Наприклад, *інформатика* - наука, що вивчає інформаційно-логічні і алгоритмічні аспекти системних процесів, системні аспекти інформаційних процесів. Це визначення можна вважати системним визначенням інформатики.

Системний аналіз тісно пов'язаний з синергетикою. Синергетика - міждисциплінарна наука, що досліджує загальні ідеї, методи і закономірності організації (зміни структури, її просторово-часового ускладнення) різних об'єктів і процесів, інваріанти (незмінна суть) цих процесів. "Синергетичний" в перекладі означає "сумісний, такий, що злагоджено діє". Це теорія виникнення нових якісних властивостей, структур на макроскопічному рівні.

Системний аналіз тісно пов'язаний і з філософією. Філософія дає загальні методи змістовного аналізу, а системний аналіз - загальні методи формального, міжпредметного аналізу предметних областей, виявлення і

опису, вивчення їх системних інваріантів. Можна дати і філософське визначення системного аналізу: системний аналіз - це прикладна діалектика.

Системний аналіз дає можливість використовувати в різних науках та системах наступні системні методи і процедури:

- абстрагування і конкретизація;
- аналіз і синтез, індукція і дедукція;
- формалізація і конкретизація;
- композиція і декомпозиція;
- лінеаризація і виділення нелінійних складових;
- структуризація і реструктурування;
- макетування;
- реінжиніринг;
- алгоритмізація;
- моделювання і експеримент;
- програмне управління і регулювання;
- розпізнавання і ідентифікація;
- кластеризація і класифікація;
- експертне оцінювання і тестування;
- верифікація та інші методи і процедури.

Є такі основні типи ресурсів в природі і в суспільстві.

Речовина - найбільш добре вивчений ресурс, який в основному представлений таблицею Д.І. Менделєєва достатньо вичерпно і поповнюється не так часто. Речовина виступає як віддзеркалення постійності матерії в природі, як міра однорідності матерії.

Енергія - не повністю вивчений тип ресурсів, наприклад, ми не володіємо керованою термоядерною реакцією. Енергія виступає як віддзеркалення мінливості матерії, переходів з одного виду в інший, як міра необоротності матерії.

Інформація - мало вивчений тип ресурсів. Інформація виступає як віддзеркалення порядку, структурованості матерії, як міра порядку, самоорганізації матерії (і соціуму). Зараз цим поняттям ми позначаємо деякі повідомлення; нижче це поняття ми обговоримо більш детально.

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

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

Простір - міра протяжності матерії (події), розподіли її (його) в навколишньому середовищі.

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

Можна говорити про різні поля, в які "поміщена" людина, - матеріальне, енергетичне, інформаційне, соціальне, про їх просторові, ресурсні (матерія, енергія, інформація) і часові характеристики.

*Приклад.* Розглянемо просте завдання - піти вранці на заняття в університет. Це часто вирішуване студентом завдання має всі вище перелічені аспекти:

1. матеріальний, фізичний аспект - студентові необхідно перемістити деяку масу, наприклад, підручників і зошитів на потрібну відстань;
2. енергетичний аспект - студентові необхідно мати і витратити конкретну кількість енергії на переміщення;
3. інформаційний аспект - необхідна інформація про маршрут руху і місце розташування університету і її потрібно обробляти на шляху свого руху;
4. людський аспект - переміщення, зокрема, пересування на автобусі неможливе без людини, наприклад, без водія автобуса;
5. організаційний аспект - необхідні відповідні транспортні мережі і маршрути, зупинки і т. д.;
6. просторовий аспект - переміщення на певну відстань;
7. часовий аспект - на це переміщення буде витрачено час (за який відбудуться відповідні необоротні зміни в середовищі, у відносинах, в зв'язках).

Всі типи ресурсів тісно пов'язані і сплетені. Більш того, вони неможливі один без одного, актуалізація одного з них веде до актуалізації іншого.

*Приклад.* При спалюванні дров в печі виділяється теплова енергія, теплова енергія використовується для приготування їжі, їжа використовується для отримання біологічної енергії організму, біологічна енергія використовується для отримання інформації (наприклад, розв'язання деякої задачі), переміщення в часі і в просторі. Людина і під час сну витрачає свою біологічну енергію на підтримку інформаційних процесів в організмі; більш того, сон - продукт таких процесів.

Соціальна організація і активність людей удосконалює інформаційні ресурси, процеси в суспільстві, останні, у свою чергу, удосконалюють виробничі відносини.

Якщо класичне природознавство пояснює всесвіт виходячи з руху, взаємоперетворень речовини і енергії, то зараз реальний мир, об'єктивна реальність можуть бути пояснені лише з урахуванням супутніх системних, і особливо системно-інформаційних і синергетичних процесів.

Особливий тип мислення - системний, властивий аналітикові, який хоче не тільки зрозуміти суть процесу, явища, але і управляти їм. Іноді його ототожнюють з аналітичним мисленням, але це ототожнення не повне.

Аналітичним може бути склад розуму, а системний підхід є методологія, що заснована на теорії систем.

Предметне (предметно-орієнтоване) мислення - це метод (принцип), за допомогою якого можна цілеспрямовано (як правило, з метою вивчення) виявити і актуалізувати, пізнати причинно-наслідкові зв'язки і закономірності у ряді окремих чи загальних подій і явищ. Часто це методика і технологія дослідження систем.

Системне (системно-орієнтоване) мислення - це метод (принцип), за допомогою якого можна цілеспрямовано (як правило, з метою управління) виявити і актуалізувати, пізнати причинно-наслідкові зв'язки і закономірності у ряді загальних подій і явищ. Часто це методологія дослідження систем.

При системному мисленні сукупність подій, явищ (які можуть складатися з різних елементів) актуалізується, досліджується як ціле, як одна організована за загальними правилами подія, явище, поведінку якого можна передбачити, прогнозувати (як правило) без з'ясування не тільки поведінки складових елементів, але і якості і кількості їх самих. Поки не буде зрозуміло, як функціонує або розвивається система як ціле, ніякі знання про її частини не дадуть повної картини цього розвитку.

*Приклад.* Відповідно до принципу системного мислення суспільство складається з людей (і, зрозуміло, з суспільних інститутів). Кожна людина - також система (фізіологічна, наприклад). У людини, у свою чергу, існують властиві йому як організму системи, наприклад, система кровообігу. Коли люди взаємодіють з іншими людьми, утворюються нові системи - сім'я, етнос і ін. Ця взаємодія може відбуватися на рівні суспільних інститутів, окремих людей (наприклад, соціальні взаємодії) і навіть окремих систем кровообігу (наприклад, при прямому переливанні крові).

Відповідно до принципу системного підходу, кожна система впливає на іншу систему. Весь навколишній світ - взаємодіючі системи. Мета системного аналізу - з'ясувати ці взаємодії, їх потенціал і "направити їх на службу людини".

Предметний аналітик (предметно-орієнтований або просто аналітик) - людина, професіонал, що вивчає, описує деяку предметну область, проблему відповідно до принципів і методів, технологій цієї області. Це не означає "вузький" розгляд цієї проблеми, хоча подібне часто зустрічається.

Системний (системно-орієнтований) аналітик - людина, професіонал високого рівня, що вивчає, описує системи відповідно до принципів системного підходу, аналізу, тобто що вивчає проблему комплексно. Йому властивий особливий склад розуму, що базується на мультизнаннях, достатньо великому кругозорі і досвіді, високому рівні інтуїції передбачення, умінні ухвалювати доцільні ресурсозабезпечені рішення. Його основне завдання - допомогти предметному аналітикові ухвалити правильне (що узгоджується з іншими системами і не "погіршує" їх) рішення при вирішенні предметних проблем, виявлення і вивчення критеріїв ефективності їх розв'язання.

Необхідними атрибутами системного аналізу як наукового знання є:

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

Системний аналіз базується на низці загальних принципів, серед яких:  
принцип дедуктивної послідовності - послідовного розгляду системи по етапах: від оточення і зв'язків з цілим до зв'язків частин цілого (див. етапи системного аналізу докладніше нижче);  
принцип інтегрованого розгляду - кожна система повинна бути нероз'ємна як ціле навіть при розгляді лише окремих підсистем системи;  
принцип узгодженості ресурсів і цілей розгляду, актуалізації системи;  
принцип безконфліктності - відсутність конфліктів між частинами цілого, а також цілей цілого і частин, що може привести до конфлікту.

Системним в світі є все: практика і практичні дії, знання і процес пізнання, навколишнє середовище і зв'язки з ним (у нім). Системний аналіз як методологія наукового пізнання структурує все це, дозволяючи досліджувати і виявляти інваріанти (особливо приховані) об'єктів, явищ і процесів різної природи, розглядаючи їх загальне і різне, складне і просте, ціле і частини.

Будь-яка людська інтелектуальна діяльність зобов'язана бути за своєю суттю системною діяльністю, що передбачає використання сукупності взаємозв'язаних системних процедур на шляху від постановки завдання, цілей, планування ресурсів до знаходження і використання рішень.

*Приклад.* Будь-яке економічне рішення повинне базуватися на фундаментальних принципах системного аналізу, економіки, інформатики, управління і враховувати поведінку людини в соціально-економічному середовищі, тобто повинно базуватися на раціональних, соціально і економічно обґрунтованих нормах поведінки в цьому середовищі.

Невикористання системного аналізу не дозволяє знанням (що закладаються традиційною освітою) перетворюватися на уміння і навички їх застосування, в навички ведення системної діяльності (побудови і реалізації цілеспрямованих, структурованих, забезпечених ресурсами конструктивних процедур вирішення проблем). Системно мисляча і діюча людина, як правило, прогнозує і зважає на результати своєї діяльності, порівнює свої бажання (цілі) і свої можливості (ресурси) враховує інтереси навколишнього середовища, розвиває інтелект, виробляє вірний світогляд і правильну поведінку в людських колективах.

Навколишній нас світ нескінченний в просторі і в часі. Людина ж існує кінцевий час і має при реалізації мети кінцеві ресурси (матеріальні, енергетичні, інформаційні, людські, організаційні, просторові і часові).

Суперечності між необмеженістю бажання людини пізнати всесвіт і обмеженою (ресурсами, невизначеністю) можливістю зробити це, між безмежністю природи і скінченністю ресурсів людства, мають багато важливих наслідків, зокрема - і для самого процесу пізнання людиною навколишнього світу. Одна з таких особливостей пізнання, яка дозволяє поступово, поетапно вирішувати ці протиріччя - використання аналітичного і синтетичного образу мислення, тобто розділення цілого на частини і уявлення складного у вигляді сукупності простіших компонент, і навпаки, з'єднання простих і побудови, таким чином, складного. Це також відноситься і до індивідуального мислення, і до суспільної свідомості, і до всього знання людей, і до самого процесу пізнання.

*Приклад.* Аналітичність людського знання проявляється і в існуванні різних наук, і в диференціації наук, і в глибшому вивченні все більш вузьких питань, кожен з яких сам по собі і цікавий, і важливий, і необхідний. Разом з тим, такий же необхідний і зворотний процес синтезу знань. Так виникають "прикордонні" науки - біоніка, біохімія, синергетика та інші. Проте це лише одна з форм синтезу. Інша, вища форма синтетичних знань реалізується в науках про найзагальніші властивості природи. Філософія виявляє і описує загальні властивості всіх форм матерії; математика вивчає деякі, але також загальні відносини. До синтетичних наук належать системний аналіз, інформатика, кібернетика і ін., що сполучають формальні, технічні, гуманітарні та інші знання.

Отже, розчленованість мислення на аналіз та синтез і взаємозв'язок цих частин є очевидною ознакою системності пізнання.

Процес пізнання структурує системи та навколишній світ. Все, що не пізнане в даний момент часу, утворює "хаос в системі", який, будучи нез'ясовним в рамках даної теорії, примушує шукати нові структури, нову інформацію, нові форми уявлення і опису знань, приводить до появи нових гілок знання; цей хаос також дає стимул і для розвитку умінь і навиків дослідника.

Системний підхід до дослідження проблем, системний аналіз - наслідок науково-технічної революції, а також необхідності вирішення її проблем за допомогою однакових підходів, методів, технологій. Такі проблеми виникають і в економіці, і в інформатиці, і в біології, і в політиці і в інших предметних областях.

## **2. Описи, базові структури і етапи аналізу систем**

*Розглядаються основні поняття системного аналізу, ознаки системи, типи топології систем, різні форми опису систем, етапи системного аналізу.*

*Мета лекції: введення основного понятійного апарату системного аналізу, теорії систем.*

Дамо спочатку інтуїтивне визначення системи і підсистеми.

**Система** - об'єкт або процес, в якому елементи-учасники пов'язані деякими зв'язками і відносинами.

**Підсистема** - частина системи з деякими зв'язками і відносинами.

Будь-яка система складається з підсистем, підсистема будь-якої системи може бути сама розглянута як система. Межі даної системи визначаються доступними ресурсами і оточенням.

*Приклад.* Наука - система, що забезпечує отримання, перевірку, фіксацію (зберігання), актуалізацію знань суспільства. Наука має підсистеми: математика, інформатика, фізика, економіка і ін. Будь-яке знання існує лише у формі систем (систематизоване знання). Теорія - найбільш розвинена система їх організації, що дозволяє не тільки описувати, але і пояснювати, прогнозувати події, процеси.

Визначимо основні поняття системного аналізу, необхідні далі.

Стан системи - фіксація сукупності доступних системі ресурсів (матеріальних, енергетичних, інформаційних, просторових, часових, людських, організаційних), що визначають її відношення до очікуваного результату або його образу. Це "фотографія" механізму перетворення вхідних даних системи у вихідні дані.

Ціль (мета) - образ неіснуючого, але бажаного, з погляду завдання або даної проблеми, стану середовища, тобто такого стану, який дозволяє вирішувати проблему при даних ресурсах. Це опис, представлення деякого найбільш бажаного (з точки зору поставленої мети і доступних ресурсів) стану системи.

*Приклад.* Основні соціально-економічні цілі суспільства: економічне зростання; повна трудова зайнятість населення; економічна ефективність виробництва; стабільний рівень цін; економічна свобода виробників і споживачів; справедливий розподіл ресурсів і благ; соціально-економічна забезпеченість і захищеність; торговий баланс на ринку; справедлива податкова політика.

Завдання - деяка множина початкових посилок (вхідних даних до завдання), опис цілі, визначеної над множиною цих даних, і, можливо, опис можливих стратегій досягнення цієї цілі або можливих проміжних станів досліджуваного об'єкту.

Розв'язати завдання означає визначити чітко ресурси і шляхи досягнення вказаної цілі при початкових посилках. Розв'язок завдання - опис, представлення стану системи, при якому досягається вказана ціль; розв'язуванням завдання називають і сам процес знаходження цього стану.

Поняття проблеми в системному аналізі - ширше, ніж поняття завдання, і складається зазвичай з низки взаємопов'язаних завдань.

**Проблема** - опис, хоч би змістовний, ситуації, в якій визначені: мета, результати, що досягаються (досяжні, бажані), і, можливо, ресурси і стратегія досягнення мети (рішення). Проблема проявляється поведінкою системи.

Опис (специфікація) системи - це ідентифікація її визначальних елементів і підсистем, їх взаємозв'язків, цілей, функцій і ресурсів, тобто опис допустимих станів системи.

Якщо вхідні посилки, мета, умова завдання, розв'язок або, можливо, навіть само поняття розв'язку погано (частково) описуються, формалізуються, то ці завдання називаються такими, що погано формалізуються. Тому при розв'язанні таких завдань доводиться розглядати цілий комплекс формалізованих завдань, за допомогою яких можна досліджувати це погано формалізоване завдання. Складність їх дослідження полягає в необхідності обліку різних, а часто і суперечливих критеріїв визначення, оцінки розв'язку задачі.

*Приклад.* Погано формалізуються, наприклад, завдання відновлення "розмитих" текстів, зображень, складання навчального розкладу в будь-якому великому ВНЗ, складання "формули вимірювання інтелекту", опису функціонування мозку, соціуму, перекладу текстів з однієї мови на іншу за допомогою ЕОМ і ін.

Визначимо, поки не формалізоване, поняття структури системи.

Структура - все те, що вносить порядок до множини об'єктів, тобто сукупність зв'язків і відносин між частинами цілого, необхідних для досягнення мети.

*Приклад.* Приклади структур: звивина мозку, факультет, державний пристрій, кристалічна решітка речовини, мікросхема. Кристалічна решітка алмазу - структура неживої природи; бджолині соти і смуги зебри - структури живої природи; озеро - структура екологічної природи; партія (суспільна, політична) - структура соціальної природи, і так далі.

Базові топології структур (систем) приведені на Рис. 1-4.

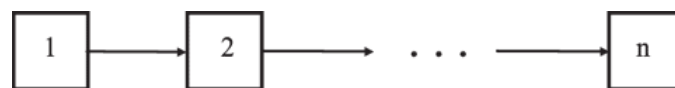


Рис. 1. Структура лінійного типу.

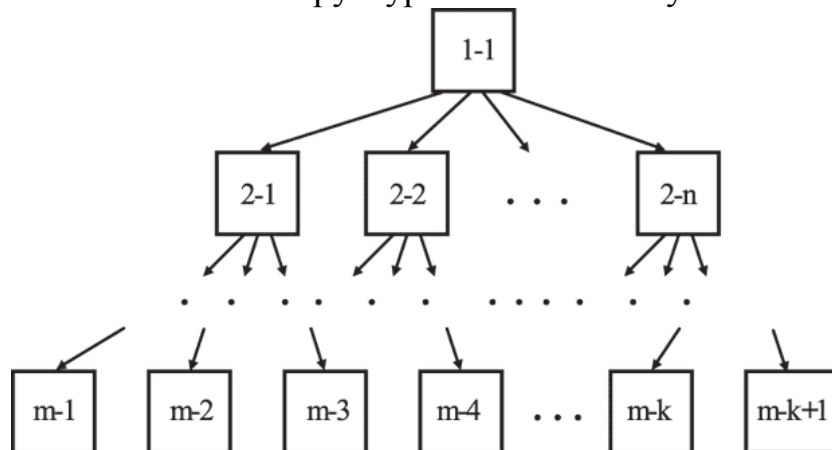


Рис. 2. Структура ієрархічного типу (перша цифра - номер рівня).

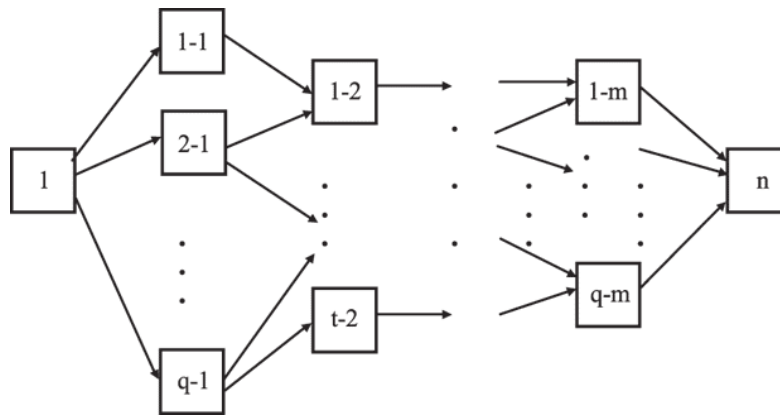


Рис. 3. Структура мережевого типу (друга цифра - номер в шляху).

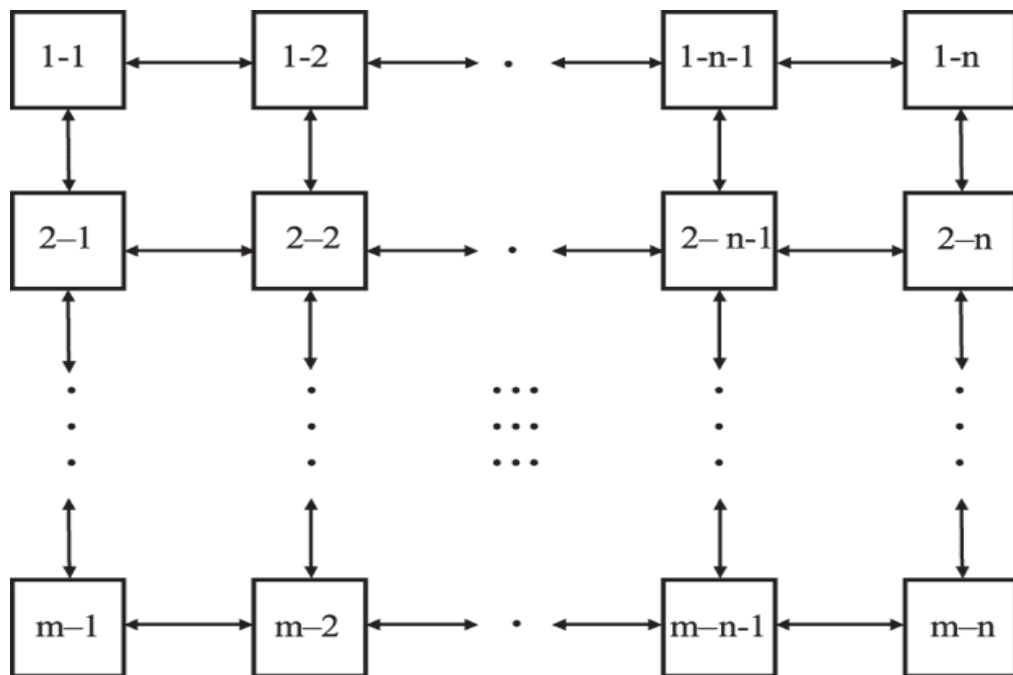


Рис. 4. Структура матричного типу.

*Приклад.* Прикладом лінійної структури є структура станцій метро на одній (не кільце) лінії в одному напрямі. Прикладом ієрархічної структури може служити структура управління вузом: "Ректор - Проректор - Декан - Завідувач кафедри, підрозділом - Викладач кафедри, співробітник підрозділу". Приклад мережевої структури - структура організації робіт при будівництві будинку: деякі роботи, наприклад, монтаж стін, впорядкування території і ін. можна виконувати паралельно. Приклад матричної структури - структура працівників відділу НДІ, що виконують роботи по одній і тій же темі.

Окрім вказаних основних типів структур, використовуються і інші, що утворюються за допомогою їх коректних комбінацій - з'єднань і вкладень.

*Приклад.* Змішану структуру можуть мати системи відкритого акціонерного типу, корпорації на ринку з дистриб'ютерською мережею та інші.

З однакових елементів можна отримувати структури різного типу.

*Приклад.* Макромолекули різних силікатів отримують з одних і тих же елементів (Si, O). Це приклад зв'язків речовини і структури (див. рис. 5).

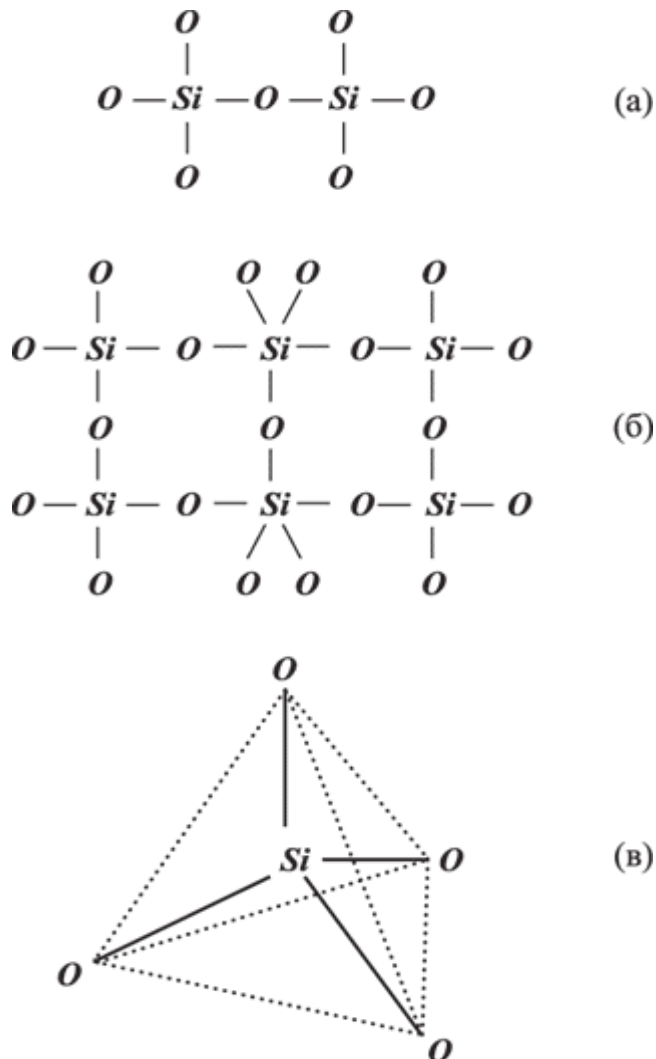


Рис. 5. Структури макромолекул з кремнію і кисню (а, б, в)

*Приклад.* З одних і тих же складових ринку (ресурси, товари, споживачі, продавці) можна утворювати ринкові структури різного типу: БАТ, ТОВ, ЗАТ і ін. При цьому структура об'єднання може визначати властивості та характеристики системи.

У сучасній комп'ютерній архітектурі, комп'ютерних системах і мережах важливо правильно вибрати ефективну структуру і топологію.

*Приклад.* Послідовна структура використовується при організації конвеєрних обчислень на суперкомп'ютерах (конвеєрних обчислювальних структурах). Мережева структура (зокрема, типу "метелик") використовується для організації обчислень спеціалізованих структур, зокрема, для швидкого перетворення Фур'є, яке використовується для обробки супутникової інформації і в багатьох інших галузях. Двовимірні решітки (матриці) часто застосовуються для обробки зображень.

Структура є **зв'язною**, якщо можливий обмін ресурсами між будь-якими двома підсистемами системи (передбачається, що якщо є обмін і-ої підсистеми з j-ою підсистемою, то є і обмін j-ої підсистеми з і-ою).

Якщо структура або елементи системи погано (частково) описувані або визначені, то така множина об'єктів називається погано або слабо структурованою.

Такою є більшість соціально-економічних систем, що мають низку специфічних рис погано структурованих систем, а саме:

- мультиаспектність і взаємопов'язаність процесів (економічних, соціальних і тому подібне), що відбуваються в них, неможливістю їх структуризації, оскільки всі явища, що відбуваються в них, повинні розглядатися в сукупності;
- відсутність достатньої інформації (як правило, кількісної) про динаміку процесів і можливість застосування лише якісного аналізу;
- мінливість і багатоваріантність динаміки процесів і інші.

*Приклад.* Погано структурованими будуть проблеми опису багатьох історичних епох, проблеми мікросвіту, суспільних і економічних явищ, наприклад, динаміки курсу валют на ринку, поведінки натовпу і ін.

Проблеми (системи), що погано формалізуються і погано структуруються, найчастіше виникають на стику різних наук, при дослідженні синергетичних процесів і систем.

"Система" в перекладі з грецького означає "ціле, складене з частин". Це одна з абстракцій системного аналізу, яку можна конкретизувати, виразити в конкретних формах.

Можна тепер дати і наступне, більш повне визначення системи.

Система - це засіб досягнення мети (цілі) або все те, що необхідне для досягнення мети (елементи, відносини, структура, робота, ресурси) на деякій заданій множині об'єктів (операційному середовищі).

**ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА**

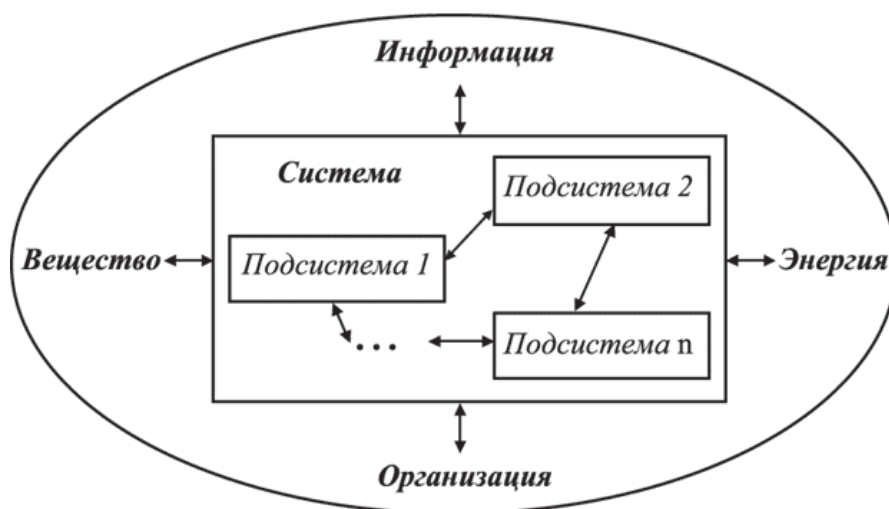


Рис. 6. Структура системи.

Для опису системи важливо знати, які вона має структуру (будову), функції (роботу) і зв'язки (ресурси) з оточенням.

Сукупність елементів і зв'язків між ними дозволяє судити про структуру системи.

Будь-яка система має внутрішні стани, внутрішній механізм перетворення вхідних даних у вихідні (внутрішній опис), а також має зовнішні прояви (зовнішній опис).

Внутрішній опис дає інформацію про поведінку системи, про відповідність (невідповідність) внутрішньої структури системи цілям, підсистемам (елементам) і ресурсам в системі, зовнішній опис - про взаємини з іншими системами, з цілями і ресурсами інших систем (див. рис. 6).

Зовнішній опис системи визначається її внутрішнім описом.

*Приклад.* Банк є системою. Зовнішнє середовище банку - система інвестицій, фінансування, трудових ресурсів, нормативів і таке інше. Вхідні дії - характеристики (параметри) цієї системи. Внутрішні стани системи - характеристики фінансового стану. Вихідні дії - потоки кредитів, послуг, вкладень і так далі. Функції системи - банківські операції, наприклад, кредитування. Функції системи також залежать від характеру взаємодій системи і зовнішнього середовища. Множина виконуваних банком (системою) функцій залежать від зовнішніх і внутрішніх функцій, які можуть бути описані (представлені) деякими числовими та/або нечисловими, наприклад, якісними, характеристиками або характеристиками змішаного, якісно-кількісного характеру.

Морфологічний (структурний або топологічний) опис системи - це опис будови або структури системи або опис сукупності  $A$  елементів цієї системи і необхідного для досягнення мети набору відносин  $R$  між цими елементами системи.

Функціональний опис системи - це опис законів функціонування, еволюції системи, алгоритмів її поведінки, "роботи".

Інформаційний (інформаційно-логічний або інфологічний) опис системи - це опис інформаційних зв'язків як системи з навколишнім середовищем, так і підсистем системи.

Раніше інформаційний опис системи називали кібернетичним.

*Приклад.* Морфологічний опис екосистеми може включати структуру хижаків, що мешкають в ній, і жертв, їх трофічну структуру (структуру харчування), їх властивості, зв'язки. Трофічну структуру типу "хижаки і жертви" утворюють дві непересічні сукупності  $X$  і  $Y$  з властивостями  $S(X)$  і  $S(Y)$ . Візьмемо в якості мову морфологічного опису українську мову з елементами алгебри. Тоді можна запропонувати наступний спрощений модельний морфологічний опис цієї системи:

$$S = \langle A, B, R, V, Q \rangle,$$

Де  $A = \{\text{людина, тигр, шуліка, щука, баран, газель, пшениця, кабан, конюшина, польова миша (полівка), змія, жолудь, карась}\},$

$$X = \{\text{людина, тигр, шуліка, щука, кабан, змія, баран}\},$$

$$Y = \{\text{газель, пшениця, конюшина, полівка, жолудь, карась}\},$$

$S(X) = \{\text{плазун, двоноге, чотирьохноге, таке що плаває, таке що літає}\},$   
 $S(Y) = \{\text{жива істота, зерно, трава, горіх}\},$   
 $B = \{\text{мешканець суші, мешканець води, рослинність}\},$   
 $R = \{\text{хижак, жертва}\}.$

Трофічну структуру ("X поїдає Y") такої екосистеми можна описати наступною таблицею 2.1:

Таблиця 1. Трофічна структура екосистеми.

| $Y \setminus X$ | Людина | Тигр | Шуліка | Щука | Змія | Кабан | Баран |
|-----------------|--------|------|--------|------|------|-------|-------|
| Газель          | 1      | 1    | 0      | 0    | 0    | 0     | 0     |
| Пшениця         | 1      | 0    | 0      | 0    | 0    | 1     | 0     |
| Конюшина        | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    | 0     | 1     |
| Полівка         | 0      | 0    | 1      | 0    | 1    | 0     | 0     |
| Жолудь          | 0      | 0    | 0      | 0    | 0    | 1     | 0     |
| Карась          | 1      | 0    | 0      | 1    | 0    | 0     | 0     |

Інформаційний опис системи за допомогою графе представлений на Рис. 7. Номери вершин графу відповідають відповідно опису: 1 - людина, 2 - тигр, 3 - шуліка, 4 - щука, 5 - змія, 6 - кабан, 7 - баран, 8 - газель, 9 - пшениця, 10 - конюшина, 11 - полівка, 12 - жолудь, 13 - карась.

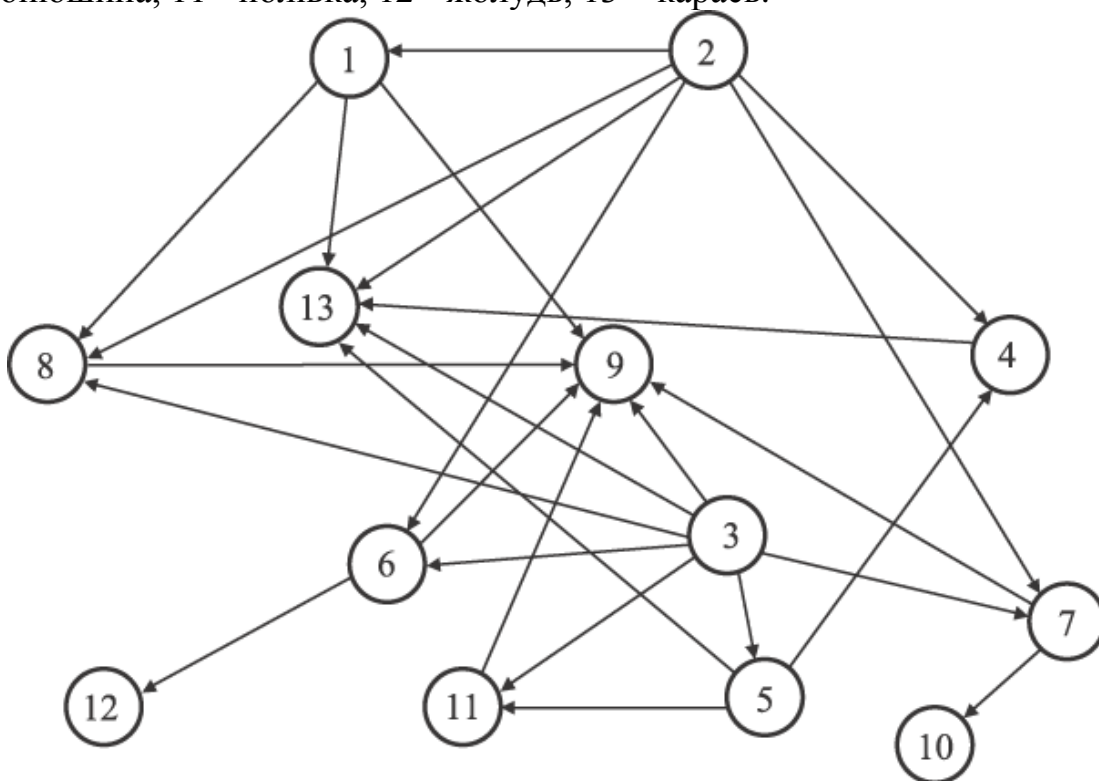


Рис. 7. Граф інформаційного опису.

Якщо використовувати результати динаміки популяції, то можна, використовуючи приведений морфологічний опис системи, записати адекватний функціональний опис системи. Зокрема, динаміку взаємин в цієї системі можна записати у вигляді рівнянь Лотка-Вольтерра:

$$x'_i(t) = x_i(t)(a_i - \sum_{j=1}^7 b_{ij} x_j(t)), \quad x_i(0) = x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

де  $x_i(t)$  - чисельність (щільність)  $i$ -ої популяції,  $b_{ij}$  - коефіцієнт поїдання  $i$ -го виду жертв  $j$ -им видом хижаків (ненажерливості),  $a_i$  - коефіцієнт народжуваності  $i$ -го виду.

*Приклад.* Розглянемо систему "Інформаційний центр". Вхідна, вихідна і внутрішньосистемна інформація представляється документами, графічними, аудіо- і відеофайлами, програмами і так далі Системні функції: надання машинного часу, обробка даних, пошук інформації, створення і обробка архівів і баз даних. Системні цілі: впровадження нових інформаційних технологій, впровадження нових методів навчання персоналу і користувачів, підвищення ефективності пошуку, отримання, обробки і зберігання інформації. Опис системи:  $x(t+1) = x(t) - a(t)x(t) + b(t)x(t)$ , де  $x(t)$  - ефективність методів роботи з інформацією у момент часу  $t$ ;  $a(t)$  - коефіцієнт комп'ютерної неграмотності користувачів;  $b(t)$  - коефіцієнт, що показує ступінь впровадження нових апаратно-програмних засобів.

*Приклад.* Система "Корпоративна мережа",  $S = \langle A, B, R, V, Q \rangle$ ,  $A = \{\text{Термінал, Файловий Сервер, Поштовий Сервер, Концентратор, Маршрутизатор, Мережевий Принтер}\}$ ,  $B = \{\text{Робоча станція, Серверна станція, Пристрої передачі пакетів з однієї підмережі в іншу}\}$ ,  $R = \{\text{Клієнт, Сервер}\}$ .

З погляду морфологічного опису, система може бути:

- гетерогенною системою – такою що містить елементи різного типу або походження (підсистеми, що не деталізуються на елементи з погляду вибраного підходу морфологічного опису);
- гомогенною системою - тобто містити елементи тільки одного типу або походження;
- змішаною системою - з гетерогенними і гомогенними підсистемами.

Морфологічний опис системи залежить від зв'язків, що враховуються, їх глибини (зв'язки між головними підсистемами, між другорядними підсистемами, між елементами), структури (лінійна, ієрархічна, мережева, матрична, змішана), типу (прямий зв'язок, зворотний зв'язок), характеру (позитивна, негативна).

*Приклад.* Морфологічний опис автомату для виробництва деякого виробу може включати геометричне визначення виробу, програму (завдання послідовності дій з обробки заготовки), виклад операційної обстановки (маршрут обробки, обмеження дій і ін.). Опис залежить від типу, глибини зв'язків, структури виробу і ін.

Основні ознаки системи:

- цілісність, зв'язність або відносна незалежність від середовища і систем (найбільш істотна кількісна характеристика системи). Із зникненням зв'язності зникає і система, хоча елементи системи і навіть деякі відносини між ними можуть бути збережені;

- наявність підсистем і зв'язків між ними або наявність структури системи (найбільш істотна якісна характеристика системи). Із зникненням підсистем або зв'язків між ними може зникнути і сама система;

- можливість відособлення або абстрагування від навколишнього середовища, тобто відносна відособленість від тих чинників середовища, які в достатній мірі не впливають на досягнення мети;

- зв'язки з навколишнім середовищем щодо обміну ресурсами;

- підпорядкованість всій організації системи деякій меті (це виходить з визначення поняття системи);

- емерджентність або незводимість властивостей системи до властивостей елементів.

Ціле завжди є системою, а цілісність завжди властива системі, що проявляється в системі у вигляді симетрії, повторюваності (циклічності), адаптації і саморегуляції, наявності і збереженні інваріантів.

"У організованій системі кожна частина або сторона доповнює собою інші і в цьому сенсі потрібна для них як орган цілого, що має особливе значення" (Богданов А.А.).

При системному аналізі об'єктів, процесів, явищ необхідно пройти (у вказаному порядку) такі етапи системного аналізу:

1. Виявлення проблеми (завдання).
2. Оцінка актуальності проблеми.
3. Формулювання цілей, їх пріоритетів і проблем дослідження.
4. Визначення і уточнення ресурсів дослідження.
5. Виділення системи (з навколишнього середовища) за допомогою ресурсів.
6. Опис підсистем (розтин їх структури), їх цілісності (зв'язків), елементів (розтин структури системи), аналіз взаємозв'язків підсистем.
7. Побудова (опис, формалізація) структури системи.
8. Встановлення (опис, формалізація) функцій системи і її підсистем.
9. Узгодження цілей системи з цілями підсистем.
10. Аналіз (випробування) цілісності системи.
11. Аналіз і оцінка емерджентності системи.
12. Випробування, верифікація системи (системної моделі), її функціонування.
13. Аналіз зворотних зв'язків в результаті випробувань системи.
14. Уточнення, коректування результатів попередніх пунктів.