

**Міністерство освіти і науки України**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**«СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ»**

**Навчальний посібник**  
**для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 122 – Комп'ютерні**  
**науки**

**Одеса – 2022**

**Міністерство освіти і науки України**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**«СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ»**

**Навчальний посібник**  
**для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 122 – Комп'ютерні**  
**науки**

Затверджено на засіданні  
кафедри інформаційних технологій  
проектування та дизайну  
Протокол № 4 від 21.06.2022 року

**Одеса – 2022**

Навчальний посібник з дисципліни «Системний аналіз» для здобувачів спеціальності 122 – Комп’ютерні науки / Укл.: В.М. Тонконогий, В.О. Вайсман, Л.В. Бовнегра, К.Г. Кіркопуло. Одеса: Нац. ун-т «Одеська політехніка», 2022. – 84 с.

Укладачі: В.М. Тонконогий, д.т.н., професор  
В.О. Вайсман, д.т.н., професор  
Л.В. Бовнегра, к.т.н., приват-професор  
К.Г. Кіркопуло, PhD, ст.. викладач

## ВСТУП

Сучасний системний аналіз (СА) – прикладна наука, яка орієнтована на прояснення причин виникнення проблем і на формування варіантів їх усунення. Системний аналіз – це сукупність методологічних засобів, які використовуються для підготовки і обґрунтування рішень із складних проблем політичного, соціального, економічного, технічного і наукового характеру.

Основою є системний підхід і ряд методів, математичних дисциплін і сучасної теорії управління. Основна процедура – це побудова узагальненої моделі, яка відображає взаємозв'язки реальної ситуації. Технічною основою є ЕОМ і інформаційні системи. Виникнення «системного аналізу» пов'язано з необхідністю проведення комплексних досліджень при створенні складних технологічних і виробничих комплексів, систем управління ними, аналізі економічної ситуації тощо.

Як дисципліна, системний аналіз займається проблемами ухвалення рішень в умовах, коли вибір альтернативи потребує аналізу складної інформації різної фізичної природи. Результатом системних досліджень є вибір конкретної альтернативи, наприклад, план розвитку, параметри конструкції, структура тощо.

Основним завданням дисципліни можна вважати показ того, як різні знання (математика, теорія управління, методи оптимізації) можуть допомагати вирішенню складних прикладних завдань, а системний інтегратор є головним помічником для архітекторів, конструкторів складних систем, ін.. При цьому для конструювання і дослідження складних систем системний аналіз не пропонує набори рецептів, а лише методологію.

## РОЗДІЛ 1. Основні завдання системного аналізу та системного підходу

### 1.1 Мета та проблема в системному аналізі

**Системний аналіз** – це методологія теорії систем, що полягає в дослідженні будь-яких об'єктів, що представляються в якості систем, проведенні їх структуризації і подальшого аналізу. Головна особливість системного аналізу полягає в тому, що він включає в себе не тільки методи аналізу (від грец. *analysis* - розчленування об'єкта на елементи), а й методи синтезу (від грец. *synthesis* - з'єднання елементів в єдине ціле).

**Головна мета** системного аналізу – виявити і усунути невизначеність при вирішенні складної проблеми на основі пошуку найкращого рішення з існуючих альтернатив.

**Проблема** в системному аналізі – це складне теоретичне або практичне питання, що вимагає розв'язку. В основі будь-якої проблеми лежить розв'язок будь-якого протиріччя. Наприклад, вибір інноваційного проекту, який відповідав би стратегічним цілям підприємства і його можливостям, є певною проблемою. Тому пошук найкращих рішень при виборі інноваційних стратегій і тактики інноваційної діяльності потрібно здійснювати на основі системного аналізу. Реалізація інноваційних проектів та інноваційної діяльності завжди пов'язана з елементами невизначеності, які виникають в процесі нелінійного розвитку, як самих цих систем, так і систем оточення.

В основі методології системного аналізу лежать операції кількісного порівняння і вибору альтернатив у процесі прийняття рішення, що підлягає реалізації. Якщо вимога критеріїв якості альтернатив виконано, то можуть бути отримані їх кількісні оцінки. Для того щоб кількісні оцінки дозволяли вести порівняння альтернатив, вони повинні відображати беруть участь у порівнянні критерії вибору альтернатив (результат, ефективність, вартість та ін.).

У системному аналізі **рішення проблеми** визначається як діяльність, яка зберігає або поліпшує характеристики системи або створює нову систему із заданими якостями.

Прийоми і методи системного аналізу спрямовані на розробку альтернативних варіантів вирішення проблеми, виявлення масштабів невизначеності по кожному варіанту і зіставлення варіантів по їх ефективності (критеріями). Причому критерії шикуються па пріоритетній основі.

Системний аналіз можна представити у вигляді сукупності основних логічних **елементів:**

- Мета дослідження - вирішення проблеми та отримання результату;
- Ресурси - наукові засоби вирішення проблеми (методи);
- Альтернативи - варіанти рішень і необхідність вибору одного з декількох рішень;
- Критерії - засіб (ознака) оцінки вирішуваності проблеми;
- Модель створення нової системи.

Причому формулювання мети системного аналізу відіграє визначальну роль, так як вона дає дзеркальне відображення існуючої проблеми, бажаний результат її вирішення і опис ресурсів, за допомогою яких можна досягти цього результату.

Мета конкретизується і трансформується стосовно до виконавцям і умовам. Ціль більш високого порядку завжди містить вихідну невизначеність, яку необхідно враховувати. Незважаючи на це, мета повинна бути визначеною і однозначною. Її постановка повинна допускати ініціативу виконавців. "Набагато важливіше вибрати" правильну "мета, ніж" правильну "систему", - вказав Хол, автор книги по системотехніці; "вибрати не ту мету - означає вирішити не ту задачу; а вибрати не ту систему - значить просто вибрати неоптимальну систему".

Якщо розташовувані ресурси не можуть забезпечити реалізацію поставленої мети, то ми отримаємо не плановані результати. Мета - це і є бажаний результат. Тому для реалізації цілей повинні бути вибрані відповідні ресурси. Якщо ресурси обмежені, то треба коригувати мета, тобто планувати ті результати, які можна отримати при даному наборі ресурсів. Тому формулювання цілей в інноваційній діяльності повинна мати конкретні параметри.

## **1.2 Основні завдання системного аналізу**

Основні **завдання** системного аналізу включають у себе:

- завдання декомпозиції, тобто розкладання системи (проблеми) на окремі підсистеми (завдання);
- завдання аналізу полягає у визначенні законів і закономірностей поведінки системи за допомогою виявлення системних властивостей і атрибутів;
- завдання синтезу до створення нової моделі системи, визначенню її структури і параметрів на основі отриманих при вирішенні завдань знань та інформації.

Системний аналіз містить ряд розділів. Основними з них є економічний аналіз виробничо-господарської діяльності об'єкта управління та аналіз економічної ефективності виробничо-господарських процесів. Механізм їх застосування визначається у кожному конкретному випадку особливістю об'єкта дослідження, що, в свою чергу, потребує використання специфічних способів пошуку оптимального рішення.

Сучасний стан системних уявлень формувалася під впливом досліджень багатьох наукових напрямів. З різних боків до сучасного розуміння системності наближалася філософська думка та практична наукова і технічна методологія. Водночас і деякою мірою незалежно методологія системного аналізу формувалася у кібернетиці, біології, психології, соціології, економічній науці.

Апарат системного аналізу дає можливість розкрити та зрозуміти закономірності функціонування технічних, біологічних, соціальних систем, логіку їхнього внутрішнього розвитку, і тому він широко застосовується в цих науках.

Предметом теорії систем та системного аналізу є вивчення великих систем навколишнього світу на основі системного підходу, вивчення внутрішніх і зовнішніх, найбільш загальних характеристик систем, розробка методів аналізу систем та методів вирішення проблем, що виникають у цих системах під час практичної діяльності людини. Системний аналіз є методологічною науковою дисципліною. Методологічна дисципліна означає, що основним напрямком її є розробка методів аналізу складних систем.

Предметна область системного аналізу зводиться до вивчення складних багаторівневих множин систем різної природи та різних видів і класів з різноманітними властивостями і відношеннями між ними. Вона настільки широка, що не підлягає строгій та однозначній класифікації й впорядкуванню. Методи системного дослідження як способи чи шляхи практичного або теоретичного пізнання явищ і закономірностей функціонування і розвитку складних систем є досить різноманітними і не обмежуються будь-якими рамками.

### Контрольні запитання

1. Поясніть, що таке системний аналіз?
2. Поясніть, в чому полягає проблема в системному аналізі? Як визначається рішення проблеми?
3. З яких основних елементів складається системний аналіз?
4. В чому полягають основні завдання системного аналізу?
5. Дайте визначення поняттям «декомпозиція», «аналіз», «синтез».

### Задачі для самостійного розв'язання

Завдання. Відповідно до умов задачі визначте:

- 1) елементи, які складають систему,
- 2) сформулюйте проблему, яка потребує системного підходу до вирішення
- 3) сформулювати цілі, які повинні бути досягнуті в результаті реалізації знайденого рішення;
- 4) вкажіть, що вважати вирішенням проблеми (рішення має гарантувати досягнення цілей);
- 5) виявіть і опишіть можливості досягнення цілей;
- 6) визначте і опишіть фактори, від яких може залежати вирішення проблеми;

**Задача 1.** На швейній фабриці для виготовлення чотирьох видів виробів може бути використана тканина трьох артикулів. Норми витрати тканин всіх артикулів на пошиття одного виробу наведені в таблиці. У ній так само вказані наявні в розпорядженні фабрики загальна кількість тканин кожного артикулу і ціна виробу даного виду. Визначити, скільки виробів кожного виду повинна зробити фабрика, щоб вартість виготовленої продукції була максимальною. Скільки тканини кожного з артикулів може заощадити фабрика не втрачаючи прибутку?

Артикул тканини	Норма витрати тканини (м) на один виріб виду				Загальна кількість тканини
	1	2	3	4	
I	1	-	2	1	180
II	-	1	3	2	210
III	4	2	-	4	800
Ціна одного виробу (руб.)	$9 \pm 2$	6	$4 \pm 3$	7	

**Задача 2.** Підприємство випускає чотири види продукції і використовує три типи основного устаткування: токарне, фрезерне і шліфувальне. Витрати часу на виготовлення

одиниці продукції для кожного з типів обладнання наведені в таблиці. У ній же вказані загальний фонд робочого часу кожного з типів обладнання, а також прибуток від реалізації одного виробу даного виду. Визначити такий обсяг випуску кожного з виробів, при якому загальний прибуток від їх реалізації є максимальною.

тип обладнання	Витрати часу (станко-ч) на одиницю продукції виду				Загальний фонд робочого часу (станко-ч)
	1	2	3	4	
Токарне	2	1	1	3	300
фрезерне	1	-	2	1	70
шліфувальне	1	2	1	-	340
Прибуток від реалізації одиниці продукції (грн.)	8	3	2 ± 1	1	

**Задача 3.** Для перевезень вантажу на трьох лініях можуть бути використані суди трьох типів. Продуктивність судів при використанні їх на різних лініях характеризуються даними, наведеними в таблиці. У ній же вказані загальний час, протягом якого суду кожного типу знаходяться в експлуатації, і мінімально необхідні обсяги перевезень на кожній лінії. Визначити, які судна, на якій лінії і протягом якого часу слід використовувати, щоб забезпечити максимальне завантаження суден з урахуванням можливого часу їх експлуатації.

Тип судна	продуктивність судів (Млн. Тонноміль на добу) на лінії			Загальний час експлуатації суден
	1	2	3	
I	8	14	11	300
II	6	15	13	300
III	12	12	4	300
Заданий обсяг перевезень (млн. Тонно-міль)	3000	5400	3300	

**Задача 4.** Знайти рішення, що складається у визначенні плану виготовлення виробів А, В і С, що забезпечує максимальний їх випуск, у вартості вираженій з урахуванням обмежень на можливе використання сировини трьох видів. Норми витрати сировини кожного виду на один виріб, ціна одного виробу відповідного виду, а також наявної сировини, наведені в таблиці. Чи можна заощадити сировину не зменшуючи загального прибутку? Що станеться з прибутком, якщо перед підприємством поставлено завдання випустити не менше п'яти виробів виду А?

Вид сировини	Норми витрат (кг) на один виріб			Загальна кількість сировини (кг)
	А	В	С	
I	18	15	12	360
II	6	4	8	192
III	5	3	3	180
Ціна одного виробу (грн.)	9 ± 1	10 ± 2	16	-

**Задача 5.** Для підтримки нормальної життєдіяльності людині необхідно споживати не менше 118 г білків, 56 г жирів, 500 г вуглеводів, 8 г мінеральних солей. Кількість поживних речовин, що містяться в 1 кг кожного виду споживаних продуктів, а також ціна 1 кг кожного з цих продуктів наведені в таблиці нижче:

Скласти денний раціон, що містить не менше мінімальної добової норми потреби людини в необхідних поживних речовинах при мінімальній загальній вартості споживаних продуктів.

Поживні речовини	Зміст (г) поживних речовин в 1 кг продуктів						
	м'ясо	риба	молоко	Масло	сир	крупа	ка-Фель
білки	180	190	30	10	260	130	21
жири	20	3	40	865	310	30	2
вуглеводи	-	-	50	6	20	650	200
мінеральні солі	9	10	7	12	60	20	10
Ціна 1 кг продуктів (грн.)	1,8	1,0	0,28	3,4	2,9	0,5	0,1

**Задача 6.** З чотирьох видів сировини необхідно скласти суміш, до складу якої має входити не менше 26 од. хімічної речовини А, 30 од. - речовини В і 24 од. - речовини С. Кількість одиниць хімічної речовини, що міститься в 1 кг сировини кожного виду, зазначено в таблиці. У ній же наведена ціна 1 кг сировини кожного виду.

Скласти суміш, яка містить не менше необхідної кількості даного виду і має мінімальну вартість.

речовина	Кількість одиниць речовини, що міститься в 1 кг сировини виду			
	1	2	3	4
А	1	1	-	4
В	2	-	3	5
С	1	2	4	6
Ціна 1 кг сировини (грн.)	5	6	7	8

## РОЗДІЛ 2. Системний підхід до розв'язку задач

### 2.1 Головні поняття

Розглянемо головні поняття дисципліни.

**Теорія систем** - це область наукового знання про навколишній світ як сукупність систем різної складності й різного рівня, які взаємодіють між собою. Теорія систем є загальнотеоретичним підходом, заснованим на методах діалектики, використанні знань філософії, прикладної математики, теорій пізнання та інших наукових дисциплін. Вона вивчає закономірності функціонування, взаємодії і розвитку великих систем.

**Системний аналіз** – це методологічна дисципліна, заснована на системному підході. Вона об'єднує методи вивчення систем різної складності й призначення, розробляє ці методи, узагальнює їх, дає практичні рекомендації для їх використання. Системний аналіз застосовується для підготовки й обґрунтування шляхів вирішення складних проблем політичного, соціального, військового, економічного, технічного характеру. Системний аналіз – це прикладна діалектика.

**Головна процедура системного аналізу** – побудова узагальнених моделей, в яких відображені закономірності реальної ситуації. Моделі системного аналізу відображають структуру, взаємозв'язки у складних системах, реальну ситуацію та проблеми, які в них виникають. За допомогою створених моделей досліджують системи й знаходять шляхи вирішення складних проблем практичної діяльності людини.

**Технічна основа системного аналізу** – інформаційні системи, обчислювальна техніка і сучасні методи керування.



Системний аналіз вивчає такі питання:

- утворення цілого;
- побудова цілого;
- зростання і розвиток цілого;
- відношення між цілісною системою та іншими системами;
- відношення між системою та метасистемою, великою зовнішньою системою, до складу якої вона входить.

## 2.2 Принципи системного аналізу

**Принцип остаточної (глобальної) мети:** глобальна мета системи має абсолютний пріоритет.

**Принцип єдності:** сумісний розгляд системи і як цілого, і як сукупності компонентів (елементів, підсистем, системотворчих відношень).

**Принцип зв'язності:** довільна компонента системи розглядається сумісно з її зв'язками з оточенням.

**Принцип модульності:** в багатьох випадках в системі доцільно реалізувати декомпозицію на складові (модулі) різного ступеня загальності та розглядати її як сукупність модулів та зв'язків між ними.

**Принцип ієрархії:** в більшості випадків в системі доцільно реалізувати ієрархічну побудову та (або) впорядкування (можливий півпорядок) її складових за важливістю.

**Принцип функціональності:** структура системи та її функції повинні розглядатися сумісно з пріоритетом функції над структурою.

**Принцип розвитку:** необхідно враховувати змінність системи, її здатність до розвитку, розширення, заміни складових, накопичення інформації.

**Принцип децентралізації:** в управлінні системою співвідношення між централізацією та децентралізацією визначається призначенням та метою системи.

**Принцип невизначеності:** невизначеності та випадковості повинні братися до уваги при визначенні стратегії та тактики розвитку системи.

**Принцип остаточної (єдиної, генеральної, глобальної) мети** означає, що в системі все повинно бути спрямоване на досягнення призначення, підпорядковане глобальній меті. Будь-які зміни, удосконалення та управління повинні оцінюватися виходячи з того, чи сприяють вони досягненню остаточної мети. В дещо модифікованому вигляді принцип остаточної мети застосовується до систем, що не є цілеспрямованими — для таких систем поняття остаточної мети замінюється поняттям основної функції, основної властивості системи.

**Принципи єдності, зв'язності та модульності** доволі тісно пов'язані між собою, але якщо принцип єдності відображає «погляд ззовні» на систему, то принцип зв'язності орієнтує на «погляд зсередини» системи. На різних етапах дослідження системи ці погляди можуть знаходитися у різному співвідношенні.

**Принцип модульності** вказує на можливість розгляду замість частини системи сукупності входів та виходів цієї частини, тобто дозволяє абстрагуватися від зайвої деталізації за умови збереження можливості адекватного описання системи.

**Принцип ієрархії** акцентує увагу на корисності відшукання або створення в системі ієрархічного характеру зв'язків між її елементами, цілями, модулями. Ієрархічні системи, зазвичай, створюються та досліджуються «згори», починаючи з аналізу модулів вищих рівнів ієрархії. У випадку відсутності ієрархії дослідник повинен вирішити, в якому порядку він буде розглядати складові системи та напрямок конкретизації своїх уявлень.

**Принцип функціональності** стверджує, що довільна структура тісно пов'язана з функціями системи та її складових, і створювати (до^ сліджувати) структуру необхідно після зрозуміння функцій системи. З практичної точки зору це означає, що у випадку

надання системі нових функцій доцільно переглядати її структуру, а не прагнути «втиснути» нову функцію в стару структуру.

**Принцип розвитку** повинен закладатися при побудові штучних систем як здатність до вдосконалення, розвитку системи за умови збереження якісних особливостей. Межі розширення функцій та модернізації повинні бути чітко усвідомленими творцями штучної системи, тому що існують доцільні межі універсальності системи. Можливості для розвитку закладаються шляхом надання системі властивостей до самонавчання, самоорганізації, штучного інтелекту.

**Принцип децентралізації** орієнтує на розумний компроміс між повною централізацією та наданням здатності реагувати на певні дії частинам системи. Система з повною централізацією буде негнучкою, нездатною до пристосування; ймовірно, що в такій системі інформаційні канали, що ведуть до керуючого елемента, виявляться перевантаженими, а сам керуючий елемент буде нездатним опрацювати таку велику кількість інформації. Однак чим більш децентралізованими будуть рішення в системі, тим складніше їх узгодити з точки зору досягнення глобальної мети. Досягнення спільної мети в сильно децентралізованій системі може забезпечуватися лише стійким механізмом регулювання, що не дозволяє сильно відхилитися від поведінки, яка веде до досягнення спільної мети. В усіх таких випадках діє сильний зворотний зв'язок.

В системах, що не мають стійких механізмів регулювання, наявність того чи іншого рівня централізації є необхідністю, і це пов'язане з оптимальним співвідношенням керуючих дій, які отримуються «згори» певним елементом з діями, що продукуються цим елементом самостійно. Загальне правило є наступне: **ступінь централізації повинен бути мінімальним, що забезпечить досягнення остаточної мети.**

Окрім того є ще один аспект централізації та децентралізації: «згори» надходять узагальнені керуючі дії, які конкретизуються на нижніх рівнях. Оскільки конкретизація можлива неєдиним способом, то нижні рівні отримують ще один «ступінь свободи». Хоча, з іншого боку, з точки зору верхнього рівня, деякі керуючі дії загального характеру можуть бути неправильно проінтерпретовані нижнім рівнем.

**Принцип невизначеності** стверджує, що в багатьох (більшості, коли це стосується штучних систем за участю людини) випадках ми працюємо з системою, про яку ми не все знаємо, чи не все розуміємо у її поведінці. Це може бути система з невідомою структурою, непередбачуваним перебігом деяких процесів, зі значними відмовами, з невідомими зовнішніми втручаннями. Частковим випадком невизначеності є випадковість — ситуація, коли вид події відомий, але вона може трапитися, або ж ні. На ґрунті такого означення можна ввести повне поле подій — множину подій, про яку відомо, що якась з подій, що належать до цієї множини, обов'язково трапиться. Врахування невизначеності в системі можливо як на ґрунті принципу гарантованого результату, так і спробою описання за допомогою методів теорії ймовірності та математичної статистики або ж лінгвістичних змінних, а підвищення рівня надійності досягається шляхом введення резервування.

Принципи системного підходу є загальними положеннями, що відображають абстраговані від конкретного змісту прикладних проблем відношення.

Тому цілком послідовним є запитання: «Яким чином застосувати такі знання?».

Для конкретної системи чи проблемної ситуації принципи системного підходу повинні бути конкретизовані, тобто насамперед повинна бути дана відповідь на запитання: «Що означає той чи інший принцип у цій предметній області та в цій конкретній ситуації?» Наповнення принципів конкретним змістом виконується системним аналітиком. Це дозволяє у випадку складних систем краще побачити суттєві особливості проблеми, врахувати важливі взаємні зв'язки. В багатьох випадках інтерпретація системних принципів в конкретних умовах дозволяє піднятися на новий рівень розуміння системи загалом, вийти за межі розгляду її «зсередини». Така інтерпретація може приводити до висновків про відсутність умов для застосування деяких з принципів або їх незначного впливу в певних конкретних умовах.

Багаторазове застосування принципів системного підходу в різних системах приводить до розвитку у дослідника особливого, системного типу мислення. Саме тому результати застосування системних принципів та методологій є певною мірою мистецтвом і вимагають системоаналітичного досвіду.

### 2.3 Поняття системи, елементу, навколишнього середовища, мети, декомпозиції, функції, стану, процесу.

Базовим поняттям системного аналізу є система. Незважаючи на загальність цього поняття, воно має чіткі трактування, залежно від джерел походження.

Виділяються дві групи визначень системи.

Першу групу утворюють визначення, які не виділяють поняття цілісності системи : «Система – це множина об'єктів разом з відношеннями між об'єктами та між їх атрибутами (властивостями)».

Історія визначень такого типу зрозуміла і має джерело походження – природничі науки, в яких дослідник йшов шляхом від простого до складного – поділяв систему на елементи, розглядав властивості окремих частин і способи їх взаємодії, отримуючи таким чином уявлення про систему як про сукупність взаємопов'язаних елементів. Однак не завжди із властивостей елементів та їх відношень можливим є виведення загальних властивостей системи.

**Інша група визначень включає цілісність як важливу властивість системи (це поняття є властивим для складних систем). Дійсно, якщо в результаті детального вивчення системи знайдена властивість, яку не можна поставити у відповідність ні одному з її елементів, то визначення першої групи виявляється недійсним, і потрібно «довизначити» систему. В цьому сенсі система – це комплекс взаємопов'язаних елементів та взаємозв'язків між ними, що утворюють цілісність, що є особливою єдністю з середовищем та є елементом «надсистеми», і цій цілісності притаманні властивості, мета цілі та функції не властиві окремим елементам.**

Виходячи з визначень цієї групи систему  $S$  будемо розглядати у вигляді кортежу

$$S = \langle M, X_s, X_{\bar{s}}, F \rangle,$$

де  $M$  – множина елементів системи,  $X_s$  – множина зв'язків між елементами системи,  $X_{\bar{s}}$  – множина зв'язків між елементами системи та зовнішнім середовищем,  $F$  – множина нових (системних) функцій, властивостей, призначень.

Наявністю істотних стійких зв'язків, саме істотних, а не будь-яких (відношень) між елементами або (та) їхніми властивостями, що перевершують по силі зв'язки (відношення) цих елементів з елементами, що не входять у дану систему, є важливим атрибутом системи. Саме ці зв'язки визначатимуть інтегративні властивості системи.

Властивість цілісності відрізняє систему від простого набору елементів і виділяє її з навколишнього середовища.

Важливими властивостями системи є комунікативність, інтегративність, ступінь рівноваги та стійкості, адаптація.

**Комунікативність** – ступінь зв'язку з зовнішнім середовищем.

**Поняття інтегративності** визначає фактори, які утворюють і зберігають систему.

**Рівновага** системи – це здатність зберігати деякий стан при відсутності збурень.

**Стійкість** – здатність системи повертатись до попереднього стану, після того як вона була з нього виведена.

**Адаптація** – здатність системи до цілеспрямованого пристосування. Визначення елементів не системи (середовища), які пов'язані із системою, впливають на неї і є під її впливом, є надзвичайно важливим етапом системних досліджень.

Уведення часових характеристик при дослідженні системи розкриває суть важливих її властивостей перебувати у певному стані та змінювати ці стани в часі.

**Стан системи** – це зафіксовані значення характеристик системи, важливі для цілей дослідження. Зміна довільної з числа цих характеристик означатиме перехід системи до іншого стану. Отже, отримаємо набір станів, який ще не є процесом.

**Процес** – це набір станів системи, що відповідає впорядкованій неперервній або дискретній зміні деякого параметра, що визначає характеристики чи властивості системи. В більшості випадків таким параметром є час.

Процес зміни станів системи в часі відображає її **динаміку**. Процеси в системі мають різноманітне значення. Зокрема, процеси створення комп'ютеризованої інформаційної системи вимагають реалізації різних “під процесів”, які забезпечують основну функцію розробника. Отже, процеси описуються як залежності виходів від входів в модулях різного ступеня узагальнення або різного рівня ієрархії. При цьому принципово не важливо, чи сприяє, а чи перешкоджає загалом той чи інший процес реалізації системою своїх функцій.

**Середовище** – це сукупність всіх об'єктів, які впливають на систему, а також об'єктів, що змінюються під впливом системи, але не входять до її складу. Весь наш світ можна розглядати як гігантську систему, але ми не досліджуємо Всесвіт практично кожен раз, коли виникає проблема. Тому певна система є підсистемою Всесвіту, а Всесвіт лише в найбільш широкому сенсі можна називати середовищем цієї системи, а в абсолютній більшості середовище – це все те, що взаємодіє з системою, тобто теж певна підсистема Всесвіту.

Між середовищем та системою існують відношення, які узгоджуються через **призначення** системи. Зміна оточуючого середовища призводить до зміни призначення системи. Розуміння призначення не є сталим під час вивчення системи. Воно може змінюватися в процесі конкретизації. Відображенням призначення є мета.

Мета – відображає те, що може чи повинно виникнути, прообраз майбутнього, стан, який бажано досягнути. Вона тією чи іншою мірою

присутня у свідомості людини, яка здійснює довільний вид діяльності, і переноситься ним на багато природних та штучних систем. Пізнання мети допомагає зрозуміти сутність систем, що досліджуються, і власне тому інтерес до змісту цього поняття безперервно зростає. Мета може змінюватися залежно від розвитку в часі призначення.

Мета має декілька аспектів. Пізнавальний аспект мети відповідає прогнозу майбутнього, а конструктивний – можливим способам переходу до бажаного майбутнього чи плану дій. У тих випадках, коли мета відносно проста, усвідомлення мети включає і спосіб її досягнення, а у випадку складної мети – план набуває самостійного значення як елемент постановки мети. План встановлює послідовність етапів досягнення мети, визначаються засоби та методи, строки дій.

Виходячи із мети системи її елемент можна розглядати як деякий об'єкт (матеріальний, енергетичний, інформаційний), що має ряд важливих властивостей, але внутрішня будова якого безвідносна до мети дослідження.

Мета конкретизується шляхом декомпозиції за допомогою цілей.

**Декомпозиція** – це поділ системи на частини з метою зробити зручнішими певні операції з цією системою. Найважливішим стимулом і суттю декомпозиції є спрощення системи, надміру складної для розгляду цілком.

З точки зору мети дослідження системи її елементи не піддаються подальшій декомпозиції при обраному рівні розгляду системи.

**Функція системи** – це дії, які виконує система система або може виконувати для досягнення мети і реалізації свого призначення.

Функцію елементу зручно розглядати як сукупність його станів у просторі та часі. При взаємодії функцій доволі часто виникає нова властивість (властивості), які не виявляються в кожному окремому елементі системи. Одна й та ж функція може здійснюватися декількома шляхами.

Одним зі способів розкриття внутрішньої суті мети є побудова дерева цілей. Цілі в часовому аспекті поділяються на тактичні цілі, макроцілі, та ідеали.

**Тактичні цілі** – це бажані результати, досягнення яких відбувається за визначений і порівняно короткий період часу.

**Макроцілі** досягаються за довший час і вимагають для цього досягнення хоча б однієї тактичної цілі.

**Ідеали** – це такі цілі, які ніколи не досягаються, але до яких система постійно наближається, реалізуючи деякі тактичні та макроцілі.

За наявністю інформації про способи досягнення цілей виділяються наступні класи цілей:

**Функціональна ціль** – це ціль, спосіб досягнення якої відомий системі, що вже досягала цю ціль. Функціональні цілі повторюються в часі та просторі. Прикладами такого типу цілей є результати виконання виробничих операцій, що періодично повторюються, стандартні функції управління та ін.

**Ціль-аналог** – це образ, який отриманий в результаті дії іншої системи, але який ні разу не досягався системою, що розглядається, а якщо і досягався, то за інших умов зовнішнього середовища.

**Ціль розвитку**, або нова ціль – це ціль, яка ніколи і ніким раніше не досягалася. Така ціль по суті пов'язана з утворенням нових систем.

Ці типи цілей пов'язані одна з іншою. Ціль розвитку за умови її успішного досягнення однією з систем перетворюється в ціль-аналог для всіх інших систем, а для даної системи стає функціональною ціллю за умови незмінних зовнішніх умов та ціллю-аналогом за умови змінених зовнішніх умов.

### Контрольні запитання

1. Що таке системний підхід?
2. Як у системному підході розглядаються елементи системи?
3. Перерахуйте переваги системного підходу.
4. Розкрийте основні засади системного підходу.
5. Перерахуйте та опишіть етапи системного підходу.

### Задачі для самостійного розв'язання

Завдання.

1. Визначте систему, що запропонована в завданні до попереднього розділу, у вигляді кортежу.

2. Запишіть функцію системи, її цілі (тактичні, макроціль, функціональну, ціль-аналог, ціль розвитку).

## РОЗДІЛ 3. Структура системи

### 3.1 Поняття структури системи

Поняття структури є одним з основних в системному аналізі. За ступенем зв'язку та розумінням будови чи сприйняття системи розрізняють форми, сукупності та структури.

**Форма** – це зовнішній вигляд об'єкта безвідносно до його суті. **Сукупність** – це з'єднання або набір в одну множину безвідносно до форми чи порядку.

**Структура** – це множина частин або форм (елементів), які знаходяться у взаємодії та специфічному порядку у просторі і в часі елементів і зв'язків системи, необхідному для реалізації функцій. Отже, функція є первинною щодо структури.

Властивістю структури є можливість існування протягом певного часу за допомогою зв'язуючого пристосування для збереження елементів (частин) та їх відношень приблизно в одному й тому ж порядку, реагуючи при цьому на дії середовища.

Структура системи зберігається та збагачується через її функціональні трансформації, в той же час структура полегшує ці перетворення. В організаціях та в більш широкій соціальній структурі наявні зв'язуючі сили, що підтримують форму структури. З точки зору практики представлення структури бажано спростити, щоб ідентифікувати її елементи та взаємні зв'язки між ними. Структура системи може бути охарактеризована за типами зв'язків, які в ній є або які в ній переважають. Найпростішими зв'язками є паралельне, послідовне з'єднання та обернений зв'язок. Обернений зв'язок виконує регулюючу роль у системі.

### 3.2 Топологічні ознаки внутрішніх зв'язків системи

Можливості структури в достатньо повній мірі розкриваються її топологічними ознаками.

За топологією внутрішніх зв'язків розділяють такі структури: послідовні (рис. 3.1 а), паралельні (рис. 3.1 б), радіальні (рис. 3.1 в), кільцеподібні (рис. 3.1 г), типу повний граф (рис. 3.1 д), деревоподібні (рис. 3.1 е), незв'язані (рис. 3.1 є).

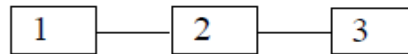


Рис. 2.1 а)

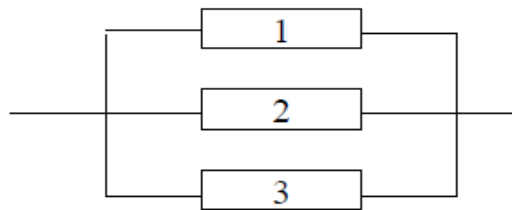


Рис. 2.1 б)

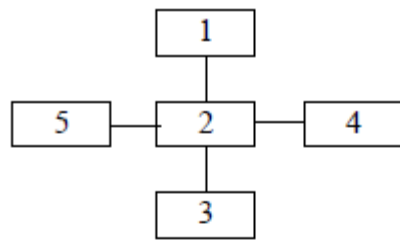


Рис. 2.1 в)

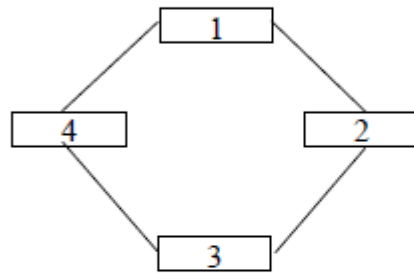


Рис. 2.1 г)

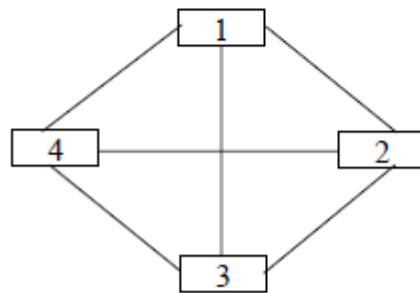


Рис. 2.1 д)

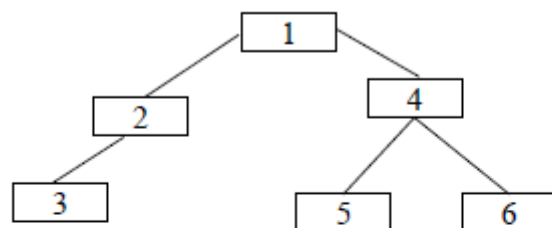


Рис. 2.1 е)



Рис. 2.1 є)

Іншою поширеною класифікаційною ознакою структур є її організація з точки зору управління.

Для розгляду структур за управлінням введемо позначення:

○ – орган управління;

□ – об'єкт управління.

За управлінням структури класифікують на: централізовані (рис. 3.2 а), децентралізовані (рис. 3.2 б), централізовані-розподілені (рис. 3.2 в), ієрархічні (рис. 3.2 г).

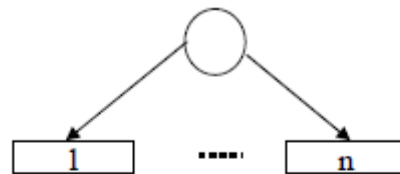


Рис. 2.2 а)

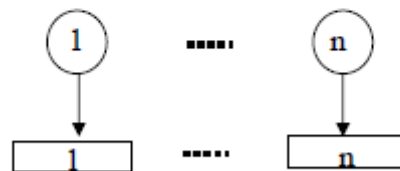


Рис. 2.2 б)

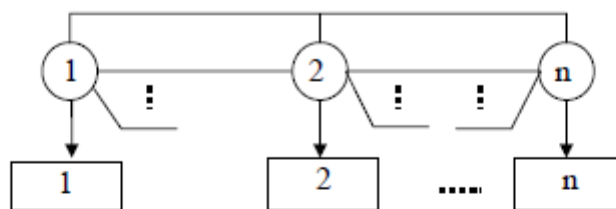


Рис. 2.2 в)

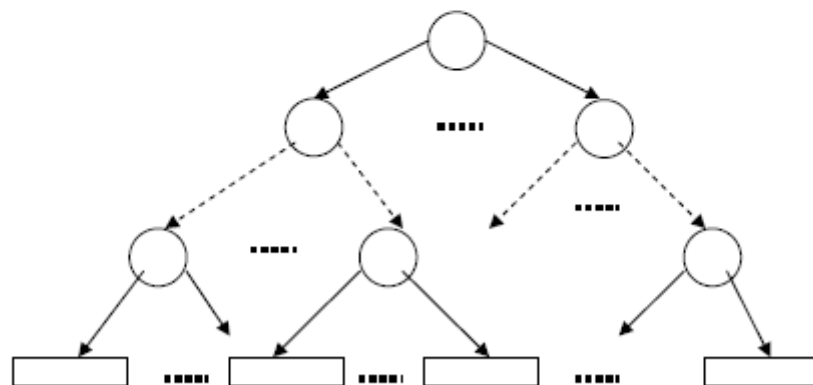


Рис. 2.2 г)



*Централізована структура* передбачає реалізацію усіх процесів керування об'єктами в одному органі керування, який безпосередньо отримує інформацію про стани об'єктів і передає керуючі сигнали кожному з них. Важливою перевагою такого способу керування є можливість організації глобально-оптимального управління. Недоліком цього методу є необхідність великих об'ємів засобів накопичення, високої продуктивності органів керування.

*Децентралізована структура* будується за умови незалежності об'єктів керування. Система з такою структурою складається з відносно незалежних між собою підсистем. Недоліком такої структури є неможливість організації глобально-оптимального управління.

Особливістю централізованої розподіленої структури є те, що в ній зберігається основна перевага централізованого керування, а саме – передача керуючих сигналів на основі аналізу інформації про стани всіх об'єктів. Але на відміну від централізованої структури орган керування є розподіленим. Недоліком цієї структури є складність інформаційної взаємодії між елементами розподіленого органу керування, а також складність синхронізації елементів органів управління.

Проблема організації інформаційної взаємодії розподіленого органу управління розв'язується у ієрархічній структурі. Ієрархічна структура, це структура з підпорядкованістю, тобто з нерівноправними зв'язками.

Основним недоліком цієї структури є її “консервативність” (будь-яка зміна в структурі вимагає великої кількості зусиль).

Отже, структура є стійкими взаємними зв'язками між елементами системи, які забезпечують її цілісність. Структура є найконсервативнішою характеристикою системи: хоча стан системи змінюється, структура її зберігається незмінною іноді дуже тривалий час. Якщо розглядати поняття «структура» у взаємному зв'язку з поняттям «мета», то під структурою слід розуміти спосіб досягнення мети.

При аналізі структури важливим є її топологічний аналіз. Метою топологічного аналізу є відображення можливостей структури для реалізації функцій, виходячи з наявних елементів та відношень між ними, не вникаючи у їх змістовний опис. У випадку аналізу структури системи використовують 3 етапи опису зв'язків:

- 1) встановлення зв'язків, тобто чи є зв'язок, чи він відсутній;
- 2) встановлення напрямку;
- 3) встановлення характеру зв'язків (потоків).

Основні завдання, які розв'язуються на першому етапі:

- визначення зв'язаності системи;
- виділення ізольованих, тобто зв'язаних в собі підсистем;
- виділення циклів;
- визначення мінімальних та максимальних послідовностей елементів, що розділяють елементи один від одного.

На другому етапі розв'язують такі задачі:

- визначення зв'язаності системи;
- проводять топологічну декомпозицію з метою виділення структур підсистем;
- аналіз та виділення входів та виходів;
- визначення рівнів у структурі шляхом побудови порядкових функцій;
- визначення мінімальних та максимальних шляхів;
- розрахунок структурно-топологічних характеристик.

На останньому етапі визначають місцеві та загальні контури управління, проводять декомпозицію зв'язків, будують оператори з'єднання елементів структури із розщепленими зв'язками.

## Контрольні запитання

1. Дайте визначення понять «форма», «сукупність», «структура».
2. Назвіть основні положення, що стосуються централізованої системи.
3. Назвіть основні положення, що стосуються децентралізованої системи.
4. Що таке топологія внутрішніх зв'язків в системі?
5. Які структури розрізняють за топологією внутрішніх зв'язків?

### Задачі для самостійного розв'язання

Завдання 1. Визначте реальні системи, які мають топологію внутрішніх зв'язків:

- |                      |                                   |
|----------------------|-----------------------------------|
| 1) послідовні,       | A. Нервова система                |
| 2) паралельні,       | B. Система документообігу в банку |
| 3) радіальні,        | C. Система освіти                 |
| 4) кільцеподібні,    | D. Система керування державою     |
| 5) типу повний граф, | E. Комп'ютер                      |
| 6) деревоподібні,    | F. Гальмівна система автомобіля   |
| 7) незв'язані.       | G. САПР                           |

Завдання 2. Визначте, які з наведених систем є:

- a) централізованими
- b) децентралізованими
- c) централізовано-розподіленими
- d) ієрархічними

## РОЗДІЛ 4. Класифікація систем

### 4.1 Класифікаційні ознаки

В основу будь-якої класифікації мають бути покладені характерні ознаки об'єктів класифікації. Наявність чи відсутність відповідної ознаки в об'єкті дозволяє віднести його до певного класу.

Класифікація – це перший крок при дослідженні системи. Найчастіше системи класифікуються за такими ознаками:

- призначення,
- ступінь взаємодії із зовнішнім середовищем,
- походження,
- спосіб організації,
- тип та характер взаємодії між елементами,
- спосіб керування,
- принципи функціонування.

За призначенням системи поділяються на *пасивні* та *цілеспрямовані* (активні).

*Пасивні* – це пристрої, що використовуються для виконання вимог, усвідомлених їх творцями (автомобілі, літаки).

*Цілеспрямовані* – сприймають потреби, щоб сприйняти і формувати дії з множини альтернативних для задоволення власних потреб. Їх цілі можуть змінюватися в часі, адаптуватися до середовища та змінювати його. З точки зору походження зручно скористатися такою класифікацією (рис. 3.1)

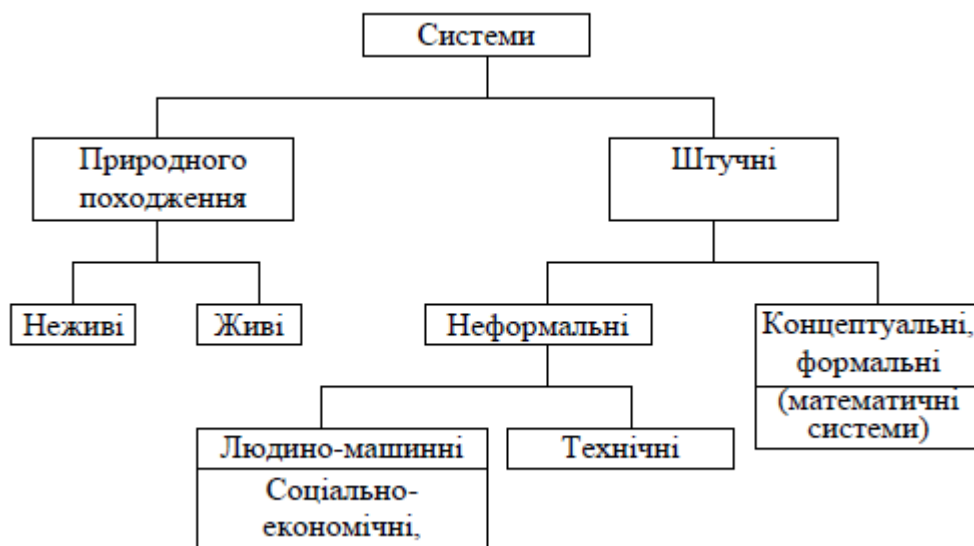


Рис. 4.1 Класифікація систем за походженням

За ступеню взаємодії із зовнішнім середовищем системи класифікуються на *відкриті* або *замкнені (автономні)*.

Відкрита система, яка досягає рівноваги стає замкненою. Цілеспрямовані системи є відкритими.

Відкриті системи можуть зберігати високий рівень організованості і розвиватися у бік збільшення складності.

Чисто замкнутих систем не існує. Вони розглядаються замкнутими виключно з точки зору якоїсь частини середовища.

Створені природою класифікуються на *живі* та *неживі*.

За елементами системи поділяються на *абстрактні* (символи, знаки, букви, цифри) та *фізичні* (предмети, явища, процеси).

За способом організації: структуровані і слабо структуровані.

За типом та характером взаємодії між елементами системи класифікуються на *прості* та *складні*.

За способом керування на: керовані ззовні, самокеровані та з комбінованим керуванням.

Одними із найбільш поширених класів систем є комп'ютеризовані (автоматизовані) системи управління. Їх особливість полягає в тому, що елементами такої системи є люди (персонал). Найчастіше за класифікаційну ознаку для таких систем вибирають принцип функціонування.

За принципом функціонування такі системи поділяються на транзакційні (протоколюючі), системи підтримки прийняття рішень та геоінформаційні системи.

Системи *транзакційного* типу виконують прості операції перетворення зв'язків між елементами вхідної інформації з метою формування вихідної. Вони фіксують одиничні моменти функціонування системи. При цьому елементи вхідної та вихідної інформації співпадають.

*Системи підтримки прийняття рішень* призначені для розв'язування більш складніших задач пов'язаних із перетворенням структури вхідної інформації на основі певних правил (знань) у вихідну інформацію, яка відрізняється від вхідної не тільки зміненими зв'язками, але і самими елементами. Як правило такі системи мають елементи штучного інтелекту, відрізняються наявністю великої кількості взаємопов'язаних алгоритмів функціонування. Окремі з них мають властивості самоорганізації та розвитку алгоритмів функціонування.

*Геоінформаційні системи* – це системи у яких управління процесами опрацювання інформації здійснюється за допомогою графічного інтерфейсу, виконаного на основі географічних, топографічних карт, планів. Такі системи можуть включати як елементи чисто систем транзакційного типу (транзакція посиляється вибором відповідного об'єкта на карті) так і елементи систем підтримки прийняття рішень.

#### 4.2 Поняття складних та великих систем

Одною із основних класифікаційних ознак є складність системи, яка визначається типом та характером взаємодії між елементами системи.

Складність не може бути висловлена за допомогою одного показника і її визначення залежить від галузі наук та застосування системи. Складність зазвичай необхідно виразити кількісно, хоча вона означає дещо якісне. Необхідно розрізняти *статичну* та *динамічну* складність. Статична складність - це внутрішня складність системи, а динамічна – це складність керування системою.

*Важкість і складність* є різні поняття. Складна проблема є слабо структурованою і має велику кількість розв'язань, які своєю чергою мають багато призначень. Для складних систем властивими є різні системні моделі, які описують її різні сторони та різну глибину проникнення.

Для вимірювання складності кількісно використовують різні концепції:

- алгоритмічна, яка визначає складність довжиною алгоритму відтворення системи;
- обчислювальна – пов'язує алгоритмічну складність та обчислювальні ресурси;
- інформаційна – розуміє складність з точки зору ентропії системи;
- статистична – характеризує складність через міру затрат на розпізнаваність розподілів ймовірностей;
- теоретико-множинна, інтервальні концепція складності – характеризує складність через міру затрат на забезпечення розпізнаваності множин значень
- логічна – побудована на аналізі предикатів, які характеризують систему;
- множинна – визначає складність як кількість елементів системи

*Алгоритмічна складність* базується на понятті функції, що може бути обчислена за допомогою алгоритму при його реалізації машиною Тьюринга. Алгоритмічна складність задає складність описання алгоритму розв'язання задачі. Такий підхід дозволяє порівнювати складність тільки в межах визначеного класу задач.

Алгоритмічна складність доповнюється *обчислювальною*, яка характеризує витрати різних обчислювальних ресурсів на розв'язування заданого класу задач. Міру обчислювальної складності характеризують також: надійність обчислень; можливість розпаралелювання обчислювального процесу; частоту звертань до складових комп'ютера та розподіл даних та проміжних результатів між постійною і оперативною пам'яттю.

*Інформаційна концепція* розглядає складність розв'язання оптимізаційних задач. Поняття “найкраще рішення” є не математичною проблемою, а проблемою СА. Достатньо часто для оцінки складності оптимізаційних задач розглядають її розмірність та необхідну точність отриманого результату, тобто обсягом інформації для отримання розв'язку. Однак тут також потрібно враховувати реальні витрати обчислювальних ресурсів та складність алгоритму реалізації обраного методу оптимізації.

*Статистична концепція складності* побудована на тому, що поведінка складних систем є не передбачуваною, але агреговані характеристики таких систем є статистично стійкими. Встановлення цих характеристик, перевірки апріорних гіпотез на яких вони

базуються вимагає відповідних обсягів спостережень, вартісна оцінка збирання якої є характеристикою складності.

*Теоретико-множинна, інтервальна концепція складності* також стосується поведінки систем в умовах невизначеності, коли агреговані характеристики систем можливо отримати в множинному (інтервальному) вигляді. Для забезпечення мінімальних розмірів множин значень чи функціональних коридорів характеристик необхідно отримати певні обсяги вихідної інформації з гарантованою точністю. Витрати на ці процеси характеризують складність об'єкта.

Отже за масштабністю і складністю системи розділяємо на *великі і малі* та на *складні і прості*.

*Великі системи* – це системи, які обов'язково розглядаються як сукупність підсистем. При цьому, для їх дослідження використовуємо два шляхи композицію та декомпозицію. Композиція – це є дослідження від елементів, підсистем до системи. Декомпозиція – коли нова інформація отримується зі знання системи загалом.

*Складні системи* – це цілеспрямовані для розв'язування багатоцільових задач і для їх опису використовують взаємопов'язаний комплекс моделей.

### 4.3 Класифікація керованих інформаційних систем

Цілеспрямоване втручання в перебіг процесів називають *керуванням*. Керування забезпечує стійкість системи у її взаємодії з зовнішнім середовищем та взаємодії елементів.

Класифікація систем за способом керуванням наведена на рис. 4.2.

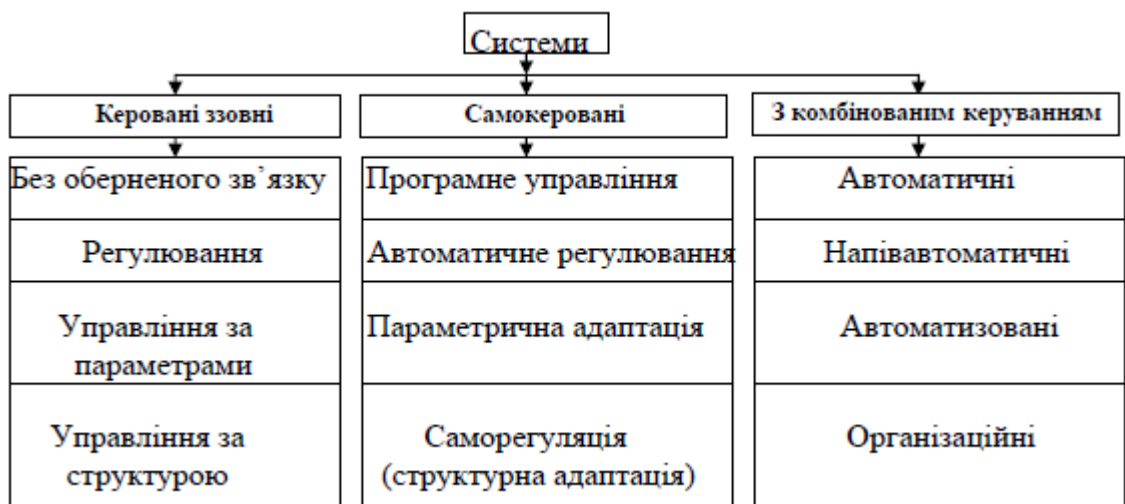


Рис. 4.2 Класифікація систем за способом керуванням

Для систем у яких є зовнішнє керування, процеси керування реалізуються зовні системою керування. Спосіб *регулювання* полягає в оцінюванні існуючого стану, порівнянні з бажаним і виробленні додаткового керування, яке повертає систему до бажаного стану.

*Параметрична адаптація* полягає у підлаштуванні параметрів системи з метою досягнення бажаного стану системою.

Якщо при адаптації параметрів системи бажаний стан не досягається, то необхідно здійснювати процедури *структурної адаптації*. Системи з *самоорганізацією* здатні змінювати свою структуру та оточуюче середовище

### Контрольні запитання

1. Для чого потрібна класифікація систем?

2. За якими ознаками здійснюється класифікація систем?
3. Які системи називають замкнутими?
4. Дайте визначення великої системи.
5. Яку систему можна назвати добре організованою?
6. Що розуміється під класифікаційною ознакою системи?
7. Визначте додаткову класифікаційну ознаку та типізуйте види систем за цією ознакою.

### Задачі для самостійного розв'язання

1. Провести класифікацію систем (однієї технічної та однієї соціально-економічної). Результат занести в табл. 1. Варіанти систем отримати з табл. 2.

Таблиця 1

Найменування об'єкту класифікації:

	Ознака класифікації	Тип об'єкта за ознакою	Обґрунтування приналежності

2. Провести опис систем, навести повні відповіді за такими пунктами:

- визначення основної мети функціонування системи;
- дати аналіз системи за всіма основними ознаками;
- визначити корисність (потреба) системи суспільства (людини);

Таблиця 2

Приклади систем

нт	Варіа	Технічна система	Соціально-економічна система
	1	САПР	Бутик
	2	Вантажівка	Птахофабрика
	3	Вентилятор	Швачна майстерня
	4	Кондиціонер	Готель
	5	Піаніно	Музей
	6	Телевізор	Ректорат

## РОЗДІЛ 5. Методологія системного дослідження

### 5.1 Системне дослідження: етапи і кроки

Методологія системного дослідження, орієнтована на дослідження існуючих систем та виявлення проблем.

Методологія є абстрактною схемою, що визначає послідовність орієнтуючих дій, тобто дослідження конкретної системи буде більшою або меншою мірою відрізнятися від розглянутих схем.

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

#### I. Формування загальних уявлень про систему

1. Виявлення призначення, мети, головних цілей, функцій, властивостей системи. Формування (вибір) основних предметних понять, що використовуються в системі.

Необхідно виявити основні результати діяльності (виходи) системи, визначити їх тип: інформаційні, матеріальні, енергетичні; поставити їм у відповідність певні поняття (вихід підприємства — продукція; яка?, вихід системи проектування — документація (що

саме? які описання, креслення?), вихід системи управління — сигнали (для чого? в якому вигляді?).

2. Виявлення основних складових (модулів) системи та їх функцій; розуміння єдності цих складових в межах системи.

Попереднє ознайомлення з внутрішнім змістом системи, виявлення агрегованих (узагальнених) складових системи, їх значення в системі. Отримання первинної інформації про структуру та характер основних зв'язків та системотворчих відношень у системі.

Таку інформацію зручно представляти у вигляді різноманітних структурних схем системи, на яких виявляється характер руху потоків у системі (паралельний, послідовний), взаємодія між складовими.

Результатом цього етапу є структурна схема системи в тому чи іншому представленні залежно від мети дослідження та домовленостей, що вживаються в досліджуваній предметній області. Особливу увагу слід звернути на виявлення системотворчих відношень та факторів, тобто того, що в першу чергу робить систему системою.

3. Виявлення основних процесів у системі, їх значення, умов перебігу, етапності, стрибків, змін стану та інших особливостей в функціонуванні системи, виокремлення основних керуючих факторів.

Вивчається динаміка найважливіших змін в системі, перебіг подій, вводяться параметри стану, аналізуються фактори, що змінюють ці параметри та забезпечують перебіг процесів, умови початку та завершення процесів. Вивчається керованість процесів та їх вплив на здійснення системою своїх основних функцій, класифікуються основні керуючі дії, їх тип, джерела та ступінь впливу на систему.

4. Виявлення основних елементів оточення системи (не-системи), з якими пов'язана система, що вивчається, характеру зв'язків системи з елементами оточення.

Досліджуються зовнішні дії на систему (входи системи), їх тип (інформаційні, матеріальні, енергетичні), ступінь впливу на систему, основні характеристики. Фіксуються межі того, що вважається системою,

виявляються елементи оточення, на які спрямовані вихідні дії системи («не-система»). Досліджується еволюція системи, шлях її формування, що в багатьох випадках полегшує розуміння структури та особливостей функціонування системи. У результаті отримується чіткіше уявлення про основні функції системи, її залежність, вразливість чи невразливість від зовнішнього середовища.

5. Виявлення невизначеностей та випадковостей у ситуаціях визначального впливу їх на систему.

Цей крок виконується у випадку, коли дія невизначеностей та випадковостей у процесі функціонування є значною.

Після виконання п. 5 загальні уявлення про систему будуть сформованими. Зазвичай отриманої інформації достатньо, якщо досліджуються системи, з якими надалі не передбачається безпосередньої праці. Якщо ж систему необхідно глибоко вивчати, покращувати, керувати нею, то необхідним є поглиблене її вивчення.

## **II. Формування поглиблених уявлень про систему**

6. Виявлення розгалуженої структури, ієрархії, формування уявлень про систему як про сукупність модулів, що пов'язані входами-виходами.

7. Виявлення всіх елементів та зв'язків, важливих для цілей розгляду, їх співвіднесення до ієрархії системи, ранжування елементів та зв'язків за важливістю.

Кроки 6 та 7 тісно пов'язані один з одним. Крок 6 — це межа пізнання «всередині» достатньо складної системи для особи, що оперує системою загалом. Глибші знання про систему будуть мати лише фахівці, що відповідають за окремі її частини. Для не дуже

складних систем рівень кроку 7 може досягнути і одна людина. Пізнання системи — це не просто відділення суттєвого від несуттєвого, але й більша увага до суттєвішого. Деталізація стосується і зовнішніх зв'язків системи з «не-системою», оточуючим середовищем. Кроки 6—7 — це завершальні кроки цілісного вивчення системи. Подальші кроки розглядають вже окремі сторони, а тому важливо ще раз повернутися до розгляду системотворчих відношень та факторів, на роль кожного елементу та відношення для системи загалом, на розуміння того, чому вони повинні бути такими чи є такими з точки зору єдності системи.

#### 8. Врахування змін та невизначеностей у системі.

Досліджується повільна, зазвичай небажана зміна властивостей системи, «старіння», можливість заміни окремих складових, які не лише сповільнюють старіння, але й дозволяють покращити якість системи порівняно з початковим рівнем. Це можливості вдосконалення штучної системи, покращення характеристик її складових та додавання нових компонентів, накопичення інформації з метою кращого її використання, перебудова структури системи, розвиток.

Основні невизначеності в системі досліджені на кроці 5. Однак не-детермінованість присутня і в системі, що не призначена до функціонування в умовах випадкового характеру входів та зв'язків. Врахування невизначеностей у системі реалізується декількома шляхами.

По-перше, можна оцінювати «найгірші», в певному сенсі «граничні» можливі ситуації і на цьому ґрунті робити висновки про поведінку системи взагалі — цей спосіб ґрунтується на використанні принципу гарантованого результату, тобто забезпечення потрібного рівня функціонування системи за найгірших умов.

По-друге, на ґрунті інформації про стохастичні характеристики системи (математичне сподівання, дисперсія, моменти вищих порядків та ін.) визначаються ймовірнісні характеристики виходів системи. В цьому випадку отримуються певним чином «усереднені» або інтервальні характеристики системи.

По-третє, достатньо надійну систему можна побудувати й з ненадійних елементів шляхом дублювання та інших прийомів — математично оцінити такий підхід можливо шляхом застосування результатів теорії надійності.

Дослідження невизначеностей трансформується в дослідження чутливості найважливіших властивостей системи, тобто ступеня впливу зміни потоків на входах системи на зміну її виходів, структури системи та властивостей її елементів.

#### 9. Дослідження функцій та процесів у системі з метою управління ними.

Формування системи управління на ґрунті окремих керуючих дій

Для цілеспрямованих систем цей крок має важливе значення. Основні керуючі фактори вже розглянуті на кроці 3. Для ефективного управління та вивчення його впливу на функції та властивості системи необхідне глибоке знання системи. Тому аналіз управлінь реалізується лише на цьому кроці, після всебічного розгляду системи. Єдиний розгляд всіх цілеспрямованих втручань у поведінку системи є по суті аналізом системи керування, яка переплетена з основною системою, але чітко вирізняється з точки зору основної функції — керування.

Виявляється, де, коли і як (в яких елементах системи, в яких час, в яких процесах, стрибках, виборах, логічних переходах) система керування діє на основну систему, наскільки це ефективно, прийнятне та якісно реалізоване. При розгляді управлінь у системі повинні бути досліджені можливості переведення входів та деяких параметрів в керовані, визначені припустимі межі значень управлінь та способи їх реалізації.

Шляхом виконання кроків 6—9 реалізується поглиблене дослідження системи. Далі згідно цієї методології надходить моделювання системи. Деякі з властивостей системи доцільно вивчати на моделях й на кроках 6—9, однак про створення моделі системи можна вести мову лише тоді, коли система повністю вивчена.

### III. Моделювання системи як етап її дослідження



#### 10. Побудова сукупності моделей для описання системи.

На цьому кроці система розглядається з точки зору зручного відображення її властивостей для створення описання системи, придатного для передбачення її поведінки та виведення неочевидних властивостей. Точність моделювання повинна бути мінімальною, яка ще забезпечує відображення всіх важливих особливостей системи. Відсутність надлишкової деталізації — це зменшення об'єму вхідних даних, вимог до ресурсів моделюючого комп'ютера, але з іншого боку занадто проста модель не описує суттєві якісні особливості системи (є неадекватною системою) і приведе до формування неправильних висновків про поведінку системи. Знаходження межі розумної складності моделі є далеко не тривіальним завданням, і практично вона остаточно визначається в процесі моделювання на конкретних прикладах.

Отже, ставиться мета — створити таке описання системи, яке б дозволяло передбачати її поведінку та виявляти неочевидні властивості. Якщо на попередніх етапах можливим був розгляд моделей та системи без відділення одного від іншого, то тут їх необхідно розрізнити, а також чітко уявляти ступінь огрублення та наближеності моделі.

#### IV. Супровід системи

Накопичення досвіду роботи з системою та її моделлю, уточнення інформації про систему, вдосконалення моделей.

Перевірка та дослідна експлуатація наших знань про систему, їх достатності та відповідності в процесі роботи з системою та її моделлю. При виявленні невідповідностей між передбачуваною та дійсною поведінкою системи можливо потрібен буде перегляд аналізу структури та ієрархії для знаходження неправильно визначених елементів та відношень і доповнення новими. Ще раз перевіряється ступінь адекватності моделі системі. Накопичення досвіду має ще значний психологічний ефект для користувачів.

12. Оцінка граничних можливостей системи, дослідження відмов, виходів з ладу, відхилень від норми.

Працездатність системи перевіряється її періодичним або постійним тестуванням. Набір таких тестів може бути достатньо складним і сам утворювати систему, що включатиме опрацювання та розшифрування результатів тестування, їх комплексний аналіз. Відмови та інші незаплановані явища вивчаються з точки зору ймовірності їх виникнення, попереджувальних заходів, варіантів реагування на них.

13. Розширення функцій (властивостей) системи, зміна вимог до неї, нове коло задач, нові умови роботи, включення системи елементом в систему вищого рівня.

Реалізується часткова зміна призначення системи та пов'язана з цим перебудова її функціонування. Необхідно визначити всі відмінності нової ситуації, її вплив на наявну структуру та властивості елементів, систему керування, наскільки і яким чином можна їх модифікувати.

Включення системи в якості елемента до певної макросистеми вимагатиме перегляду основних зв'язків з «не-системою» (макросистемою та оточенням). Формулювання вимог з боку макросистеми може викликати необхідність перегляду всіх основних системних понять та зачепити всі етапи дослідження.

Особливості створення нової системи Ця ж методологія може застосовуватися і у процесі створення нової системи. Послідовність етапів залишається такою ж, але змінюється їх спрямованість — по суті вони будуть етапами «попереднього проектування», після чого, власне, виконується етап створення нової системи.

Отже, оскільки системний аналіз застосовується для розв'язування найрізноманітніших задач із застосуванням найрізноманітнішого інструментарію, послідовність загальних етапів системного аналізу фіксується у вигляді методології. Однак, аналізуючи роботи різних авторів, виявляється, що й на рівні методології пропонуються різноманітні послідовності дій, хоча слід відзначити спільність поглядів та принципову єдність підходів до поділу процесу системного аналізу на етапи.

## Контрольні запитання

1. Поясніть, що таке методологія системного дослідження?
2. Назвіть основні етапи системного дослідження.
3. Які кроки необхідно зробити на кожному з етапів – назвіть та опишіть їх.
4. Як ви вважаєте, чи можна міняти етапи місцями? Обґрунтуйте свою думку.

## Задачі для самостійного розв'язання

Виконати дослідження успішності реалізації проектів із використанням методології системного дослідження.

1. Проект будівництва багатоквартирного житлового комплексу по вул.Старосінна площа за залізничним вокзалом.
2. Проект будівництва автозаправної станції (АЗС) в районі 6-го кілометра.
3. Проект будівництва трамвайного парку на території сел. Чорноморка.
4. Проект будівництва великого кіноконцертного комплексу в районі стадіону Динамо.
5. Проект будівництва метро, що зв'язує такі міста як Одеса, Південний і Теплодар.
6. Проект будівництва міжнародного торгово-економічного комплексу по вул. Соборна площа.
7. Проект будівництва бібліотеки в районі Аркадії.

## РОЗДІЛ 6. Моделювання в системному аналізі

### 6.1 Моделювання як процес пізнання

*Моделювання* є одним із способів пізнання. Моделювання слугує для розв'язування тих завдань, які не можуть бути розв'язані безпосередньо на об'єкті, наприклад коли він не існує.

*Метод моделювання* полягає в заміні деякого об'єкта іншим об'єктом, який володіє подібними властивостями, але дослідження якого економічно вигідніше. Тобто методи моделювання є одним із способів опосередкованого пізнання. Моделювання це завжди є співставлення відомого з невідомим по *аналогії*.

*Аналогія* це твердження про схожість в різних об'єктах. Ґрунтуючись на аналогії в дослідженнях висуваються *гіпотези-передбачення*, які перевіряються шляхом експерименту.

*Модель* є провідною ланкою між дослідником та об'єктом, виконує функції замітника об'єкта та дозволяє отримати нові знання про цей об'єкт.

При моделюванні можливі різні рівні аналогій. Найвищий рівень аналогії - коли модель тотожна самому об'єкту. Однак в цьому випадку втрачається зміст моделювання. З іншого боку надмірне спрощення моделі призводить до невідповідності із досліджуваним об'єктом.

Основними функціями моделей систем є *пізнавальні* та *прагматичні*. Вони можуть використовуватися як засоби:

- осмислення дійсності;
- формального опису причинно-наслідкових зв'язків та структури системи;
- навчання, імітації та прогнозування поведінки системи;
- імітаційного експерименту;
- використання в задачах управління та оптимізації. Системний аналіз використовує апарат моделювання для розв'язування

задач дослідження об'єкта, проектування нової системи та організації управління. При цьому властивості системи переважно відображаються комплексом моделей.

Інший системний аспект моделювання полягає в тому, що діяльність дослідника є цілеспрямованою на досягнення певної мети, бажаного стану, який розглядається як деяка модель. Процес формування плану чи алгоритму діяльності базується на моделюванні з метою прогнозування наслідків діяльності. В цьому сенсі *моделювання виступає як обов'язкова дія в цілеспрямованій діяльності*.

Модель також виступає як *цільове відображення* властивостей об'єкта, тобто відображаються ті властивості, які відповідають основній цілі.

*Прагматичний аспект* моделювання полягає в тому, що його результатом є не тільки відображення властивостей, але і формування вимог до того що потрібно досягнути, тобто до бажаного стану системи. Наприклад моделі можуть використовуватись як засіб знаходження оптимальних рішень, оптимального управління, оптимальної організації, тощо.

Основними властивостями моделі є її *скінченність (повнота)*, складність (спрощеність) та точність (наближеність) по відношенню до реальної системи.

У моделі відображається *скінчена* кількість відношень елементів системи. Хоча об'єкти моделювання можуть бути також скінченими. Наприклад, коли будується модель якоїсь моделі (на основі комп'ютерної моделі будується її відображення в аналітичному виразі).

*Спрощеність* моделі обґрунтовується необхідністю оперування нею, наприклад, із застосуванням обчислювальної техніки, ресурси якої є обмеженими. Принцип леза Оккама гласить, що *з двох адекватних моделей ближчою до дійсності природи явища є та, що простіша. Простота – це печать істини* (древні схоласти).

Оцінка *складності* моделі досліджується при визначенні структури моделі (*структурної ідентифікації*). Кількісні оцінки складності можуть бути отримані тільки для фіксованого класу моделей. Наприклад, вони можуть визначатися кількістю елементів, згідно алгоритмічної чи обчислювальної концепції. Тобто згідно концепцій визначення складності систем.

*Наближеність (точність)* моделей має більш кількісне вираження ніж *скінченність* та *складність*. Для перевірки наближеності достатньо порівняти властивості отримані згідно моделі із властивостями оригіналу.

*Адекватність* є основною характеристикою побудованої моделі. Модель адекватна об'єкту якщо результати моделювання слугують для прогнозування поведінки реального об'єкта.

Поняття *адекватності* слугує для оцінки рівня виконання вимог *повноти та точності*, необхідного для досягнення мети моделювання. *Ступінь адекватності моделі* перевіряється експериментальним шляхом на основі введення міри адекватності.

В цілому існує розумний компроміс між складністю моделі та адекватністю відображення нею властивостей об'єкта. Як правило при цьому модель описує деякі сторони функціонування та деякі необхідні для відображення властивості системи.

Процес моделювання пов'язаний із виконанням певних етапів дослідником результатом кожного з яких є певні системи знань або їх знакове (формальне) відображення.

На першому етапі отримується відображення об'єкта у свідомості дослідника у вигляді системи знань. Це відображення є *гомоморфним*.

*Гомоморфне* відображення означає, що кожному елементу та зв'язку об'єкта, що моделюється, відповідає один елемент та зв'язок системи знань про об'єкт у свідомості дослідника, а протилежне відображення не існує.

На другому етапі отримується система уявлень про модель об'єкта, яка також є гомоморфним відображенням системи знань про об'єкт.

На третьому етапі система уявлень про модель об'єкта *ізоморфно* відображається у модель об'єкта чи явища, що моделюється. *Ізоморфізм* вказаного відображення полягає у тому, що кожному елементу та зв'язку системи уявлень про модель об'єкта відповідає один і тільки один елемент моделі об'єкта і існує протилежне відображення.

В цілому між системою (об'єктом, що моделюється) і її моделлю існує гомоморфне відображення, що підтверджує множинність моделей будь-якої системи, а процес моделювання є ітераційним.

## 6.2 Класифікація моделей

Основними класифікаційними ознаками моделей є:

- акценти дослідження системи;
- властивості областей зміни параметрів та змінних;
- спосіб опису невизначеності;
- урахування інерційності;
- спосіб задання відношень між параметрами та змінними;
- призначення
- форма представлення властивостей системи.

Якщо акценти при дослідженні системи зміщуються в напрямку пізнання внутрішньої побудови системи, то розглядають *моделі структури*. У випадку, коли найважливішим є встановлення властивостей системи які проявляються при взаємодії її із зовнішнім середовищем, то розглядають моделі *чорної скриньки* (“вхід-вихід”).

Моделі “вхід-вихід” відображають основні властивості системи, ізолюваність і зв'язок із зовнішнім середовищем, а також неможливість повної ідентифікації всіх властивостей.

Модель структури відображає сукупність елементів і зв'язків між ними як відносно незмінну.

Залежно від властивості областей зміни параметрів та змінних моделі поділяють на *неперервні* (аналогові), *дискретні* та *дискретно-неперервні*.

У *неперервних* моделях елементи моделі є неперервними. У *дискретних* – параметри та змінні приймають значення з дискретних множин.

Залежно від опису невизначеності моделі поділяють на: *детерміновані, стохастичні, теоретико-множинні*.

*Детерміновані моделі* – не містять невизначеності і є певним ідеалом. Навіть у випадку відсутності стохастичних чи непередбачених процесів у кожній моделі існує певна міра невизначеності, пов'язана із такими її властивостями як скінченність та наближеність.

У *стохастичних* моделях змінні та параметри представляються випадковими величинами. Характеристиками цих випадкових величин є закони розподілу чи їх параметри, або статистичні оцінки цих законів і параметрів.

*Теоретико-множинні* моделі містять параметри та змінні, представлені у вигляді множин гарантованих чи допустимих значень, або у вигляді нечітких множин із відомими функціями належності. Одним із підкласів таких моделей є інтервальні моделі які описують властивості системи інтервалами можливих значень, або функціональними коридорами.

Залежно від ступеня урахування фактору часу моделі поділяються на *статичні* (без інерційні) та *динамічні*.

У *статичних* моделях припускається відсутність перехідного процесу. Тобто, що система миттєво реагує на будь-яке збурення. Статичні моделі описуються алгебраїчними рівняннями. Статичні моделі можуть також відображати динаміку, але в фіксований момент часу. Послідовність статичних

моделей може повністю описати зміну станів системи у часі. У цьому випадку використовують рекурентні співвідношення у вигляді різницевих рівнянь.

*Динамічні моделі* враховують фактор інерції системи при поведінці системи. Такі моделі описуються інтегро-диференціальними рівняннями із змінною часу.

За способом задання відношень між параметрами та змінними моделі поділяються на *лінійні* та *нелінійні*. *Лінійні моделі* як правило описують прості системи, що не володіють властивістю *синергізму*, або за значного спрощення при відображенні властивостей системи.

За призначенням моделі поділяють на *deskриптивні* та *нормативні*. *Deskриптивні* – це описові моделі. *Нормативні моделі* – включають критерії оцінки якості функціонування системи. Такими моделями є оптимізаційні моделі. Нормативні моделі описують норми функціонування системи і обов’язково включають deskриптивні моделі.

В залежності від форми представлення властивостей системи моделлю виділяють: *мисленні та реальні моделі*.

Мисленні моделі відображаються аналоговими, макетування, знаковими

В *аналогових моделях* властивості системи представляються іншою властивістю аналогічної за поведінкою моделі.

*Макетування*, це відображення властивостей системи за допомогою макету – спрощеного образу системи.

*Знакове моделювання* – це процес створення логічного об’єкту в заміні реального за допомогою певної системи знаків або символів. Знакові моделі є *формальними*. Тобто усі властивості системи описуються строго формальною мовою, що дозволяє уникнути подвійного трактування опису.

Серед знакових виділяється *математичне моделювання*, яке є процесом встановлення відповідності між реальною системою і математичним об’єктом.

*Математичні моделі* поділяються на аналітичні та імітаційні.

*Аналітичне математичне моделювання* передбачає запис процесів функціонування системи у вигляді співвідношень інтегро-диференціальних та алгебраїчних виразів.

*Імітаційне моделювання* – реалізація моделі або сукупності моделей системи за допомогою алгоритму, який відтворює процес функціонування системи в часі, тобто її динаміку.

*Реальне моделювання* – дослідження характеристик системи на реальній системі, або на її подібній частині. З реальним моделюванням пов’язані процеси експериментального дослідження системи, натурний та науковий експерименти, комплексні випробування.

### 6.3 Короткий запис моделей

Короткий запис моделі системи дозволяє у певній мірі проілюструвати розглянуті вище класифікаційні ознаки на формальному рівні.

Цей запис моделі системи має такий вигляд:

$E: \langle X, Y, B, A, T, W, F \rangle$

X – множина “входів” системи.

Y – множина “виходів” системи.

B – множина постійних параметрів системи.

A – множина змінних параметрів системи.

T – множина параметрів процесів в системі.

W – оператор динаміки, який дозволяє відобразити множини X, T, B у множину A  
 $W(X, T, B) \rightarrow A$

F – оператор системи, який дозволяє множини X, T, B, A відобразити у виходи, описує основні функції системи, мету і призначення

$F(X, T, B, A) \rightarrow Y$ .

Якщо в моделі системи відсутні параметри процесу, тоді  $F$  відображає  $F(X, V) \rightarrow Y$ . Моделі із таким оператором є статичними.

Якщо присутні параметри процесів, то  $F$  відображає модель динамічної системи.

Залежно від запису моделі системи і властивостей її множин, розрізняють різні методи моделювання.

Якщо всі множини в даній моделі є неперервними, то отримуватимемо неперервні моделі.

За умов дискретності множин  $X, T, V, A$  модель системи буде дискретною, хоча найчастіше дискретним моделям властивий дискретний спосіб задання множини параметрів процесів в системі.

Якщо оператор  $F$  лінійний, тобто відношення між множинами є лінійними, то модель системи буде лінійною, в іншому випадку - нелінійною.

Залежно від лінійності відношень між окремими множинами у моделях розрізняють лінійні чи нелінійні моделі за входами (відношення між входами та виходами), лінійні чи нелінійні за параметрами (відношення між параметрами та виходами).

Якщо хоча б одна із множин  $X, T, V, A$  в складі моделі формується за умов невизначеності, то модель є стохастичною чи інтервальною.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке модель?
2. Опишіть схему абстрактної моделі.
3. Що стосується вхідних параметрів системи?
4. Що стосується вихідних параметрів системи?
5. Що характеризують параметри системи?
6. Назвіть види моделювання, напишіть їх.
7. Опишіть два підходи до побудови математичної моделі.
8. Напишіть процедуру побудови математичної моделі реальної системи.

### **Задачі для самостійного розв'язання**

1. Дослідити зміни атмосферного тиску в системах вентильованих фасадів використовуючи барометричний метод виміру висоти.

2. Дослідити процес подолання літаком звукового бар'єру (з використанням формули числа Маха).

3. Дослідити 2-D систему, в якій частка переміщається в площині  $(x, y)$ . Дослідження побудувати таким чином, щоб до кожної координати  $x$  і  $y$  щоразу додавати випадкові числа. Для цього застосувати генератор випадкових чисел з нормальним розподілом.

4. Дослідити процес дифузії (змішування кольорів) за допомогою кінцево-різницевого методу (ітераційної формули).

5. Дослідити розвиток та згасання епідемії як системного процесу.

## **РОЗДІЛ 7. Методологічні аспекти моделювання із застосуванням системного підходу.**

### **7.1 Аксиоматичний підхід дослідження систем**

Аксиоматичний підхід є найбільш поширених підходів при формальному дослідженні систем. Його особливістю є те, що модель будується на певних базових припущеннях, які не вимагають теоретичного обґрунтування – *аксіомах*.

Окрім базових припущень про внутрішні системні механізми, що вивчаються, при аксіоматичному підході важливим є припущення про достатність математичної моделі для досягнення мети моделювання.

Основними вимогами до базових припущень є:

- несуперечність системи аксіом;
- абстрактність, яка включає терміни та символи формальної мови, вислови на них побудовані, які формують математичні вирази для опису характерних властивостей системи чи правила виведення нових виразів.

Базові припущення формуються на основі змістовного (вербального) описання функціонування системи. Процес побудови аксіоматичної моделі вимагає інтерпретації та переведення змістовного описання на мову строгих математичних відношень та термінів. При цьому усуваються багатозначність трактування, неповнота, неясність та неконкретність властиві змістовному описанню.

Послідовність досліджень при аксіоматичному підході.

1. Відображення уявлень дослідників про систему за допомогою змістовного опису системи.
2. Формалізація змістовного опису та побудова системи аксіом – як уявлень про майбутню модель системи.
3. Отримання моделі системи на основі аксіом шляхом гомоморфного відображення реальних властивостей системи за допомогою формалізованого виведення.
4. Інтерпретація моделі на основі пояснення теоретичних результатів – як відображення результатів діяльності реальної системи. Перевірка достовірності, точності, повноти моделі та встановлення меж змістовної відповідності.
5. Побудова теорії за результатами інтерпретації та визначення меж її застосування. Пояснення за допомогою теорії відомих фактів поведінки системи.
6. Застосування теорії з метою виявлення нових властивостей системи.
7. Експериментальне підтвердження отриманих результатів застосування теорії.

Аксіоматичний підхід добре зарекомендував себе при побудові детермінованих моделей та при розв'язуванні проблем, що можуть бути строго формалізовані. Складні ж проблеми, є слабо структурованими і не можуть бути повністю формалізовані. Як правило аксіоматичний підхід можна з успіхом застосовувати для дослідження окремих підсистем та елементів у детермінованому середовищі.

## 7.2 Метод «чорної скриньки»

Кибернетичне трактування неможливості повної ідентифікації усіх властивостей системи, її структури втілилося в ідеї «чорної скриньки».

Моделі «чорної скриньки» дозволяють відобразити ті входи та виходи системи необхідні для вивчення однієї з сторін її функціонування, тому називаються моделями «вхід-вихід». При побудові такої моделі встановлюється відношення між цими входами та виходами. Модель «вхід-вихід» відображає основні властивості системи, такі як цілісність та відносна ізольованість через наявність зв'язок із зовнішнім середовищем.

При побудові моделі «вхід-вихід» проблемою є визначення тих входів та виходів, які необхідно включати до складу моделі, оскільки при вивченні системи модель постійно модифікується. Реальна система взаємодіє із середовищем через нескінченну кількість способів, тобто через нескінченну кількість входів та виходів. Критерієм відбору цих входів та виходів є цільове призначення системи, суттєвість того чи іншого зв'язку системи із середовищем. У моделі ми вимушені відображати скінченну кількість взаємодій і тим самим існує висока ймовірність не включення саме тих входів та виходів, які найбільш суттєво визначають властивості системи.

Складність проблеми відбору найбільш значущих входів та виходів посилюється ще й тим, що невиключені зв'язки із зовнішнім середовищем не зникають, а певним чином діють незалежно від нас і тим самим ускладнюють вивчення поведінки системи.

При побудові моделей “вхід-вихід” невраховані та невідомі зв'язки із зовнішнім середовищем представляють за допомогою *спрощених моделей невизначеності*. Сучасні підходи до побудови моделей “вхід-вихід” побудовані на відображенні однієї з таких форм невизначеності: *стохастичної* та *теоретико-множинної*, або їх комбінації.

У цих випадках модель система розглядається у вигляді “чорної скриньки”, зображеної на рис. 6.1.

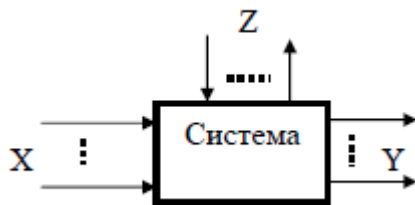


Рис. 6.1

У випадку прийняття гіпотези про випадкову (імовірнісну) природу дії неврахованих та невідомих зв'язків із зовнішнім середовищем використовують стохастичну форму невизначеності. Суть її у кількісному виразі зводиться до того, що дія середовища на систему і системи на середовище відображається у випадкових змінах характеристик контрольованих і врахованих зв'язків. Для дослідження випадкових змін цих характеристик використовують методи статистичного оцінювання. В результаті такого дослідження знаходять оцінки сумісної функції щільності розподілу ймовірностей випадкових величин  $W(Z)$  чи оцінки основних моментів.

Теоретико-множинна форма невизначеності виникає в тому випадку, коли природа дії неврахованих та невідомих зв'язків із зовнішнім середовищем невідома. Тоді у кількісному виразі дія середовища на систему і системи на середовище відображається в характеристиках контрольованих і врахованих зв'язків у вигляді належності значень цих характеристик певним відомим множинам. цих зв'язків певним множинам. Якщо ці множини визначені у нечітких з точки зору математики термінах, то для опису невизначеності використовують теорію нечітких множин. і про них можна тільки сказати, що вони змінюються в певних межах. Частковим випадком опису теоретико-множинної форми невизначеності є інтервальне представлення характеристик системи, тобто у вигляді інтервалів можливих значень.

Процедури перевірки гіпотез про форми невизначеності побудовані на аналізі експериментальних даних, способі їх отримання та природи формування.

Залежно від способу опису форм невизначеності при побудові моделей “вхід-вихід” використовують різні підходи до моделювання: детермінований, стохастичний та теоретико-множинний чи інтервальний. Кожен із вказаних підходів визначатиме відповідну методологію побудови моделей “вхід-вихід”.

### Контрольні запитання

1. Поясніть, що таке аксіоматичний підхід в системному аналізі?
2. Що таке базові припущення та які основні вимоги до них?
3. Наведіть послідовність дій при аксіоматичному підході.
4. Опишіть модель «чорної скриньки».
5. Які складності виникають в процесі побудови моделі «вхід-вихід»?

### Задачі для самостійного розв'язання



Примітка. Модель структури призначена для відображення взаємозв'язків (відносин) між елементами даної системи. Модель структури можна розглядати як доповнення моделі складу, яка відтворює елементи системи. Однак, як правило, перелік одних тільки відносин між елементами без самих цих елементів не робиться. Тому модель структури є найбільш повною моделлю, що характеризує як склад основних елементів, так і взаємозв'язку між ними. При побудові моделі структури виділяються види відносин, виходячи з яких вибираються елементи, які беруть участь в цих відносинах.

Завдання. Наведіть власні приклади реальних систем, в яких спостерігаються наступні типи відношень:

- «Частина-ціле».
- «Вид-род».
- «Управляти роботою».
- «Забезпечувати роботу».
- «Роль-виконавець».
- «Причина-наслідок».

## **РОЗДІЛ 8. Аналітичний та синтетичний підходи в системному аналізі.**

### **8.1 Аналіз та синтез при дослідженні складних систем.**

Протиріччя між необмеженістю бажання людини пізнати світ та обмеженістю існуючих можливостей це зробити, між безмежністю природи та скінченністю ресурсів людства привели до того, що у процесі пізнання ці протиріччя розв'язуються поетапно за допомогою аналітичного та синтетичного мислення.

Суть аналізу полягає в поділі цілого на компоненти, представленні складного у вигляді сукупності простіших компонент.

Але, щоб пізнати ціле, складне, необхідний обернений процес — синтез. При аналітичному підході до дослідження систем телеологічний (цільовий) аспект її функціонування практично не розглядається. Модель системи будується на ґрунті вивчення окремих підсистем та елементів з наступним формулюванням локальних цілей, які відображають окремі сторони процесу моделювання. Далі, використовуючи отриману інформацію, створюються окремі компоненти моделі, об'єднання яких утворює модель системи. Такий підхід виправданий у тих випадках, коли компоненти системи відносно незалежні і, як наслідок, різні сторони функціонування системи можуть бути досліджені також відносно незалежно. Використовуючи аналітичний підхід, дослідник вивчає систему «зсередини», маючи обмежений горизонт, тобто в стані досягнути лише одну або в кращому разі декілька компонент системи зі зв'язками між ними. Очевидно, що при цьому губиться уявлення про мету функціонування системи як єдиного цілого, і дослідник головним чином вивчає властивості компонент, тобто не в стані досягнути емерджентні властивості системи.

Успіх та значення аналітичного підходу полягає не лише в тому, що складне поділяється на все менш складні частини, а в тому, що з'єднавши ці частини відповідним чином, знову утворюється єдине ціле. Цей момент агрегування складових в ціле і є остаточним етапом аналізу, тому що лише після цього ми можемо пояснити ціле через його частини у вигляді структури цілого.

Однак цілісність системи має величезне значення, що особливо підкреслювалося Р. Акофом. Цілісність при аналізі порушується, при розчленуванні системи втрачаються не лише суттєві властивості системи («розібраний автомобіль не поїде»), але й зникають і суттєві властивості частин системи («відділене кермо автомобіля не кермує, відділене око не бачить»). Тому за Акофом результатом аналізу є лише відкриття структури, знання того, як система працює, а не розуміння того, чому і навіщо вона це робить.

Аналітичний метод дозволяє досягнути найвищих результатів за умови, що ціле вдається розділити на незалежні одна від одної частини, оскільки в цьому випадку їх окремий розгляд дозволяє скласти правильне уявлення про вкладення їх в загальний ефект. Однак випадки, коли система є сумою складових, зустрічаються надзвичайно рідко. Зазвичай вклад частини в загальносистемний ефект залежить і від вкладів інших складових. Внаслідок цього автономно частина може функціонувати якнайкраще, але загалом ефект функціонування буде далеко не найвищим.

При аналізі «неадитивних» систем основне значення має дослідження не окремих складових, а їх взаємодії, що є значно складнішим завданням. Ідеалом, остаточною метою аналітичного методу є встановлення причинно-наслідкових зв'язків між явищами. Дещо вважається пізнаним і повністю зрозумілим лише в тому випадку, коли відома його причина ( сукупність умов, необхідних та достатніх для реалізації наслідку). Однак така ситуація в багатьох випадках є недосяжною, і навіть в тих випадках, коли є причинно-наслідковий опис, все інше повинно бути виключеним. Для причинно-наслідкового описання не існує поняття оточуючого середовища, оскільки для наслідку нічого, окрім причини, не потрібно (приклад — закон всесвітнього тяжіння, справедливий тоді, коли відсутні всі сили, окрім сили тяжіння).

У випадку складних систем виключення на перший погляд «непотрібних» чи «нецікавих» взаємодій може суттєво порушити адекватність моделі і є в багатьох випадках принципово неможливим. Для описання таких ситуацій використовується дві можливості: або відобразити «безпричинну» компоненту через «об'єктивну випадковість» чи «суб'єктивну невизначеність» (чи їх комбінацію), або виходити з того, що відношення «причина-наслідок» є не єдиною можливим способом для описання взаємодії. В останньому випадку застосовується модель «продуцент — продукт», яка виходить з того, що для здійснення продукту продуцент є необхідною, але не достатньою умовою ( для дуба жолудь є продуцентом, оскільки окрім нього для виростання дуба потрібні й інші умови ). У відношенні «продуцент-продукт» для отримання продукту необхідні й інші умови окрім продуцента, які й утворюють оточуюче середовище. Причинно-наслідковий зв'язок у цьому випадку є граничним ідеальним випадком зв'язку «продуцент-продукт», до якого можна наблизитися, але досягнути якого не завжди можливо.

Отже, не лише аналітичний метод неможливий без синтезу (агрегування частин в структуру), але й синтетичний метод неможливий без аналізу (необхідна дезагрегація цілого для пояснення функцій частин) . Аналіз і синтез доповнюють, але не замінюють один одного. Системне мислення суміщає обидва ці методи на основі розгляду призначення складної системи.

## **8.2 Основні операції аналізу та синтезу: декомпозиція та агрегування.**

При застосуванні як аналітичного, так і синтетичного підходів виникають обов'язкові кроки, в яких необхідно розкласти ціле на складові (здійснити декомпозицію), або об'єднати складові в ціле (здійснити агрегування).

Основною операцією аналізу є декомпозиція — поділ цілого на частини. Задача розпадається на підзадачі, система — на підсистеми, мета — на підцілі. При необхідності цей процес повторюється, що приводить до побудови ієрархічних деревовидних структур — дерев декомпозиції. Зазвичай об'єкт аналізу є складним, слабо структурованим, погано визначеним, а тому операцію декомпозиції здійснює експерт, і результати, отримані різними експертами, будуть різними.

Якість дерев декомпозиції залежатиме як від кваліфікації експертів, так і від застосованої методики декомпозиції. Зазвичай, операція декомпозиції реалізується експертом відносно просто, і основні труднощі виникають при доведенні ненадлишковості та повноти отриманого набору компонентів. Обґрунтуванням власне такого, а не іншого розбиття є модель системи. Отже, операція декомпозиції є не чим

іншим, як співставленням об'єкта аналізу з деякою моделлю, виділення того, що відповідає елементам моделі, тобто питання повноти декомпозиції є питанням завершеності моделі. Однак і сама модель-основа може відображати реальний об'єкт з різним ступенем деталізації (наприклад, «цикл життя» проекту інформаційної системи в залежності від використовуваних стандартів та корпоративних особливостей може включати різну кількість етапів чи стадій).

Основою для декомпозиції може служити лише конкретна, змістовна модель системи, що розглядається.

Вибір формальної моделі лише підказує, орієнтує, якого типу повинна бути модель-основа, тобто формальну модель необхідно наповнити змістом, щоб реалізувати декомпозицію. Повнота декомпозиції забезпечується повнотою моделі-основи, тобто, насамперед, слід забезпечити повноту формальної моделі.

Отже, одним із завдань системного аналізу є накопичення наборів повних формальних моделей (у штучному інтелекті ці моделі називають фреймами). Повнота формальної моделі є необхідною, але не достатньою умовою для повноти декомпозиції. Врешті-решт, все залежить від повноти змістовної моделі, що будується «за зразком» формальної моделі, але не тотожна їй. Фрейм лише концентрує увагу експерта до необхідності розгляду, що ж в даній конкретній системі відповідає кожному з елементів фрейму, а експерт має вирішити, що включити до складу змістовної моделі. Цей момент є надзвичайно відповідальним, оскільки те, що не потрапить в модель-основу, не з'явиться в подальшому аналізі.

Фреймова модель входів організаційної системи (рис. 6.1.) рекомендує визначити конкретно, що розуміється під «суттєвим середовищем».

Щоб зберегти повноту та можливість розширення змістовної моделі (формальна модель входів у наведеному прикладі повна!) рекомендується здійснити логічне замикання переліку її елементів компонентою «все інше» («мовчазна» компонента, що нагадуватиме експерту про можливість неврахування деяких важливих складових моделі).

Отже, в результаті декомпозиції виникає певна деревовидна структура, що повинна забезпечувати виконання двох суперечливих вимог кількісного характеру організаційної системи: повноти та простоти.

**Принцип простоти** вимагає зменшення розмірів дерева. Оскільки розміри дерева «в ширину» визначаються числом елементів моделі-основи, то для декомпозиції слід обирати якомога компактніші моделі-основи. З іншого боку, згідно до принципу повноти, слід обирати якомога детальніші, більш розвинуті моделі. Компроміс в цьому випадку досягається за допомогою принципу суттєвості: в модель-основу повинні включатися лише компоненти суттєві з точки зору мети аналізу (релевантні). Оскільки це поняття неформальне, то слід передбачити можливість внесення поправок та доповнень з боку експерта у модель-основу. Однією з таких можливостей є доповнення переліку елементів моделі-основи елементом «все інше, що залишилося», іншою — розбиття окремих елементів моделі-основи на складові та внесення їх до числа елементів моделі-основи.

Щодо розмірів дерева «в глибину», то бажано, щоб кількість рівнів була невеликою (принцип простоти), але згідно до **принципу повноти** повинна існувати можливість продовжувати декомпозицію до прийняття рішення про її припинення для кожної окремої гілки. Рішення про припинення приймається в тому випадку, коли декомпозиція привела до результату (підфункції, критерію, підзадачі, підцілі), які є зрозумілими, можуть бути реалізованими, забезпеченими, виконаними — до отримання елемента згідно обраного критерію декомпозиції. Неелементарний фрагмент підлягає декомпозиції за іншою моделлю-осною, що ще не використовувалася. Звичайно, в цьому випадку якість аналізу залежатиме також від порядку використання моделей-основ.

Якщо переглянуті всі фрейми (формальні моделі) і не досягнута елементарність, то слід розглянути можливість введення нових елементів в модель-основу шляхом

розщеплення наявних складових моделі-основи або виділення з «всього іншого» нової суттєвої складової моделі-основи.

У випадку, коли експерт визнає, що його компетентності недостатньо для подальшого аналізу отриманого фрагменту і необхідно залучити експерта іншого фаху, така ситуація розв'язується шляхом залучення додаткових експертів. Випадок, коли декомпозиція закінчується елементарними фрагментами на всіх гілках дерева (навіть із залучення різних експертів та джерел), є найпростішим. В будь-якому випадку існує небезпека неповного аналізу, а тому експерти повинні виявляти не лише переваги, а й обов'язково недоліки проекту. Неможливість доведення декомпозиції до елементарного фрагмента є позитивним результатом — хоча при цьому складність не спрощується, але сфера її дії конкретизується і локалізується справжня причина цієї складності (знання про те, що власне ми не знаємо, є не менш важливим, ніж саме позитивне знання).

Отже, аналіз, як спосіб подолання складності, дозволяє повністю звести складне до простого лише у випадку складності через непоінформованість (шляхом залучення додаткових експертів); у випадку складності, що виникає через нерозуміння, аналіз не дозволяє звести складне до простого, але локалізує її. В дійсності новим знанням є не лише виявлення та конкретизація того, що ми не знаємо, але й відповідним чином опрацьовані фрагменти старих знань, які набувають нової якості.

**Агрегування** — це операція об'єднання декількох елементів в єдине ціле, протилежна до декомпозиції. Об'єднані елементи, що взаємодіють між собою, набувають не лише зовнішньої, але й внутрішньої цілісності, єдності. Зовнішня цілісність відображається моделлю «чорної скрині», а внутрішня — пов'язана зі структурою системи, і виявляється в тому, що властивості системи є більшими, ніж сума властивостей об'єднаних елементів. Отже, при об'єднанні елементів виникає дещо якісно нове, чого не могло бути без цього об'єднання.

### 8.3 Конфігуратори, агрегати-оператори та агрегати-структури.

Техніка агрегування ґрунтується на використанні певних моделей системи, а саме: модель складу, яка визначає, що повинно ввійти до складу системи та модель структури, яка відображає зв'язки елементів між собою. В загальному вигляді агрегування визначається через встановлення відношень (системотворчих відношень) на множині елементів. Агрегатами, типовими для системного аналізу, є конфігуратор, агрегати-оператори та агрегати-структури.

З одного боку, системний аналіз має міждисциплінарний характер, тобто системний аналітик може залучити з метою дослідження системи інформацію з будь-якої галузі знань, при потребі залучити експерта з того чи іншого питання. Однак якщо у процесі декомпозиції вирішення цієї проблеми досягалося шляхом компромісу — за допомогою потягтя суттєвості, що супроводжувалося ризиком недостатньої повноти чи зайвої деталізації, то в процесі агрегації проблема ускладнюється, тому що ризик неповноти є майже неприпустимим. Виходячи з цього виникло поняття конфігуратора.

**Конфігуратор.** Будь-яке дійсно складне явище вимагає сумісного (агрегованого) описання в термінах декількох якісно відмінних мов. Конфігуратором будемо вважати агрегат, що складається з якісно різних мов описання системи, причому кількість цих мов є мінімально необхідною для досягнення мети.

Головним в конфігураторі є не те, що аналіз об'єкта повинен проводитися кожною мовою конфігуратора окремо, а те, що синтез можливий лише при наявності всіх описів.

Конфігуратор є змістовною моделлю найвищого рівня. Перерахувавши мови, якими ми будемо описувати систему, ми тим самим визначаємо, синтезуємо тип системи, фіксуємо наше розуміння природи системи. Як і будь-яка модель, конфігуратор має цільовий характер і при зміні мети може втратити властивості конфігуратора.

**Агрегати-оператори.** Особливістю агрегатів-операторів є зменшення розмірності, об'єднання частин в дещо ціле, єдине, окреме.

Дуже часто виникають ситуації, в яких сукупність даних, якими необхідно оперувати, дуже чисельна, внаслідок чого з ними складно і незручно працювати. Саме це і приводить до необхідності агрегування — в цьому випадку на перше місце висувається така особливість агрегування, як зменшення розмірності, і агрегат об'єднує частини в дещо ціле, єдине та окреме.

Найпростіший спосіб агрегування полягає у встановленні відношення еквівалентності між елементами, що підлягають агрегації, тобто утворення класів. Класифікація є дуже важливим, багатобічним, багатофункціональним явищем, і з практичної точки зору важливими проблемами є як визначення класів, так і визначення, до якого класу належить той чи інший конкретний елемент.

Якщо класифікаційна ознака є спостерігальною, то виникає лише питання про надійність класифікації, а в тому випадку, коли ознака формується нечітко, можна говорити лише за ступінь належності до того чи іншого класу.

Складності класифікації суттєво збільшуються, якщо класифікаційна ознака не спостерігається безпосередньо, а сама є агрегатом побічних ознак.

Типовим прикладом є діагностика захворювання: діагноз хвороби (назва хвороби — це й є ім'я класу) є агрегатом великої кількості її симптомів та характеристик стану організму. Якщо класифікація має природний характер, то агрегування побічних ознак може розглядатися як виявлення загальних закономірностей в таблицях експериментальних даних, що досягається перебором всіх можливих комбінацій ознак з метою перевірки їх наявності в навчаючій вибірці. Метод морфологічного аналізу систем Ф. Цвікі, комп'ютерне виявлення закономірностей, розв'язання задач дискретної оптимізації — це приклади застосування перебору, успіх якого значною мірою залежить від того, чи вдається знайти метод скорочення перебору, щоб отримати «добрі» розв'язки (як у різних варіантах методу гілок та границь). Отже, агрегування в класи є ефективною, але далеко не завжди тривіальною процедурою.

У випадку, коли ознаки, що агрегуються, вимірюються в числових шкалах, може виявитися можливим задати відношення на множині ознак у вигляді числової функції багатьох змінних, яка й буде агрегатом.

Прикладом однозначності агрегата-функції є вартісний аналіз економічних систем (але не інформаційно-вартісний — це вже агрегат-конфігуратор) — якщо всі діючі фактори можуть бути представлені у вартісному вимірі, то агрегат буде алгебраїчною сумою їх значень. Але й у цьому випадку питання залишається — чи можна при цьому знехтувати іншими системами цінностей?

Важливим видом агрегування даних є **статистичний аналіз**. Особливе місце займають достатні статистики, що дають можливість витягнути з сукупності спостережень всю корисну інформацію. Однак при агрегуванні втрати інформації є неминучими, а тому важливе місце займають оптимальні статистики, що дозволяють зменшити втрати до мінімуму в певному заданому сенсі. Наочним прикладом статистичного агрегування є факторний аналіз, в якому декілька змінних приводяться до одного фактора.

Агрегат-оператор дозволяє зменшити розмірність інформації, але при його застосуванні слід вважати на можливі наступні негативні особливості:

- втрата корисної інформації, оскільки агрегування є необоротним перетворенням (найпростіший приклад — за сумою неможливо повернутися до значень її складових);
- агрегування — це вибір певної визначеної моделі системи, з чим пов'язані непрості проблеми оцінки адекватності;
- для деяких агрегатів властива внутрішня суперечність (приклад — парадокс голосування Ероу).

**Агрегати-структури.** Як і будь-який інший вид агрегату, структура є моделлю системи і визначається об'єктом, метою та засобами моделювання.

У процесі синтезу ми створюємо структуру майбутньої системи, що проектується. В реальній, а не абстрактній системі, виникнуть, встановляться і почнуть працювати не лише ті зв'язки, які ми запроектували, а й інші, що властиві природі об'єднаних в систему елементів. Тому при проектуванні системи важливо задати структури в її суттєвих відношеннях. Отже, сукупність всіх існуючих відношень визначається конфігуратором відношень, і проект системи повинен мати розробку стількох структур, скільки мов включено в її конфігуратор.

З ускладненням об'єктів моделювання виникла необхідність розгляду їх вищого рівня — **метарівня**. При цьому дослідник розглядає систему як підсистему деякої метасистеми, що дозволяє створити модель, яка розв'язує поставлені задачі в якості складової частини метасистеми.

Системний підхід реалізує «погляд ззовні» на систему, тобто насамперед потрібно виділити систему як єдине ціле з зовнішнього світу, визначити межі зовнішнього середовища та мету функціонування системи.

У процесі цих дій необхідно чітко сформулювати мету побудови моделі, тобто відповісти на запитання: «Навіщо будується модель?», так як від цього суттєво залежать межі визначення системи та зовнішнього середовища, вимоги, що ставляться до моделі, та її системотворчі відношення.

На основі вимог до моделі, обмежень, які накладаються зовнішнім середовищем та обмежень на реалізацію моделі формується критерій декомпозиції (розбиття) системи. Цим визначаються окремі елементи системи, кількість зв'язків між ними та їх якісні відмінності, тобто формування критерію декомпозиції суттєво впливає як на складність моделі, так і на ступінь відповідності (адекватності) її об'єкта, функціонування якого моделюється.

### **Контрольні запитання**

1. Дайте визначення поняттям «аналіз» та «синтез».
2. Визначте, що таке декомпозиція та яке місце вона займає в системному аналізі?
3. Поясніть, як відбувається процес агрегування?
4. Перерахуйте та поясніть принципи простоти та повноти.
5. Поясніть, що таке конфігуратори, агрегати-оператори та агрегати-структури.

### **Задачі для самостійного розв'язання**

**Задача 1.** Фермер може вирощувати або кукурудзу, або соєві боби. Імовірність того, що ціни на майбутній урожай цих культур підвищаться, залишаться на тому ж рівні або знизяться, дорівнює відповідно 0,25, 0,30 і 0,45. Якщо ціни зростуть, урожай кукурудзи дасть 30 000 дол. Чистого доходу, а урожай соєвих бобів - 10 000 дол. Якщо ціни залишаться незмінними, фермер лише покриє витрати. Але якщо ціни стануть нижчими, урожай кукурудзи і соєвих бобів призведе до втрат в 35 000 і 5 000 дол. Відповідно. Побудуйте дерево рішень. Яку культуру слід вирощувати фермеру? Яке очікуване значення його прибутку?

**Задача 2.** Фірма планує відкрити нове підприємство в Арканзасі. В даний час є можливість побудувати або велике підприємство, або невелике, яке через два роки можна буде розширити за умови високого попиту на продукцію, що випускається їм продукцію. Розглядається задача прийняття рішень на десятирічний період. Фірма оцінює, що протягом цих 10 років ймовірність високого і низького попиту на вироблену продукцію буде дорівнює 0,75 і 0,25 відповідно. Вартість негайного будівництва великого підприємства дорівнює 5 млн. Дол., А невеликого - 1 млн. Дол.

Розширення малого підприємства через два роки обійдеться фірмі в 4,2 млн. Дол. Прибуток, що отримується від функціонування виробничих потужностей протягом 10 років, наводиться в наступній таблиці.

Альтернатива	Очікуваний дохід за рік (тис. Дол.)	
	високий попит	низький попит
Велике підприємство зараз	1000	300
Невелике підприємство зараз	250	200
Розширене підприємство через 2 роки	900	200

Побудуйте відповідне дерево рішень, беручи до уваги, що через два роки фірма може або розширити невелике підприємство, або не розширювати його. Сформулюйте стратегію будівництва для фірми на планований 10-річний період. (Для простоти не брати до уваги можливу інфляцію.)

**Задача 3.** Припустимо, у вас є можливість вкласти гроші в три інвестиційні фонди відкритого типу: простий, спеціальний (що забезпечує максимальну довгостроковий прибуток від акцій дрібних компаній) і глобальний. Прибуток від інвестиції може змінитися в залежності від умов ринку. Існує 10% -ва ймовірність, що ситуація на ринку цінних паперів погіршиться, 50% -ва, що ринок залишиться помірним і 40% -ва, що ринок буде зростати. Наступна таблиця містить значення відсотків прибутку від суми інвестиції при трьох можливостях розвитку ринку.

Побудуйте дерево рішень. Який фонд відкритого типу вам слід вибрати? Який відсоток прибутку при цьому очікується?

Альтернатива (Фонди)	Відсоток прибутку від інвестиції, %		
	Погіршується ринок	Помірний ринок	Зростаючий ринок
Простий	+5	+7	+8
Спеціальний	-10	+5	+30
Глобальний	+2	+7	+20

**Задача 4.** Припустимо, у вас є можливість вкласти гроші або в 7,5% -ві облігації, які продаються за номінальною ціною, або в спеціальний фонд, який виплачує лише 1% дивідендів. Якщо існує ймовірність інфляції, процентна ставка зростає до 8%, і в цьому випадку номінальна вартість облігацій збільшиться на 10%, а ціна акцій фонду - на 20%. Якщо прогнозується спад, то процентна ставка знизиться до 6%. При цих умовах очікується, що номінальна вартість облігацій підніметься на 5%, а ціна акцій фонду збільшиться на 20%. Якщо стан економіки залишиться незмінним, ціна акцій фонду збільшиться на 8%, а номінальна вартість облігацій не зміниться. Економісти оцінюють в 20% шанси настання інфляції і в 15% - наступ спаду. Ваше рішення щодо інвестицій приймається з урахуванням економічних умов наступного року.

Уявіть завдання у вигляді дерева рішень. Чи будете ви купувати акції фонду або облігації? Який прибуток при цьому очікується?

**Задача 5.** Видавець звернувся до відділу маркетингу, щоб з'ясувати передбачуваний попит на книгу. Дослідження відділу маркетингу показали:

Попит на книгу в найближчі три роки, кількість прим.	2000	3000	4000	5000
--	------	------	------	------

імовірність	0,1	0,5	0,2	0,2
-------------	-----	-----	-----	-----

Прибуток від продажу складає 9 ф. ст. за книгу. Якщо книга не продається, збитки становлять 4 ф. ст. за штуку. Якщо видавець не задовольняє попит, збитки по незадоволеного попиту складуть 1 ф. ст. (Для підтримки репутації фірми і майбутнього попиту).

Визначте, скільки повинно бути видано книг в розрахунку на трирічний період.

**Задача 6.** Фірма планує виробництво нової продукції швидкого харчування в національному масштабі. Дослідницький відділ переконаний у великому успіху нової продукції і хоче впровадити її негайно, без рекламної кампанії на ринках збуту фірми. Відділ маркетингу стан речей оцінює інакше і пропонує провести інтенсивну рекламну кампанію. Така кампанія обійдеться в 100 тис. Дол., А в разі успіху принесе 950 тис. Дол. Річного доходу. У разі провалу рекламної кампанії (ймовірність цього складає 30%) річний дохід оцінюється лише в 200 тис. Дол. Якщо рекламна кампанія не проводиться зовсім, річний дохід оцінюється в 400 тис. Дол. За умови, що покупцям сподобається нова продукція (ймовірність цього дорівнює 0,8), і в 200 тис. дол. з ймовірністю 0,2, якщо покупці залишаться байдужими до нової продукції.

Побудуйте відповідне дерево рішень. Як повинна вчинити фірма в зв'язку з виробництвом нової продукції?

## РОЗДІЛ 9. Методи, які використовують в системних дослідженнях

### 9.1 Метод аналізу ієрархій

Ієрархія виникає, коли системи, що функціонують одному рівні, функціонують як частину системи вищого рівня, стаючи підсистемами цієї системи. МАІ є ієрархічною процедурою для ієрархічного представлення елементів, що визначають суть проблеми. Метод полягає в декомпозиції проблеми на простіші складові частини подальшої обробки послідовності суджень особи, яка приймає рішення щодо парних порівнянь. Однак МАІ включає процес синтезу багатьох суджень, отримання пріоритетності критеріїв та знаходження альтернативних рішень.

Метод Аналізу Ієрархій (МАІ) – математичний інструмент системного підходу до рішення проблем ухвалення рішень.

МАІ не пропонує особі, що приймає рішення (ЛПР), якого-небудь “правильного” рішення, а дозволяє йому в інтерактивному режимі знайти такий варіант (альтернативу), який якнайкраще узгоджується з його розумінням суті проблеми і вимогами до її рішення.

Цей метод розроблений американським вченим Томасом Л. Сааті в 1970 році, відтоді він активно розвивається і широко використовується на практиці.

Метод аналізу ієрархій можна застосовувати не лише для порівняння об'єктів, але і для вирішення складніших проблем управління, прогнозування та ін.

Основною перевагою методу аналізу ієрархій є висока універсальність – метод може застосовуватися для вирішення найрізноманітніших завдань : аналізу можливих сценаріїв розвитку ситуації, розподілу ресурсів, складання рейтингу клієнтів, ухвалення кадрових рішень та ін.

Недоліком методу аналізу ієрархій є необхідність отримання великого об'єму інформації від експертів. Метод в найбільшій мірі підходить для тих випадків, коли основна частина даних ґрунтована на перевагах особи, що приймає рішення, в процесі вибору найкращого варіанту рішення з безлічі існуючих альтернатив.

У типовій ситуації ухвалення рішення:

- Розглядаються декілька варіантів рішення,



- Заданий критерій, по якому визначається якою мірою те або інше рішення є відповідним,
- Відомі умови, в яких вирішується проблема, і причини, що впливають на вибір того або іншого рішення.

Постановка завдання в процесі застосування методу аналізу ієрархій : Нехай є безліч альтернатив (варіантів рішень):  $B_1, B_2, \dots, B_k$ . Кожна з альтернатив оцінюється списком критеріїв:  $K_1, K_2, \dots, K_n$ . Вимагається визначити найкраще рішення.

## 9.2 Етапи застосування методу

Окреслити проблему та певну мету – перший рівень ієрархії.

Побудувати ієрархію, починаючи з вершини:

Перший рівень: ціль

Другий рівень: критерії

Третій рівень: список альтернатив.

Побудувати безліч матриць парних порівнянь кожного з нижніх рівнів.

Попарне порівняння критеріїв по важливості за дев'ятибальною шкалою із складанням відповідної матриці (таблиці) розміру  $(n \times n)$ . Система парних відомостей призводить до результату, який може бути представлений у вигляді назад симетричної матриці. Елементом матриці  $a(i, j)$  являється інтенсивність прояву елемента ієрархії  $i$  відносно елемента ієрархії  $j$ , оцінювана за шкалою інтенсивності від 1 до 9, де оцінки мають наступний сенс:

Рівна важливість – 1;

Помірна перевага – 3;

значна перевага – 5;

сильна перевага – 7;

дуже сильна перевага – 9;

в проміжних випадках ставляться парні оцінки: 2, 4, 6, 8 (наприклад, 4 – між помірною і значною перевагою).

При цьому при проведенні попарних порівнянь в основному ставляться наступні питання при порівнянні елементів А і б:

- Який з них важливіше або має більшу дію?
- Який з них вірогідніший?
- Який з них найприйнятніше?

Після проведення всіх парних порівнянь визначаються  $\max$  та коефіцієнт узгодженості.

Потім формується матриця. У процесі заповнення матриці (табл. 3) якщо елемент  $i$  важливіше за елемент  $j$ , то клітина  $(i, j)$ , що відповідає рядку  $i$  і стовпцю  $j$ , заповнюється цілим числом, а клітина  $(j, i)$ , що відповідає рядку  $j$  і стовпцю  $i$ , заповнюється зворотним числом (дробом).

Наприклад, якщо  $K_1$  помірно перевершує  $K_4$ , те в клітину  $(1;4)$  (на перетин першого рядка і четвертого стовпця) ставиться число 3, а в клітину  $(4;1)$  (четвертий рядок перший стовець) – зворотна величина, рівна  $1/3$ . Якщо ж елемент  $j$  важливіший, ніж елемент  $i$ , те ціле число ставиться в клітину  $(j,i)$ , а зворотна величина – в клітину  $(i,j)$ . Якщо вважається, що  $i, j$  однакові, то в обидві клітини ставиться одиниця.

Заповнення таблиці (табл. 3) проводиться починаючи з найбільш важливого критерію.

Спочатку проставляють цілочисельні оцінки, дробові оцінки, що тоді відповідають їм, виходять з них автоматично (як зворотні до цілих чисел). Чим важливіше критерій, тим більше цілочисельних оцінок буде в рядку матриці, що відповідає йому, і самі оцінки мають великі значення.

Оскільки кожен критерій дорівнює собі по важливості, то головна діагональ матриці завжди складатиметься з одиниць. Очевидно, що сума компонентів дорівнює одиниці. Етапи 3, 4, 5 провести для всіх рівнів та груп ієрархії.

Побудувати вектор глобальних пріоритетів.

Визначити результат.

Для оцінки важливості критеріїв під час побудови матриць парних порівнянь використовується таблиця важливості (табл.. 3)

Таблиця 3

Міра значущості	Визначення	Пояснення
1	Однакова значущість	Дві дії вносять однаковий вклад в досягнення мети
3	Деяке переважання значущості однієї дії над іншим	Існують міркування на користь переваги однієї з дій, проте ці міркування недостатньо переконливі
5	Істотна або сильна значущість	Є надійні дані або логічні судження для того, щоб показати перевагу однієї з дій
7	Очевидна або дуже сильна значущість	Переконливе свідчення на користь однієї дії перед іншою
9	Абсолютна значущість	Свідчення на користь переваги однієї дії перед іншим вкрай переконливі
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між двома сусідніми судженнями	Ситуація, коли потрібне компромісне рішення
Зворотні величини наведених вище величин	Якщо дії $i$ при порівнянні з дією $j$ приписується одне з визначених вище чисел, то дії $j$ при порівнянні з дією $i$ приписується зворотне значення	Якщо узгодженість була згадана при отриманні $N$ числових значень для утворення матриці

### Задачі для самостійного розв'язання

Пропонується обрати покупку за допомогою за допомогою МАІ. Для цього необхідно:

1. Сформулювати критерії вибору.
2. Визначити та обґрунтувати рейтинги альтернатив за кожним критерієм. Оцінити їх узгодженість.
3. Визначити рейтинг критеріїв. Оцінити їх узгодженість.
4. Вибрати найбільш детально визначений рішення.

Кількість критеріїв повинно бути не менше трьох. Кількість варіантів рішень (товарів) - не менше чотирьох (вказати марки). Схема рішення аналогічна завданням 1.

Товари та послуги для вибору за варіантами:

1. Послуга клінінгової компанії
2. Ноутбук
3. Послуга перукаря/барбера
4. Смартфон
5. Курси іноземної мови
6. Окуляри віртуальної реальності
7. Придбання товару з онлайн-магазину

## **РОЗДІЛ 10. Основні етапи розв'язування проблем в КІС. Поняття життєвого циклу системи.**

Вибір певного циклу розв'язування проблем залежить від типу та складності проблеми. Найчастіше для розвитку протоколюючих КІС використовують лінійні життєві цикли. Рідше – прототипування та еволюційний розвиток.

Лінійний життєвий цикл складається з послідовності етапів, в якій жоден етап не може початися, поки не закінчився попередній етап.

Після кожного етапу формується звіт. Звіт включає: інформацію про те що було зроблено на даному етапі; план для наступного етапу, включаючи його забезпечення ресурсами; опис системи на даному етапі. Цей звіт використовується, як системними аналітиками, проектувальниками так і менеджерами для того щоб знати, як просувається проект і направити його по оптимальному руслу.

### *Eman 1. Опис проблеми (Problem definition )*

Етап включає опис проблеми, її складові, мету, цілі та головні можливі напрямки досягнення мети – альтернативи.

Основою для формулювання мети є:

- визначення недоліків системи, наприклад, відсутність її певних частин;
- стратегічний план розвитку, який відображає, які частини в системі необхідно розвивати ;
- аналоги , порівняння з якими дозволить відобразити недоліки;
- обмеження на ресурси, які дозволять визначити що варто робити в даному проекті, а що не варто.

Для визначення недоліків слід керуватися такою їх класифікацією: відсутні функції; незадовільне виконання функцій; надмірна вартість реалізації функцій.

Правильне визначення мети та цілей проекту є дуже важливим, тому, що проекти будуть змінюватися в залежності від постановки мети. Мета проекту формується в загальному і повинна відповідати усуненню недоліків. Конкретизація мети проводиться в цілях та підцілях, які формулюються

шляхом постановки запитання: Як можна досягнути мети ( цілі)? При цьому слід вибирати ті цілі, які є реальними. Нереальні цілі слід поступово відкидати.

У такий спосіб формується дерево цілей, вершиною якого є мета, а на нижньому рівні – задачі. Реалізація дерева цілей дозволить досягнути мети, тобто розв'язати проблеми.

Наступний крок при описі проблеми – генерація набору напрямків-альтернатив – для досягнення мети (дерева цілей). Кожна альтернатива повинна характеризуватися такими властивостями: функціональною, технічною ( технологічною), економічною. Функціональна властивість альтернативи відображає наскільки буде досягнута мета при її реалізації, тобто що в новій системі буде покращено. Технічна (технологічна) – дає

відповідь при аналізі альтернативи: Чи технічно можна реалізувати дану альтернативу, або Чи дозволяє її реалізувати сучасний рівень технологій? Економічна характеристика альтернативи відображає який буде зиск від реалізації альтернативи і які витрати при цьому необхідні.

На етапі генерування альтернатив не потрібна надмірна їх деталізація. Альтернатива повинна давати чітке уявлення про вартість проекту та наскільки нова система буде здатна до виконання своїх функцій. На цій стадії достатньо оцінити, чи альтернатива, яка буде проектом є хороша і достатня для досягнення мети. Судження про те що представляє собою опис альтернативи в загальному вигляді є дуже суб'єктивним. Однак цей опис повинен відображати основну ідею проекту, тобто, що в новій системі буде покращено і переконувати людину, що це варто додаткових коштів та праці. При описі альтернативи також чітко повинно бути відображено: устаткування яке необхідно закупити для проекту; які функції у системі буде виконувати користувач, а які передаватимуться комп'ютеру; яку інформацію буде продукувати система користувачу. При формуванні альтернатив розглядають три групи стосовно рівня комп'ютеризації системи: повний, середній та мінімальний.

#### *Етап 2. Вивчення можливостей розв'язання.*

На цьому етапові визначаються обмеження на розробку, тобто які частини розробляються, які використовуються з існуючої системи, які необхідно замовляти. Визначаються необхідні ресурси на побудову системи, строки, якісний та кількісний склад людських ресурсів. Тобто формуються всі вимоги та рекомендації які потім використовуються менеджерами проекту.

Другий етап також передбачає аналіз можливостей кожної із альтернатив, згенерованих на етапі опису проблеми, при досягненні мети. Шляхом використання певних критеріїв здійснюється вибір "найкращої" альтернативи. Найчастіше аналізуються такі властивості альтернативи: Чи альтернатива покращує функції системи, наскільки? Чи технічно можливо її реалізувати своїми силами, чи із залученням сторонніх спеціалістів? Наскільки економічно вигідно реалізувати дану альтернативу?

Функціонально-вартісний аналіз є найбільш придатним методом системного аналізу на даному етапі.

Процедура вибору альтернатив може проводитись у такій послідовності: послідовна оцінка технічної та функціональної можливостей альтернатив і формування множини технічно можливих і функціонально-придатних альтернатив; оцінка економічної ефективності відібраних альтернатив з метою вибору найбільш ефективної.

Наступним кроком на цьому етапі є детальний опис проекту із визначенням матеріальних, часових і людських ресурсів на його реалізацію.

#### *Етап 3. Аналіз системи.*

Метою цього етапу є відображення властивостей існуючої системи, зображення її структури у вигляді, наприклад DFD. На цьому етапі аналітиками проводиться загальний аналіз системи з використанням різних методів моделювання.

Отримана (детальна) модель системи переважно є складною, ієрархічною структурою, тобто включає сукупність моделей, які утворюють цілісність. Найчастіше для КІС ця модель представляється за допомогою діаграм потоків даних із наступною деталізацією потоків даних та процесів. Процеси можуть описуватися на формальному рівні, наприклад, у вигляді моделей "чорна скринька", алгоритмічно чи за допомогою таблиць рішень.

#### *Етап 4. Проектування системи.*

Метою цього етапу є створення моделі "нової" системи, у якій будуть відсутні виявлені проблеми і досягнута внаслідок реалізації відібраної альтернативи мета проекту. Побудова нової моделі здійснюється двома підетапами: побудова загальної моделі (структури) та її окремих компонент.

При відображенні структури “нової” системи на першому етапі зручно використати діаграми потоків верхніх рівнів, які включатимуть нові процеси, що реалізують нові чи модифіковані функції з новими чи перерозподіленими потоками даних та нові елементи накопичення. На підетапі детального проектування проводиться специфікація компонент системи.

На цьому етапі проектувальники повинні: відібрати обладнання необхідне для побудови системи; точно визначити нові програми, чи змінити існуючі, а також бази даних; розробити процедури користувачів та описати як їх використовувати.

*Етап 5. Конструювання системи.*

Результатом етапу є працююча система (розв’язані проблеми), що не має визначених недоліків своєї попередниці.

Цей етап так як і попередній поділяється на два підетапи: розвиток і виконання, але на відміну від двох попередніх на яких у більшій мірі використовується принцип “зверху до низу”, тобто операції декомпозиції, на даному етапі головним є принцип “знизу до верху”, тобто агрегування.

Спочатку конструюються компоненти системи, для яких розроблені специфікації на етапі проектування. В КІС цими компонентами можуть бути програми, які реалізуватимуть функції системи, бази даних і т.д.

Поєднання компонент здійснюється згідно загальної моделі системи, також розробленої на етапі проектування.

Закінчується етап передачею працюючої системи користувачам.

*Етап 6 Тестування та експлуатація.*

Результатом цього етапу є підтвердження досягнення мети проекту та повноти реалізації дерева цілей.

Перевіряється все те що планувалось на стадії опису системи, знаходяться помилки в роботі системи і виправляються під час її експлуатації.

В лінійному життєвому циклі розглядають лінійну послідовність типу “етап за етапом”. Однак в практичних дослідженнях етапи можуть повторюватися. Наприклад через те що систему неможливо побудувати виділеними ресурсами, або недостатньо інформації одержано на попередньому етапі. В результаті від лінійних циклів розв’язування проблем необхідно переходити до контурних.

У випадку великої системи використовується покрокове проектування. На кожному кроці розв’язуються проблеми в одній із підсистем. Кожен крок являє собою лінійний життєвий цикл.

### **Контрольні запитання**

1. Поясніть, що таке лінійний життєвий цикл системи?
2. Перерахуйте та опишіть етапи лінійного ЖЦ.
3. Які ще види ЖЦ системи існують?
4. Які особливості має ЖЦ системи на практиці?
5. Охарактеризуйте, як формулювати мету системи?

### **Задачі для самостійного розв’язання**

Завдання. Опишіть кожен з етапів життєвого циклу для наведених систем.

**Задача 1.** Інформаційна система житлового агентства

Огляд: інформаційна система житлового агентства дозволяє квартиронаймачам підібрати та зняти житло, а власникам житла – запропонувати та здати житло.

**Задача 2.** Інформаційна система технічної експертизи

Огляд: інформаційна система технічної експертизи дозволяє претендентам грантів подавати заявки, незалежним експертам оцінювати заявки, а власникам фонду приймати рішення про видачу грат за результатами експертизи заявок.

#### **Задача 3.** Система продажу квитків на футбол

Огляд: система продажу квитків дозволяє купувати та здавати квитки та абонементи на матчі, що проходять на одному стадіоні з нумерованими місцями через кілька одночасно працюючих кас.

#### **Задача 4.** Текстовий редактор

Огляд: текстовий редактор дозволяє створювати, редагувати та друкувати текстові файли. Під час відображення файлів спеціальних форматів підтримується підсвічування ключових слів.

#### **Задача 5.** Система автоматичного тестування

Огляд: Система дозволяє автоматично запускати тести, відстежувати результати їх виконання та видавати звіти.

#### **Задача 6.** Електронна дошка оголошень

Огляд: інформаційна система дозволяє розміщувати та видаляти оголошення про продаж різних товарів.

## **РОЗДІЛ 11. Методи удосконалення систем**

### **11.1 Функціонально-вартісний аналіз**

Одним з методів удосконалювання будь-якого об'єкта на всіх стадіях життєвого циклу є функціонально-вартісний аналіз (ФВА).

**Функціонально-вартісний аналіз** - це метод комплексного техніко-економічного дослідження об'єкта з метою розвитку його корисних функцій при оптимальному співвідношенні між їх значимістю для споживача і витратами на їх здійснення. Метод ФВА застосовується промисловими компаніями США, Англії, Франції та інших країн з розвинутою ринковою економікою.

Не всі властивості товару є дуже корисними. У зв'язку з цим потрібно провести аналіз, використовуючи принцип Ейзенхауера за схемою ABC. Необхідно виділити головні (А), другорядні (В) і непотрібні чи зайві функції (С). Кошти слід витратити на одержання головних функцій, певною мірою - на другорядні (В). Витрат на одержання зайвих функцій потрібно уникати. Виключення зайвих функцій дозволяє знизити витрати на виробництво продукції при одночасному скороченні або навіть підвищенні якості.

Об'єктами ФСА можуть бути споживчі властивості виробу як у цілому, так і його окремих частин (вузлів, груп деталей, окремих деталей і т.п.). Всебічний і детальний аналіз споживчих властивостей виробу, технічних функцій складових його частин і пов'язаних з ними витрат не може бути виконаний одним фахівцем. До проведення ФСА рекомендується залучати фахівців різних відділів, що беруть участь у розробці, виробництві, маркетингу і збуті продукції. Представники конструкторських бюро пропонують перспективні розробки з урахуванням попиту. Ці розробки повинні пройти через руки дизайнерів, що враховують естетичні і ергономічні вимоги до майбутнього виробу. Необхідна участь економістів, особливо бухгалтерів, що знають собівартість виробу, її складові. Фахівці з маркетингу і збуту володіють інформацією про споживчий попит, капризи і коливання моди, розбираються в розміщенні сил конкуруючих фірм. Працівники відділу постачання можуть подати відомості про можливості придбання матеріалів, сировини, комплектуючих виробів для розроблюваних видів виробів.

Тільки колективний, всебічний розгляд проблеми підвищення якості при одночасному зниженні собівартості може гарантувати успіх. Для цього формуються аналітичні групи фахівців під керівництвом одного з вищих керівників. У завдання таких груп входить вивчення виробів, що є об'єктом ФСА. Створення аналітичної групи - найбільш відповідальна частина підготовчого етапу. Чисельність групи залежить від

розміру підприємства, обсягів майбутньої роботи і її періодичності. Групи збираються на нараду раз на тиждень або на два тижні і вносять пропозиції в обстановці невимушеності, вільного обговорення висловлених ідей.

Безпосередньою роботою по проведенню ФСА займаються дослідницькі групи, створені за наказом керівника організації з найбільш кваліфікованих фахівців. Групи складаються з фахівців різних напрямків, що дозволяє розглядати проблеми всебічно, комплексно, в гармонійній зв'язку одна з одною. Це важливо для повної і правильної оцінки функцій і витрат по досліджуваному проекту. Однак треба враховувати, що численна група є некерованою. У західних країнах число учасників дослідницької групи - 5-8 осіб. Потрібно виходити з того, що ФСА за окремим об'єктом не відноситься до глобальних аналітичних досліджень. Керівник організації повинен поставити чітку мету перед усією групою і чіткі завдання перед кожним її членом, а також вказати терміни початку та закінчення робіт.

Члени дослідницької групи збираються на першу нараду, де їх знайомлять з важливістю і змістом майбутньої роботи. Ефективність наради залежить від поведінки керівника під час обговорюваних питань. Має значення і кількість проведених нарад. Кожна нарада має бути добре підготовлено, проводиться по-діловому, з обговоренням конкретних пропозицій та прийняттям дієвих рекомендацій.

Мета ФСА - зниження витрат на виробництво, проведення робіт та надання послуг при одночасному підвищенні або збереженні якості виконуваної роботи. Мета ФСА можна записати математично:

$$\frac{CB}{B} \rightarrow \max$$

де  $CB$  – споживча вартість аналізованого об'єкту, тобто сукупність його споживчих властивостей;

$B$  – витрати на досягнення необхідних споживчих властивостей

При проведенні ФСА виходять з того, що аналізовані вироби є товаром, тобто споживчою вартістю не для виробника, а для споживача. Разом з тим споживча вартість не завжди оцінюється кількісними показниками. У випадку якісного і словесного опису (оцінка смакових, естетичних та ергономічних якостей виробу) застосовують бальні оцінки. Склад та розмір витрат визначають виходячи з витрат, що формують повну собівартість продукції.

## 11.2 Етапи ФВА

ФСА складається з декількох етапів: підготовчий, інформаційний, аналітичний, дослідницький, рекомендаційний, впроваджувальний.

1) На підготовчому етапі уточнюється об'єкт аналізу. Наприклад, як об'єкт дослідження може бути вибрано виріб, що випускається в масовому порядку або викликає нарікання щодо якості. У першому випадку діє фактор масовості: навіть незначне зниження собівартості одиниці продукції приносить значні суми економії і додаткового прибутку від реалізації продукції. У другому випадку вибирається виріб, що має низьку якість або високу собівартість в порівнянні з аналогічними вітчизняними або закордонними зразками. Аналіз подібної ситуації важливий в умовах розширюється зовнішньоекономічних зв'язків, коли величезне значення має конкурентоспроможність продукції, призначеної на експорт.

Найбільш доцільний ФСА по розробляється продукції, ще не запусненої у виробництво. Тут є час для внесення змін у конструкцію виробу або технологію виробництва, перш ніж буде встановлено обладнання та укладені договори на постачання сировини, матеріалів, комплектуючих виробів та інструментів.

Об'єкт дослідження вибирається на основі обговорення запропонованих варіантів із залученням фахівців у конкретних галузях. Після вибору об'єкта дослідження створюється робоча група з фахівців, найбільш компетентних у проведенні ФСА по

даному об'єкту. Про це керівник фірми видає відповідний наказ. Наказом встановлюються терміни виконання аналітичних робіт по окремих етапах і відповідальність кожного учасника за конкретну ділянку роботи, визначається винагорода за виконання роботи.

Робота по ФСА буде вважатися виконаною за умови, якщо буде знайдено варіант виробу або процесу з низькою собівартістю і високою якістю.

2) Інформаційний етап передбачає збір інформації про досліджуваний об'єкт: призначення, технічні можливості, якість, собівартість. Вся інформація заноситься в спеціальні картки або в пам'ять комп'ютера: докладно перераховуються функції окремих деталей, що складають виріб, матеріал, з якого вони виготовлені, їх собівартість. Паралельно для порівняння показується вартість обробки деталі на стороні або вартість точно такий же покупної деталі.

Всі служби і відділи підприємства надають у розпорядження групи з ФСА необхідну інформацію про виріб, а також пропозиції щодо поліпшення якості виробу і зниженню витрат на його виготовлення. Велике значення надається оцінками споживачів (якість, надійність, відповідність вимогам моди, естетики, ергономіки і т.п.). Для наочності корисно представити виріб перед членами дослідницької групи в розібраному вигляді і демонструвати на спеціальному стенді. Деталі повинні розташовуватися в тому ж порядку, в якому вони збираються в готовий виріб. Корисно ознайомитися з аналогічною продукцією конкурентів.

3) Аналітичний етап передбачає вивчення функцій виробу і витрат на їх забезпечення. Розглядається наступне коло питань: Що являє собою виріб? Які його функції? Які функції потрібні і корисні, а також які функції зайві, що збільшують собівартість? Яка справжня вартість виробу? Яким має стати виріб? Яка була б його нова вартість?

Докладно описуються службові (техніко-експлуатаційні, естетичні, ергономічні) функції виробу в цілому та технічні функції окремих частин (деталей, груп деталей, вузлів). Функції поділяються на основні (А), другорядні (В) і непотрібні (С). Відсікаючи непотрібні функції, одночасно відсікають зайві витрати.

4) Дослідницький етап передбачає оцінку ідей і варіантів рішень, вироблених на попередніх етапах з метою виключення диспропорцій між функціями та витратами.

5) Рекомендаційний етап пов'язаний з відбором найбільш прийнятних для даного виробництва варіантів вдосконалення виробу.

6) Впроваджувальний етап є заключним, коли враховуються результати рекомендаційного етапу і здійснюється впровадження відібраного варіанту вдосконалення техніки.

### 11.3 CASE-засоби

В сучасних інформаційних технологіях важливе місце приділяється інструментальним засобам і середовищам розробки автоматизованих систем, зокрема, системам розробки й супроводу їх програмне забезпечення. Ці технології й середовища утворюють системи, що мають назву CASE-систем.

Використовується двояке тлумачення абревіатури CASE, що відповідає двом напрямкам використання CASE-систем. Перше з них – Computer Aided System Engineering – підкреслює спрямованість на підтримку концептуального проектування складних систем, переважно слабо структурованих. Далі CASE-системи цього напрямку будемо називати системами CASE для концептуального проектування. Друга назва – Computer Aided Software Engineering – переводиться, як автоматизоване проектування програмного забезпечення.

Серед CASE-систем для концептуального проектування розрізняють системи функціонального, інформаційного або поведінкового проектування. Найбільш відомою методикою функціонального проектування складних систем є методика SADT (Structured



Analysis and Design Technique), запропонована в 1973 році Р.Росом, яка згодом стала основою міжнародного стандарту IEEE 1320.1-1998 IDEF0 (Integrated Definition 0).

Системи інформаційного проектування реалізують методики інфологічного проектування баз даних, в них широко використовуються мова й методика створення інформаційних моделей програм, закріплена в методології IDEF1X (IEEE 1320.2-1998).

Основні положення стандартів IDEF0 і IDEF1X використані також при створенні комплексу стандартів ISO 10303, що лежать в основі технології STEP для виводу в комп'ютерних середовищах інформації, що відноситься до проектування й виробництва в промисловості.

Поведінкове моделювання складних систем використовують для визначення динаміки функціонування складних систем. У його основі лежать моделі й методи імітаційного моделювання систем масового обслуговування, мережі Петрі, можливе застосування кінцево-автоматних моделей, що описують поведінку системи, як послідовності зміни станів.

Застосування інструментальних CASE-систем веде до скорочення витрат на розробку програмного забезпечення за рахунок зменшення числа ітерацій і числа помилок, до поліпшення якості продукту за рахунок кращого взаєморозуміння розробника і замовника, до полегшення супроводу готового програмного забезпечення.

Серед інструментальних CASE-систем розрізняють інтегровані комплекси інструментальних засобів для автоматизації всіх етапів життєвого циклу програмного забезпечення (такі системи називають Workbench) і спеціалізовані інструментальні засоби для виконання окремих функцій (Tools).

Засоби CASE-систем по своєму функціональному призначенню належать до однієї з наступних груп:

- засоби програмування;
- засоби керування програмним проектом;
- засоби верифікації (аналізу) програм;
- засоби документування.

### Контрольні запитання

1. Що таке ФВА? На яких засадах будується?
2. Назвіть умову виконання ФВА.
3. Опишіть, де використовується ФВА та які проблеми вирішує?
4. Перерахуйте та опишіть етапи ФВА.
5. Що таке CASE-системи?
6. Які групи CASE-систем вам відомі?

### Задачі для самостійного розв'язання

Завдання. Виконати розрахунок моделі паразит-господар (хижак-жертва), використовуючи представлені нижче параметри. Отримати графік та фазовий портрет моделі. Дати роз'яснення, що отримано в результаті моделювання.

$C$  – швидкість розмноження жертв,  $D$  – смертність хижаків,  $r$  – коефіцієнт розмноження хижаків,  $t_0$ ,  $t_1$  – початкова кількість хижаків і жертв,  $M$  – час, протягом якого відбувається дослідження.

- |           |   |
|-----------|---|
| Задача 1. | $C=0.4, D=1, r=0.1, M=650, t_0=100, t_1=990$      |
| Задача 2. | $C=0.3, D=1.1, r=0.1, M=750, t_0=100, t_1=160$    |
| Задача 3. | $C=0.2, D=1.2, r=0.1, M=850, t_0=100, t_1=1000$   |
| Задача 4. | $C=0.1, D=1.3, r=0.1, M=950, t_0=100, t_1=2000$   |
| Задача 5. | $C=0.15, D=1.4, r=0.1, M=8550, t_0=100, t_1=3000$ |

Задача 6.  $C=0.5, D=0.9, r=0.1, M=1650, t_0=100, t_1=600$

## РОЗДІЛ 12. Аналіз процесів функціонування систем

### 12.1 Когнітивне моделювання

Ключовий елемент когнітивного аналізу – побудова когнітивної моделі.

Когнітивне моделювання сприяє кращому розумінню проблемної ситуації, виявлення протиріч та якісному аналізу системи.

Мета моделювання полягає у формуванні та уточненні гіпотези про функціонування досліджуваного об'єкта, що розглядається як складна система, яка складається з окремих, але все ж таки пов'язаних між собою елементів і підсистем.

Для того щоб зрозуміти та проаналізувати поведінку складної системи, будують структурну схему причинно-наслідкових зв'язків елементів системи. Аналіз цих зв'язків необхідний реалізації різних управлінь процесами у системі.

Етапи когнітивного моделювання. Загалом розглянемо етапи когнітивного моделювання.

Виявлення факторів, що характеризують проблемну ситуацію, розвиток системи (середовища). Наприклад, суть проблеми неплатежів податків можна сформулювати у факторах «Неплатежі податків», «Збирання податків», «Доходи бюджету», «Витрати бюджету», «Дефіцит бюджету» та ін.

Виявлення зв'язків між факторами. Визначення напряму впливів та взаємовпливів між факторами. Наприклад, фактор «Рівень податкового навантаження» впливає на «Неплатежі податків».

Визначення характеру впливу (позитивне, негативне, +/-) Наприклад, збільшення (зменшення) фактора «Рівень податкового навантаження» збільшує (зменшує) «Неплатежі податків» - позитивний вплив; а збільшення (зменшення) фактора «Збирання податків» зменшує (збільшує) «Неплатежі податків» – негативний вплив. (На цьому етапі здійснюється побудова когнітивної карти у вигляді орієнтованого графа.)

Визначення сили впливу та взаємовпливу факторів (слабко, сильно) Наприклад, збільшення (зменшення) фактора «Рівень податкового навантаження» «значно» збільшує (зменшує) «Неплатежі податків» (Остаточна побудова когнітивної моделі у вигляді функціонального графа).

Таким чином, до когнітивної моделі входять когнітивна карта (орієнтований граф) та ваги дуг графа (оцінка взаємовпливу або впливу факторів). При визначенні ваг дуг орієнтований граф перетворюється на функціональний.

### 12.2 Орієнтований граф (когнітивна карта)

У межах когнітивного підходу часто терміни «когнітивна карта» і «орієнтований граф» вживаються як рівнозначні; хоча поняття орієнтований граф ширше, а термін «когнітивна карта» вказує лише одне із застосувань орієнтованого графа.

Когнітивна карта складається з факторів (елементів системи) та зв'язків між ними.

Для того щоб зрозуміти та проаналізувати поведінку складної системи, будують структурну схему причинно-наслідкових зв'язків елементів системи (чинників ситуації). Два елементи системи А і В, зображуються на схемі у вигляді окремих точок (вершин), з'єднаних орієнтованою дугою, якщо елемент А пов'язаний з елементом причинно-наслідкового зв'язку:  $A \rightarrow B$ , де: А – причина, В – наслідок.

Фактори можуть впливати один на одного, причому такий вплив може бути позитивним, коли збільшення (зменшення) одного фактора призводить до збільшення (зменшення) іншого фактора, і негативним, коли збільшення (зменшення) одного фактора

призводить до зменшення (збільшення) ) іншого фактора Цей вплив може мати і змінний знак залежно від можливих додаткових умов.

Подібні схеми подання причинно-наслідкових зв'язків широко використовуються для аналізу складних систем економіки та соціології.

### **12.3 Функціональний граф (завершення побудови когнітивної моделі)**

Когнітивна карта відображає лише факт впливу факторів один на одного. У ній не відбивається ні детальний характер цих впливів, ні динаміка зміни впливів у залежність від зміни ситуації, ні тимчасові зміни самих чинників.

Врахування всіх цих обставин вимагає переходу на наступний рівень структуризації інформації, тобто до когнітивної моделі.

На цьому рівні кожен зв'язок між факторами когнітивної карти розкривається відповідними залежностями, кожна з яких може містити як кількісні (вимірювані) змінні, так і якісні (не вимірювані) змінні. У цьому кількісні змінні видаються природним чином їх чисельних значень. Кожній якійсній змінній ставиться у відповідність сукупність лінгвістичних змінних, що відображають різні стани цієї якісної змінної (наприклад, попит попит може бути «слабким», «помірним», «ажіотажним» тощо), а кожній лінгвістичній змінній відповідає певний числовий еквівалент у шкалі [0,1].

У міру накопичення знань про процеси, що відбуваються у досліджуваній ситуації, стає можливим детальніше розкривати характер зв'язків між факторами.

Формально когнітивна модель ситуації може, як і когнітивна карта, бути представлена графом, проте кожна дуга в цьому графі представляє вже якусь функціональну залежність між відповідними факторами. Тобто когнітивна модель ситуації представляється функціональним графом

#### **Контрольні запитання**

1. В чому полягає мета побудови когнітивної моделі?
2. Дайте визначення когнітивній карті.
3. Поясніть, в чому відмінність понять «орієнтований граф» та «когнітивна карта».
4. Визначте, що таке функціональний граф?
5. Поясніть, як відбувається перехід на наступний рівень структуризації інформації?

#### **Задачі для самостійного розв'язання**

Завдання. Побудувати когнітивні карти для наступних ситуацій.

1. Випуск нової продукції на ринок.
2. Як спланувати відпустку.
3. Створення програмного забезпечення.
4. Як обрати ВНЗ для вступу.
5. Планування часу для офісного працівника.
6. Як зробити ремонт в кімнаті.
7. Фінансова грамотність для юнаків.
8. Створення безоплатного коворкінгу для студентів.
9. Оформлення документів для виїзду за кордон.
10. Написання курсової роботи.

### **РОЗДІЛ 13. Системний аналіз процесів одержання інформації**

Важливо пам'ятати, що інформація, яка міститься в наукових документах, об'єктивно підпорядковується закону розсіювання. Повнота і точність пошуку являють

собою конкуруючі показники: підвищення одного з них веде до зниження іншого. Збільшуючи повноту пошуку, ми неминуче зменшуємо його точність і навпаки, збільшуючи точність пошуку, зменшуємо його повноту.

**Ефективність інформаційного пошуку** визначають показники, які характеризують знаходження релевантних документів. Вони підрозділяються на семантичні (*точність* та *повнота* пошуку, *коефіцієнт інформаційного шуму*, *коефіцієнт втрат* тощо) та техніко-економічні (оперативність пошуку, вартість та трудоемність пошуку).

Відповідність знайдених в процесі інформаційного пошуку знань або даних інформаційній потребі користувача (в часному випадку - інформаційному запиту) називається *пертинентністю*. Змістовна відповідність відображуваного результату його запиту за формальними (синтаксичними, морфологічними) ознаками називається *релевантністю*.

Класифікація методів практичного видобутку знань

Ця класифікація дозволяє інженерам по знаннях обрати потрібний метод в залежності від конкретної задачі і ситуації. Основний принцип поділу зв'язаний з джерелом знань

Видобуток знань

**Комунікативні методи.** Методи і процедури контактів інженера по знаннях з експертом

- Пасивні: спостереження, протокол «думок вголос», лекції.
- Активні
  - Групові: «мозковий штурм», круглий стіл, рольові ігри.
  - Індивідуальні: анкетування, інтерв'ю, діалог, експертні ігри.

**Текстологічні методи.** Методи видобутку знань з документів

- Аналіз підручників, аналіз літератури, аналіз документів

Переважно аналітик комбінує різні методи. В пасивних методах провідна роль надається експерту, в активних – ініціатива повністю в аналітика. Активні і пасивні методи можуть чергуватися навіть під час одного сеансу.

**Пасивні методи** вимагають від аналітика вміння чітко аналізувати потік знань від експерту і виявляти вагомні фрагменти. Недолік – відсутній зворотний зв'язок. **Активні методи** можна поділити в залежності від кількості експертів.

**Групові методи** активізують мислення учасників дискусії і дозволяють виявляти різні аспекти проблеми. Індивідуальні методи є поширеними, оскільки позитивно сприймаються більшістю експертів. Вони широко застосовуються в соціології, економіці, менеджменті, педагогіці для підготовки керівників, вчителів, лікарів тощо.

**Комунікативні методи. Пасивні методи.**

Пасивні методи – провідна роль в експерта, аналітик лише фіксує роздуми експерта під час роботи по прийняттю рішення.

**Спостереження**

Аналітик знаходиться безпосередньо поруч з експертом під час його професійної діяльності або імітації діяльності. Під час сеансу аналітик записує всі дії експерта, його репліки і пояснення. Основна умова – не втручатися в роботу експерта і не нав'язувати власних структур представлення.

Такий метод є прийнятним на початкових етапах розробки, переважно застосовується у сукупності з іншими методами.

**Аналіз протоколів «думок вголос»**

Експерт коментує свої дії і рішення, а також пояснює весь ланцюжок своїх роздумів. Основна складність полягає у поясненні, як він думає, оскільки люди не завжди достовірно вербалізують власні думки та дії.

**Лекції**

Найдавніший спосіб передачі знань. Експерт може не бути досвідченим лектором, тому основну увагу слід приділити на здібності аналітика слухати, конспектувати та засвоювати лекцію. Мистецтво конспектування полягає у вмінні записати головне, пропустити другорядне, виділяти фрагменти знань (параграфи), записувати осмислені речення, вмінні узагальнювати.

#### **Активні індивідуальні методи**

Активну функцію виконує аналітик, який пише сценарій і режисур сеанси видобутку знань.

##### **Анкетування**

Стандартизований жорсткий метод. Аналітик складає анкету і надає її кільком

##### **Інтерв'ю**

Специфічна форма спілкування, в якій аналітик задає серію питань. Великій досвід у проведенні інтерв'ю мають журналісти. Питання в інтерв'ю є способом передачі думок і позиції аналітика.

##### **Вільний діалог**

Метод у формі бесіди, в якому немає регламентованого плану та активних питань. Цей метод потребує високої професійної та психологічної підготовки.

#### **Активні групові методи**

##### **Круглий стіл**

Це є обговорення будь-якої проблеми з обраної предметної області, в якому приймають участь кілька експертів. Спочатку учасники говорять у певному порядку, а потім переходять до дискусії. Число учасників від 3 до 5-7.

##### **Мозковий штурм**

Це один з найпоширеніших методів вивільнення та активізації творчого мислення. Вперше метод було застосовано у 1939 році в США як спосіб отримання нових ідей за умови заборони критики. Оскільки побоювання практики заважає творчому мисленню, тому основною ідеєю «мозкового штурму» є відокремлення процедури генерування ідей в закритій групі спеціалістів від процесу аналізу та оцінювання висловлених ідей.

Атака триває недовго, біля 40 хвилин. Учасники (до 10 чоловік) можуть висловлювати любі ідеї на задану тему. Переважно висловлюють більше за 50 ідей (по 4 хвилини на виступ). Найважливішим моментом буде, коли починається пік невимушеної генерації гіпотез, навіть самих неймовірних. При наступному аналізі може виявитися лише 10-15% розумних ідей, але серед них траплятимуться доволі оригінальні. Оцінюють результати експерти, які не приймали участі в генерації.

Аналітик повинен вільно керувати аудиторією, підібрати активну групу експертів «генераторів», не притискати погані ідеї. Треба володіти мистецтвом задавати питання аудиторії, бо питання є тим гачком, на який витягуються ідеї. Основний девіз «Чим більше ідей – тим краще». Фіксація сеансу – протокол або магнітофон.

#### **Експертні ігри**

**Ділова гра** – це експеримент, де учасникам пропонують виробничу ситуацію, а вони на підставі життєвого досвіду, загальних і спеціальних знань приймають рішення. Рішення аналізуються і відкриваються закономірності мислення учасників експерименту.

##### **Видобуток знань.**

Це процедура взаємодії аналітика з джерелом знань, під час якого стає зрозумілим процес роздумів фахівців при прийнятті рішень та структура їх уявлень про предметну область.

Труднощі видобутку знань:

1. Організаційні складнощі..
2. Невдалий метод видобутку, що не збігається зі структурою знань в предметній області.
3. Неадекватна модель або мова для представлення знань.
4. Невміння налагодити контакт з експертом.

5. Різномірність у термінології.
6. Відсутність цілісності системи знань під час видобутку фрагментів.
7. Спрощення бачення світу експерта.

Процес видобутку знань це довга і містка процедура, в якій інженеру по знаннях потрібно відтворити модель предметної області, якою користуються експерти для прийняття рішень.

Часто, розробники-початківці ЕС спрощують процес і експерт виконує функції інженера по знаннях. Це недоцільно робити з кількох причин:

Знання експерта це результат багатьох прошарків досвіду, тобто при озвученні  $A \rightarrow D$ , експерт може не вказувати весь ланцюжок роздумів  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ .

Мислення є діалогічним, тому діалог інженера по знаннях і експерта є найбільш природною формою вивчення лабіринтів пам'яті експерта, в яких зберігаються знання невербального характеру (образів), і під час роз'яснень ці розмиті образи вербалізуються. Експерту складніше створити модель предметної області, оскільки він володіє більш глибокою та об'ємною інформацією. Об'єкти реального світу пов'язані більш як 200-ма типами відношень (часові, просторові, причинно-наслідкові тощо). Ці відношення і зв'язки предметної області утворюють складну систему, з якої виділити основну – головну структуру зручніше інженеру по знаннях, який озброєний системною методологією.

Виділимо змістовні структури:

M1 – зміст, що закладено автором (його модель світу).

M2 – зміст, що розуміє читач (аналітик) під час його інтерпретації.

T – це словесний одяг M1 (результат вербалізації).

Складність полягає у принциповій неможливості збігу знань, що утворюють M1 та M2.

Компоненти наукового тексту:

- Спостереження
- Наукові поняття
- Суб'єктивний погляд
- Загальні місця
- Запозиченість

При видобутку знань аналітик вирішує задачу декомпозиції цього тексту для реалізації бази знань фрагментів. Складність інтерпретації наукових текстів полягає у тому, що текст набуває змісту зазвичай лише у контексті.

Розрізняють мікро- і макроконтекст.

*Мікроконтекст* – це найближче оточення тексту (речення в абзаці, абзац в розділі).

*Макроконтекст* – це вся система знань, що пов'язана з предметною областю (знання, що явно не вказані у тексті).

Центральною ланкою видобутку знань є розуміння тексту.

*Розуміння* – це формування «другого тексту», тобто семантичної (понятійної) структури.

Основні моменти розуміння тексту:

1. Попередня гіпотеза про зміст всього тексту
2. Визначення незрозумілих слів
3. Гіпотеза про зміст тексту
4. Уточнення значень термінів і інтерпретація окремих фрагментів тексту
5. Формування змістовної структури тексту за рахунок встановлення внутрішніх зв'язків між окремими важливими словами і фрагментами
6. Прийняття основної гіпотези

Компоненти формування змісту тексту:

- Особистий досвід аналітика
- Загальнонаукова ерудиція

- Попередні знання про предметну область
- Екстракт тексту

Процес інтерпретації – складний процес, що не надається до формалізації і на який суттєво впливають індивідуальні компоненти, такі як когнітивний стиль пізнання, інтелектуальні характеристики тощо.

Але, для індивідуального процесу розуміння основною є процедура розбивання тексту на частини (змістовні групи), а зрештою стиснення вмісту кожного змістовного фрагменту у змістовну частину, тобто компресія (стиснення) тексту у вигляді набору ключових слів.

В якості ключового слова може бути люба частина речення або їх сполучення. Набір ключових слів – це набір базових точок, по яких згортається текст при кодуванні в пам'ять і усвідомлюється при декодуванні.

Текстологічні методи: аналіз спеціальної літератури, аналіз підручників, аналіз методи відрізняються за ступенем концентрації спеціальних знань та за співвідношенням спеціальних та фонових знань.

Найпростішим методом є аналіз підручників, де логіка викладення відповідає логіці предмету. Аналіз методик є складнішим, оскільки викладення є стислим і відсутні коментарі, як фонові знання. Для ефективної роботи варто комбінувати текстологічні методи.

### **Контрольні запитання**

1. Назвіть основні особливості системного аналізу.
2. Для яких цілей розробляється методика системного аналізу та у яких випадках вона застосовується?
3. Опишіть метод "мозкової атаки".
4. Опишіть методи експертних оцінок.
5. Опишіть метод "Дельфі".
6. Опишіть діагностичні методи.
7. Опишіть морфологічні методи.
8. Опишіть метод дерева цілей.
9. Опишіть матричні методи.
10. Опишіть методи мережі.
11. Опишіть статистичні методи.
12. Опишіть методи математичного програмування.

### **Задачі для самостійного розв'язання**

Завдання. Необхідно отримати вичерпну інформацію від експерта в заданій предметній області. Яким із методів ви скористуетесь? Обґрунтуйте відповідь.

Варіанти предметних областей.

1. Міське самоврядування: оновлення трамвайного парку
2. Хімічна промисловість: створення штучного волосся.
3. Освіта: впровадження обов'язкової професійно-технічної освіти.
4. Аграрний сектор: використання мінеральних добрив.
5. Охорона здоров'я: створення БАД.
6. Індустрія розваг: зйомка історичної кінострічки.
7. Кредитування та фінанси: створення бази даних для фіксації кредитних порушників.
8. Технології: розробка платформи для безкоштовної онлайн-освіти людей похилого віку.
9. Архітектура: відновлення фасадів історичних будівель.

## РОЗДІЛ 14. Проектування КІС

### 14.1 Основні підходи до проектування КІС

Застосування ефективних методів і засобів створення інформаційної системи, правильна побудова технології її створення дають змогу суттєво знизити витрати та скоротити терміни розробки, забезпечуючи якісне створення системи обробки даних, які відповідають вимогам користувачів. При створення ІС використовують цілий комплекс методів і засобів її розробки.

Методом створення інформаційної системи є підтриманий відповідними засобами проектування спосіб її створення.

Засоби створення інформаційної системи – це типові проектні рішення (ТПР), пакети прикладних програм (ППП), типові проекти (ТП) чи інструментальні засоби проектування інформаційної системи.

Засоби створення ІС поділяються на *інструментальні та об'єктні*.

*Інструментальні засоби* створення ІС орієнтовані безпосередньо на процес проектування та призначені для підвищення продуктивності праці розробника (наприклад, документатор програм, генератор програм і т. п.).

*Об'єктні засоби* створення ІС також знижують трудомісткість проектних робіт, але головним результатом їх застосування є проектні рішення (наприклад, PPP - пакети прикладних програм, ТП - типові проекти).

Засоби належать до тієї чи іншої групи. Крім того, засоби можуть дублювати один одного, тому одним із завдань, яке ми розв'язуємо при плануванні робіт зі створення інформаційної системи, є правильний вибір засобів проектування щодо конкретних умов застосування.

У ході розробки інформаційної системи та її структури використовують два методи: «зверху – вниз» і «знизу – вгору» або локальний і системний підходи до створення інформаційної системи.

Існує дві групи методів створення ІС: орієнтовані на дані та орієнтовані на процедури.

Методи також можна класифікувати за ступенем автоматизації проектних робіт: оригінальні, типові, автоматизовані.

Перші (тобто орієнтовані на дані) - *роблять основний акцент на даних*.

Останні (тобто орієнтовані на процедури) - надають особливого значення процесу декомпозиції структури у створенні архітектури програми.

Найбільш поширені методології, орієнтовані на обробку: модульне програмування, метод функціональної декомпозиції, метод проектування потоку даних або структур даних, метод НІРО.

### 14.2 Модульне проектування

Основні концепції модульного проектування:

- 1) кожен модуль реалізує єдину незалежну функцію;
- 2) кожен модуль має єдину точку входу/виходу;
- 3) розмір модуля по можливості намагаються мінімізувати;
- 4) кожен модуль може бути спроектований і закодований різними членами бригади програмістів і може бути окремо протестований;
- 5) уся система побудована з модулів.



При такому підході складна система розподіляється на кілька частин, одночасно створюваних різними програмістами. Кожен модуль реалізує єдину функцію. Розмір модуля невеликий, тому тестування може управлятися і може бути проведене дуже ретельно. Після кодування і тестування всіх модулів відбувається їх інтеграція і тестується вся система. Під час супроводження тестується і налагоджується тільки той модуль, який погано працює. Очевидні переваги у полегшенні написання і тестування програм, зменшується вартість їх супроводження.

Метод функціональної декомпозиції базується на стратегії типу «розділай - і керуй» де критерієм декомпозиції системи є концепція приховування інформації.

Під час використання цього критерію кожен модуль характеризується суб'єктивним рішенням проектувальника. Тільки деяка інформація про цей модуль необхідна іншим модулям, зв'язки між модулями організуються за допомогою добре визначених інтерфейсів. Іншою важливою ідеєю є проектування програмної системи у вигляді набору віртуальних машин, замість традиційного підходу, в ході якого вживаються блок-схеми.

Перевага функціональної декомпозиції у її застосовності. Недоліки - непередбаченість і мінливість.

Методи проектування з використанням потоку даних використовують потік даних як рушійну силу процесу проектування програми. При цьому використовуються різні функції відображення, які перетворюють потік інформації на структуру програми.

### **14.3 Структурне проектування**

Структурне проектування складається з концепції структурного проектування, генеральної лінії композиційного проектування і деталізації проекту, критерію ступеня, прийомів аналізу проекту. Підхід полягає у відображенні потоку даних проблеми у структуру програми з використанням деяких прийомів аналізу проекту.

Процедура така:

- 1) ідентифікується потік даних і відображується граф потоку даних;
- 2) ідентифікуються вхідні, центральні та вихідні перетворюючі елементи;
- 3) формується ієрархічна структура програми, яка використовує ці елементи;
- 4) деталізується і оптимізується структура програми, сформульована на третьому кроці.

Такий підхід застосовується, коли відсутні яскраво виражені структури даних. Технологія структурного аналізу проекту SADT4 (Техніка структурованого аналізу і проектування) оснований на структурному аналізі. SA - графічна мова, що використовується для ясного вираження ієрархічних і функціональних зв'язків між будь-якими об'єктами та діями. Структура системи, представлена графічно, виділяє інтерфейси між компонентами структурно, модульно й ієрархічно.

SADT – включає процедури планування управління розробкою і управління конфігурацією, засоби організації працюючих спеціалістів у бригади та зв'язки між ними. SADT успішно застосовується у різних сферах.

Метод особливо ефективний на ранніх і пізніх стадіях розвитку системи і менш ефективний при деталізації. У той самий час, дозволяючи кожному проектувальнику створювати незалежні діаграми, можна дістати додаткові труднощі у процесі їх перегляду.

Основна процедура проектування з використанням НІРО:

- 1) почати з найвищого рівня абстракції;
- 2) ідентифікувати вхід, обробку і вихід;
- 3) з'єднати кожний елемент входу й виходу з відповідною обробкою;
- 4) задокументувати кожний елемент системи, використовуючи НІРО діаграми;
- 5) деталізувати діаграму, використовуючи кроки 1-4.

### **14.4 Об'єктно-орієнтоване проектування**

У методологіях орієнтованих на дані виділяються компоненти проекту, основані на даних. Це так звана об'єктно-орієнтована методологія проектування і методологія проектування концептуальних баз даних. Оскільки обидві технології відносяться до методу формалізації специфікацій, спочатку розглянемо концепцію методів формальних специфікацій.

Програми можуть бути побудовані методично (систематично) виходячи з формальних специфікацій на дані, а якими вони працюють. Базуючись на формальних специфікаціях, можна розробити прийоми автоматичного програмування і доведення правильності програм. Особлива увага приділяється абстракціям даних.

Об'єктно-орієнтована методологія проектування основана на концепціях приховування інформації і абстрактних типів даних. Такий підхід розглядає всі ресурси (дані, модулі та системи), що виступають як об'єкти. Кожен об'єкт містить деяку структуру даних (або тип даних), обрамлену набором процедур, які знають, як маніпулювати з цими даними. Використовуючи цю методологію, розробник може створити свій власний абстрактний тип і відобразити проблемну сферу у ці створені ним абстракції замість традиційного відображення проблемної сфери у передбачені структури, якою управляють, і структури даних мови реалізації. Подібний підхід визнаний як більш натуральний, ніж методології, орієнтовані на обробку (на процес), через зможу створювати у процесі проектування різні види абстракції типів даних. На цьому шляху розробник може сконцентруватися на проекті системи, не хвилюючись про деталі інформаційних об'єктів, які використовуються у системі.

Основні дії, що реалізуються методологією:

- 1) визначити проблему;
- 2) розвинути неформальну стратегію, що являє собою загальну послідовність кроків, яка задовольняє вимоги до системи;
- 3) формалізувати стратегію;
- 4) ідентифікувати об'єкти та їхні атрибути;
- 5) ідентифікувати операції над об'єктами;
- 6) встановити інтерфейси;
- 7) реалізувати операції.

Методологія, основана на проектуванні концептуальних баз даних належить до класу методологій, орієнтованих на дані, і покликана дати проектувальнику методичні вказівки у процесі трансформації специфікацій у концептуальну схему бази даних.

Цей підхід ставить за мету установити уніфіковану концептуальну модель з багатшим семантичним значенням і використовувати концепцію абстракцій даних для спрощення проектування. У дійсності це різновид подання знань, який простягається від проблем реального світу до коду, який виконує ЕОМ. Процес проектування розглядається як процес побудови моделі.

Відомі методи конструювання концептуальної моделі, основані на прийомах узагальнення/специфікації. Передбачається, що проєктант починає з визначення найбільш загальних, натурально виникаючих класів об'єктів і подій проблемної сфери. Далі деталі програмної системи вводяться послідовними ітераціями описання підкласів уже поданих класів і специфікацій взаємодій у цих класах.

Об'єктні засоби створення ІС також знижують трудомісткість проектних робіт, але головним результатом їх застосування є проектні рішення (наприклад, ППП, ТП). Низку засобів можна віднести до тієї чи іншої групи; крім того, вони можуть дублювати один одного, тому однією із задач, яку ми розв'язуємо при плануванні робіт по створенню інформаційної системи, є правильний вибір засобів проектування щодо конкретних умов застосування.

Засоби створення ІС повинні:

- 1) комплексно охоплювати процес створення ІС;

- 2) бути сумісними;
- 3) бути легкими в освоєнні та простими в користуванні;
- 4) бути універсальними у своєму класі;
- 5) мати можливість організувати процес проектування в режимі інтерактивної взаємодії розробника з ЕОМ;
- 6) давати змогу створювати адаптивні ІС;
- 7) бути економічно ефективними.

Засоби створення ІС розглянемо в рамках методів створення ІС. Для оригінального методу характерні: стандартні засоби операційних систем; процедури, що реалізують типові процеси обробки даних; окремі інструментальні засоби створення ІС.

Для типового методу характерним є те, що й для попереднього, а також типові компоненти, оформлені у вигляді типових проектних рішень (ТПР) , пакетів прикладних програм (ППП) і типових ІС. Для автоматизованого проектування характерні: стандартні засоби операційних систем, взаємопов'язаний комплекс

### **Контрольні запитання**

1. Що таке метод створення інформаційної системи?
2. Поясніть різницю між інструментальними та об'єктними засобами створення ІС.
3. Перерахуйте найбільш поширені методології.
4. Поясніть, в чому полягає суть структурного проектування.
5. Визначте, що таке об'єктно-орієнтоване проектування.
6. Перерахуйте вимоги до засобів створення ІС.

### **Завдання для самостійного розв'язання**

Завдання. Виконати структурне та об'єктно-орієнтоване проектування однієї і тієї ж системи. Пояснити відмінності між двома видами проектування. В чому один вид проектування переважає інший для конкретної інформаційної системи?

1. Інформаційна система складу
2. Система обліку робочого часу
3. Інформаційна система житлового агентства
4. Інформаційна система технічної експертизи
5. Система продажу квитків на футбол
6. Текстовий редактор

## **РОЗДІЛ 15. Об'єктно-орієнтоване проектування. Основи UML**

### **15.1 Уніфікована мова моделювання UML**

Методологія об'єктно-орієнтованого проектування стверджує, що при аналізі предметної області виділяються сутності, дані та методи їх обробки. Загальноприйнятою нотацією для представлення системи в об'єктно-орієнтованому представленні являється мова UML (англ. Unified Modeling Language - уніфікована мова моделювання).

UML представляє систему у вигляді набору стандартних діаграм, які служать засобом комунікації між розробниками, а також між бізнес-аналітиком і замовником. За допомогою діаграм можна візуалізувати систему з різних точок зору.

Одна з діаграм, наприклад, може описувати взаємодію користувача з системою, інша – зміну станів системи в процесі її роботи, третя – взаємодію елементів системи між собою, і т.ін.

Складну систему представляють у вигляді набору невеликих і майже незалежних моделей – діаграм, причому жодна з них окремо не розглядується, оскільки кожна

фокусується на якомусь певному аспекті функціонування системи і виражає різний рівень абстракції. Іншими словами, кожна модель відповідає деякій певній, приватній точці зору на проєктовану систему.

Таким чином, жодна окрема діаграма не є моделлю. Діаграми – лише засіб візуалізації моделі, і лише набір діаграм складає модель системи і якнайповніше її описує.

Побудова структурних або статичних діаграм зводиться до розбиття системи або підсистеми на елементи, визначення зв'язку між елементами і зображенню отриманого результату.

У загальному вигляді процес розбиття системи має такий вигляд.

1. На першому етапі отримують чітке загальне уявлення про систему як про єдине ціле, сформулювавши її опис у вигляді однієї-двох пропозицій. Наприклад, необхідно спроектувати систему, яка дозволяла б вводити необхідні дані, складати розклад зайняття і представляти його в зручному для різних користувачів виді.

2. На другому етапі необхідно зробити абсолютно протилежне загальному опису системи – перерахувати усі можливі елементи цієї системи. Наприклад, необхідно отримати опис системи з точки зору її можливостей. Для цього перераховують усіх можливих користувачів: співробітник кафедри вводить дані, завідувач кафедри, співробітник деканату, декан, студенти, викладачі, завідувачі лабораторіями, прибиральниці аудиторій, співробітники навчально-методичного відділу і т. ін..

3. На третьому етапі «синтезують» опис системи в необхідному виді, згрупувавши її елементи. Наприклад, серед перерахованих користувачів системи складання розкладу можна виділити користувачів, які мають схожі функції, – вводять дані. Це співробітники деканату, кафедр, завідувачі лабораторіями. Представимо їх одним елементом системи і назовемо його «оператор». Також можна виділити «читачів» – студенти, викладачі, прибиральниці, і «диспетчери» – укладачі розкладу, декани і т. ін.

У загальному випадку, таке покрокове розбиття системи для однієї діаграми треба повторити кілька разів. Наприклад, для кожного з отриманих користувачів системи складання розкладу («оператора», «читача» і «диспетчера») треба визначити їх можливі дії. Побудова динамічних діаграм, які описують послідовностей дій, взаємодії конкретних об'єктів, має свої особливості. Оскільки в цьому випадку структура системи з тією або іншою точністю вже визначена, не треба придумувати елементи, що беруть участь у дії, а вибрати потрібні об'єкти з наявних. Для вибраних об'єктів треба визначити зв'язки між ними, повідомлення або інші способи взаємодії. Таким чином, побудова динамічних діаграм фактично служить для уточнення деталей вже спроектованої системи.

## 15.2 Основні елементи та архітектура інформаційної системи UML

Мова UML містить 4 типи сутностей: структурні, групуючі, поведінкові і анотаційні.

Між сутностями існує 4 типи стосунків: залежність, асоціація, узагальнення і розширення.

Сутності і стосунки в UML мають абстрактний характер. Для того, щоб позначення на діаграмах мали конкретніше значення, використовуються механізми розширення – доповнення і стереотипи.

Доповнення додають до стандартного позначення текстову або графічну інформацію, дозволяючи вказувати додаткові властивості. Наприклад, для відношення «асоціація» існує додавання, що дозволяє вказувати кратність відношення (аналогічно тому, як це робиться на діаграмах «суть-зв'язок»).

Стереотипи конкретизують сенс елементу UML. Наприклад, для відношення «залежність» існує стереотип «розширення», який показує, що відбувається розширення функцій залежного елементу.

Доповнення зображуються за допомогою додавання до основного елемента спеціального символу або тексту. Для вказівки стереотипу його ім'я в лапках дописується перед назвою елементу UML.

У рамках мови UML усі уявлення про модель складної системи фіксуються у вигляді спеціальних графічних конструкцій, що називаються діаграмами.

Діаграма (diagram) – графічне представлення сукупності елементів моделі у формі зв'язного графа, вершинам і ребрам (дугам) якого приписується певна семантика. Нотація діаграм – основний засіб розробки моделей на мові UML.

У нотації мови UML визначені наступні види діаграм :

- 1) варіантів використання (usecasediagram)
- 2) класів (classdiagram)
- 3) кооперації (collaborationdiagram)
- 4) послідовності (sequencediagram)
- 5) станів (statechartdiagram)
- 6) діяльності (activitydiagram)
- 7) компонентів (componentdiagram)
- 8) розгортань (deploymentdiagram)

Перелік цих діаграм і їх назви являють собою частину графічної нотації мови UML. Процес об'єктно-орієнтованого проектування та аналізу нерозривно пов'язаний з процесом побудови цих діаграм, при цьому сукупність побудованих таким чином діаграм є самодостатньою в тому сенсі, що в них утримується вся інформація, яка необхідна для реалізації проекту складної системи.

Кожна з цих діаграм деталізує і конкретизує різні уявлення про модель складної системи в термінах мови UML. Наприклад, діаграма варіантів використання (по-іншому, діаграма прецедентів) є найбільш загальною концептуальною моделлю складної системи, яка є початковою для побудови усіх інших діаграм. Діаграма класів, за своєю суттю, логічна модель, що відбиває статичні аспекти структурної побудови складної системи. Діаграми кооперації і послідовностей є різновидами логічної моделі, які відбивають динамічні аспекти функціонування складної системи. Діаграми станів і діяльності призначені для моделювання поведінки системи. І, нарешті, діаграми компонентів і розгортання служать для представлення фізичних компонентів складної системи і тому відносяться до її фізичної моделі.

#### **15.4 Діаграми варіантів використання**

На діаграмах варіантів використання відображається взаємодія між варіантами використання, що представляють функції системи, і дійовими особами, що представляють людей або системи, які одержують або передають інформацію в цю систему. З діаграм варіантів використання можна отримати досить багато інформації про систему. Цей тип діаграм описує загальну функціональність системи. Користувачі, менеджери проектів, аналітики, розробники вивчаючи діаграми варіантів використання, можуть зрозуміти, що система повинна робити.

Базові елементи діаграми варіантів використання. До базових елементів даної діаграми відносяться варіанти використання, актор і інтерфейс.

Варіант використання застосовується для специфікації загальних особливостей поведінки системи або іншої суті без розгляду її внутрішньої структури (наприклад, оформлення замовлення на купівлю товару, отримання інформації про кредитоспроможність клієнта, відображення форми на екрані монітора).

*Актор* – це зовнішня по відношенню до модельованої системи сутність, яка взаємодіє з системою і використовує її функціональні можливості для вирішення певних завдань. При цьому актори служать для позначення погодженої безлічі ролей, які можуть грати користувачі в процесі взаємодії з проєктованою системою..

Актори взаємодіють з системою за допомогою передачі і прийому повідомлень від варіантів використання. Повідомлення є запитом актором сервісу від системи і отримання цього сервісу. Ця взаємодія може бути виражена за допомогою асоціацій між окремими акторами і варіантами використання або класами. Окрім цього, з акторами можуть бути пов'язані інтерфейси, які визначають, яким чином інші елементи моделі взаємодіють з цими акторами.

*Інтерфейс* служить для специфікації параметрів моделі, які видимі ззовні без вказівки їх внутрішньої структури (див. рис. 9). У діаграмах варіантів використання інтерфейси визначають сукупність операцій, що забезпечують необхідний набір сервісів або функціональності для акторів. Інтерфейси не можуть містити ні атрибутів, ні станів, ні спрямованих асоціацій. Вони містять тільки операції без вказівки особливостей їх реалізації. Формально інтерфейс еквівалентний абстрактному класу без атрибутів і методів з наявністю тільки абстрактних операцій.

#### **Типи відношень в діаграмі прецедентів**

Для вираження стосунків між акторами і варіантами використання застосовуються стандартні види стосунків.

*Відношення асоціації* стосовно діаграм варіантів використання служить для позначення специфічної ролі актора в окремому варіанті використання.

*Відношення розширення* між варіантами використання позначається пунктирною лінією із стрілкою (варіант відношення залежності), спрямованою від того варіанту використання, який є розширенням для початкового варіанту використання.

*Відношення розширення* відмічає той факт, що один з варіантів використання може приєднувати до своєї поведінки деяку додаткову поведінку, визначену для іншого варіанту використання.

*Відношення узагальнення* графічно позначається суцільною лінією із стрілкою, яка вказує на батьківський варіант використання.

*Відношення включення* між двома варіантами використання вказує, що поведінка одного варіанту використання включається в якості складеного компонента в послідовність поведінки іншого варіанту використання.

### **15.4 Діаграма класів**

Діаграми класів при моделюванні об'єктно-орієнтованих систем зустрічаються частіше за інших. На таких діаграмах відображається безліч класів, інтерфейсів, кооперацій і стосунків між ними.

Діаграма класів служить для представлення статичної структури моделі системи в термінології класів об'єктно-орієнтованого програмування. Крім того, діаграми класів складають основу ще двох діаграм – компонентів і розгортання.

Діаграма класів може відбивати різні взаємозв'язки між окремими сутностями предметної області, такими як об'єкти і підсистеми, а також описує їх внутрішню структуру і типи стосунків. На цій діаграмі не вказується інформація про тимчасові аспекти функціонування системи.

Компоненти діаграми класів Класом називається опис сукупності об'єктів із загальними атрибутами, операціями, відношеннями і семантикою. Наприклад, клас «Стіна» описує об'єкти із загальними властивостями: заввишки, завдовжки, завширшки, і так далі. При цьому конкретні стіни розглядатимуться як окремі екземпляри класу «Стена». У кожного класу є ім'я (просте або складене, до якого додано ім'я пакету, в який входить клас). Ім'я класу в пакеті має бути унікальним. Клас реалізує один або декілька інтерфейсів.

Операція – це деякий сервіс, який надає екземпляр або об'єкт класу на вимогу своїх клієнтів (інших об'єктів, у тому числі і екземплярів цього класу). Клас може містити будь-яке число операцій або не утримувати їх зовсім. В мовах високого рівня, таких, як

C++, Java, операції відповідають функціям, оголошеним в класі. Операцію можна описати детальніше, вказавши імена і типи параметрів, їх значення, прийняті за умовчанням, а також тип значення, що повертається.

Обов'язки класу – це свого роду контракт, якому він повинен підкорятися. Атрибути і операції є властивостями, за допомогою яких виконуються обов'язки класу.

Моделювання класів краще всього розпочинати з визначення обов'язків сутностей, які входять в словник системи. але на практиці добре структурований клас має, щонайменше, один обов'язок; з іншого боку, їх не повинно бути і надто багато. При уточненні моделі обов'язку класу перетворюються в сукупність атрибутів і операцій, які повинні якнайкраще забезпечити їх виконання.

### **Контрольні запитання**

1. Дайте визначення, що таке UML.
2. Як виглядає процес розбиття системи?
3. Позначте типи сутностей в UML.
4. Які типи зв'язків між сутностями відомі?
5. Перерахуйте види діаграм, що існують в нотації UML.

### **Задачі для самостійного розв'язання**

Створити діаграму прецедентів (варіантів використання) та діаграму класів для запропонованих систем.

#### **1. Програмне забезпечення банкомату**

Огляд: банкомат по карті дозволяє знімати готівку з рахунку та/або друкувати довідку про залишок на рахунку.

#### **2. Інформаційна система бібліотеки**

Огляд: інформаційна система бібліотеки дозволяє шукати книги у своєму каталозі, враховувати видачу книг на руки та повернення книг, а також дозволяє додавати книги до фонду та списувати їх.

#### **3. Інформаційна система поліклініки**

Огляд: інформаційна система поліклініки дозволяє ставити та знімати хворих з обліку, записувати хворих на прийом до лікарів, враховувати факт прийому, а також дозволяє вести історію хвороби (медичну картку) хворого.

#### **4. Інформаційна система деканату**

Огляд: інформаційна система деканату дозволяє приймати та відраховувати студентів, вести облік успішності за підсумками сесії, переводити студентів із групи до групи та з курсу на курс.

#### **5. Система миттєвого обміну повідомленнями**

Огляд: система дозволяє реєструвати та анулювати абонентів, дозволяє абонентам підключатися та відключатися від системи, та дозволяє підключеним абонентам обмінюватися текстовими повідомленнями у реальному часі.

## **РОЗДІЛ 16. Метод мережевого планування в системному аналізі**

### **16.1 Основні можливості мережевого планування**

Одним з методів системного аналізу і контролю є мережеве планування, що здобуло широку популярність під назвою методів системи PERT (Program Evaluation and Review Technique), що можна перевести як «Техніка оцінки і контролю виробничих програм».

Цілями застосування мережевих методів планування і управління є розробка оптимального або близького до нього варіанту здійснення програми, що забезпечує раціональну ув'язку в часі і просторі виконуваних робіт і найкращого використання ресурсів, а також ефективне управління процесом реалізації цієї програми. Використання методів мережевого планування і дозволяє:

- чітко відобразити об'єм і структуру вирішуваної проблеми, виявити з будь-якою необхідною мірою деталізації роботи, що утворюють єдиний комплекс процесу вирішення проблеми; визначити події, здійснення яких потрібне для досягнення заданих цілей;
- виявити і усебічно проаналізувати взаємозв'язок між роботами, оскільки в самій методиці побудови мережевої моделі закладено точне відображення усіх залежностей, обумовлених станом об'єкту і умовами зовнішнього і внутрішнього середовища;
- розробити обґрунтований план дій із створення системи або вирішення проблеми, оскільки при складанні мережі використовуються досвід і знання великого колективу кваліфікованих фахівців і експертів, що беруть безпосередню участь в її розробці;
- ефективніше використати ресурси, оскільки аналіз мережевої моделі і виявлення «критичних» робіт і резервів часу на «некритичних» роботах дозволяють визначити шляхи раціонального перерозподілу ресурсів і прискорити досягнення цілей;
- широко використати сучасну обчислювальну техніку, завдяки чому з'являється можливість точніше врахувати вплив тих або інших чинників, перевірити ефективність різних варіантів дій і своєчасно здійснювати перерозподіл ресурсів;
- сконцентрувати увагу органів управління на роботах, в першу чергу, визначальних досягнення цілей, і таким чином завчасно виявляти можливі «вузькі місця» і своєчасно вжити заходи по їх усуненню;
- швидко обробляти великі масиви звітних даних і забезпечувати керівництво своєчасною і вичерпною інформацією про фактичний стан реалізації програми, що створює сприятливу умову для ухвалення обґрунтованих рішень;
- спростити і уніфікувати звітну документацію.

Найбільш ефективними сферами застосування мережевих методів планування і управління є управління великими цільовими програмами, науково-технічними розробками і інвестиційними проектами, а також складними комплексами соціальних, економічних і організаційно-технічних заходів на національному і регіональному рівнях.

## 16.2 Елементи мережевого планування

*Мережевий графік* є інформаційно-динамічною моделлю, в якій зображуються взаємозв'язки і результати усіх робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети розробки. В основі мережевого моделювання лежить зображення планового комплексу робіт у вигляді графа – схеми, що складається із заданих точок (вершин), сполучених певною системою ліній. Відрізки, що сполучають вершини, називаються ребрами (дугами) графа. Ребрами зображуються на графі роботи, а вершинами графа – події.

Елементами мережевого графіку є:

- робота,
- подія,
- шлях.

Розрізняють наступні види РОБІТ.



*Дійсна робота* – трудовий процес, що вимагає витрат часу і ресурсів. Наприклад: монтаж устаткування, розробка проекту, проведення спостережень і так далі.

*Очікування* – це така робота, яка не вимагає витрат праці і ресурсів, але вимагає витрат часу. Прикладом очікування може бути процес тверднення бетону, обідня перерва.

*Залежність* – це «фіктивна робота». Вона є логічним зв'язком між двома або декількома подіями. Залежність не вимагає ні витрат часу, ні ресурсів. Вона вказує тільки, що можливість початку однієї роботи залежить від результатів іншої.

Дійсна робота і очікування зображуються на графі суцільною стрілкою (див. рис. 1а), залежність – пунктирною (див. рис. 1 б). Робота кодується номерами двох подій – передуючим і подальшим. На рис. 1 робота 1-2. Робота не може бути розпочата, якщо не виконані попередні їй роботи.

Довжина і напрям стрілок на мережевому графіку не пов'язані з тривалістю робіт.

Наступним характерним для мережевого графіку елементом є ПОДІЯ. Під *подією* розуміється факт, результат закінчення однієї або декількох робіт, необхідний і достатній для початку подальших робіт.

Подія зображується на графі колом з номером. Розрізняють подію як результат звершення однієї роботи (див. рис. 1в) і подію (сумарну) як результат звершення декількох робіт (див. рис. 1г).

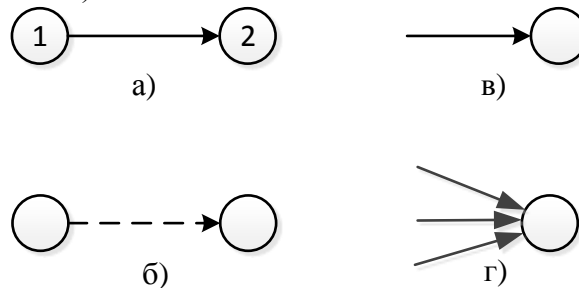


Рис. 1. Позначення робіт та подій

Подія може бути необхідним і достатнім результатом для початку однієї роботи (див. рис. 2а) або для початку декількох робіт (див. рис. 2б). Подія, за якою безпосередньо йде дана робота, називається початковою. Подія, якій безпосередньо передую дана робота, називається кінцевою.

Основними властивостями події є відсутність протяжності в часі. У мережевому графіку мають місце дві особливі події, які не мають усіх властивостей – це початкові та завершуючі події. Вихідна подія не є слідством, результатом робіт, що входять в мережу. Завершальна подія – не є умовою, необхідною для початку жодної з робіт.



Рис. 2 – Види подій

Третім елементом мережевого графіку є ШЛЯХ.

*Шлях* це безперервна послідовність робіт в мережевому графіку. Поняття шляху поширюється на будь-яку послідовність робіт по напрямку. Шлях найбільшої довжини між початковою і завершуючою подіями називається критичним. Тривалість критичного шляху визначає термін закінчення усього комплексу робіт.

Значення поняття критичного шляху визначається тим, що повна тривалість розробки дорівнює тривалості критичного шляху. Якщо тривалість розробки необхідно скоротити, то треба скорочувати передусім тривалість критичного шляху. Якщо при традиційному плануванні, бажаючи прискорити розробку, скорочували тривалість усіх або більшість робіт, то аналіз критичного шляху дозволяє виділити ті небагато робіт, від

яких дійсно залежить термін закінчення комплексу робіт. Будь-який інший шлях на мережевому графіку називається повним. Будь-який повний шлях, за винятком критичного, має резерв. До основних параметрів мережевого графіку відносяться: критичний шлях і резерви часу подій.

*Критичний шлях* – це найбільш протяжний за часом ланцюжок робіт, що ведуть від початкової до завершальної події.

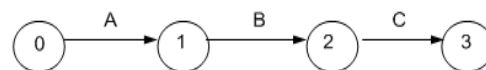
Резерв часу події – це такий проміжок часу, на який може бути відстрочене здійснення цієї події без порушення термінів завершення розробки в цілому.

Обчислення безпосередньо на мережевому графіку застосовуються, якщо число подій невелике. Для цього кожне коло, що означає подію, ділиться на чотири сектори. Верхній сектор відводиться для номера події, лівий – для обчислюваних ранніх термінів звершення подій ( $T_r$ ), нижній – для номера події, через яку до цієї події проходить максимальний за тривалістю шлях (для номера події, на якій досягається значення  $T_r$ , записуване в лівому секторі). Правий сектор призначений для обчислюваних пізніх термінів звершення подій ( $T_p$ ). Для визначення резервів часу подій з числа правого сектора що мають резерв часу, рівний нулю, відмічають критичний шлях.

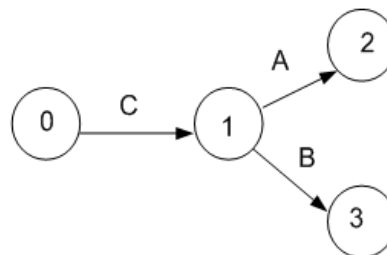
### 16.3 Правила побудови мережевих моделей

При складанні мережевих моделей необхідно користуватися наступними основними правилами.

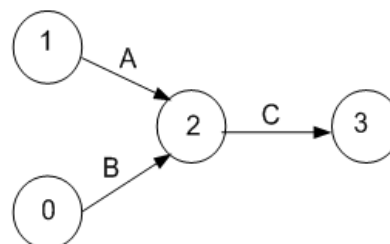
Правило 1. Якщо роботи  $A$ ,  $B$ ,  $C$  виконуються послідовно, то на мережевому графіку вони зображуються так:



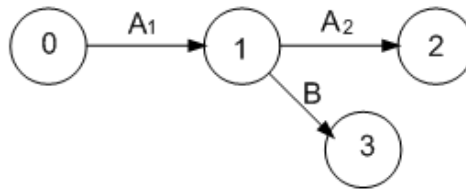
Правило 2. Якщо для виконання робіт  $A$  і  $B$  потрібний результат роботи  $C$ , то на мережевому графіку це зображується так:



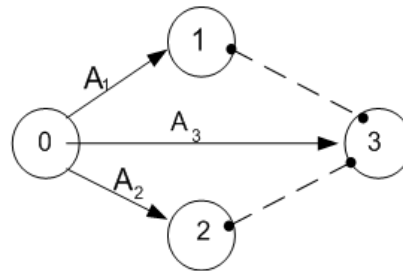
Правило 3. Якщо для виконання роботи  $C$  потрібний результат робіт  $A$  і  $B$ , то на мережевому графіку це зображується так:



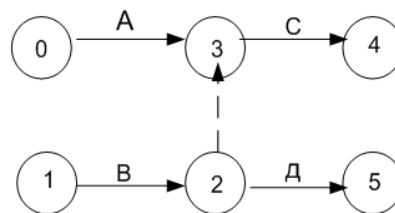
Правило 4. Якщо в процесі виконання роботи  $A$  починається робота  $B$ , що використовує результат деякої частини роботи  $A$ , то робота  $A$  розбивається на дві:  $A_1$  і  $A_2$ , причому  $A_1$  – робота від початку 0 до видачі проміжного результату, тобто до початку роботи  $B$ , а  $A_2$  – частина роботи  $A$ , що залишилася. На мережевому графіку це зображується так:



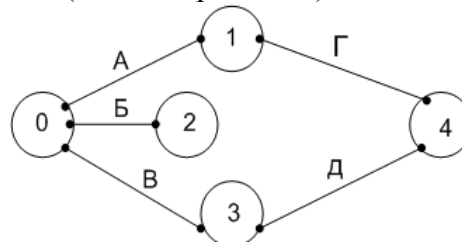
**Правило 5.** Якщо  $n$  робіт  $A_1, A_2, \dots, A_n$  закінчуються одними тими ж подіями, то для встановлення взаємно-однозначної відповідності між цими роботами і кодами необхідно вести  $n - 1$  фіктивних робіт. Вони не мають тривалості в часі і вводяться в даному випадку лише для того, щоб роботи  $A_1, A_2, \dots, A_n$  мали різні коди. На мережевому графіку це зображується так:



**Правило 6.** Якщо робота  $C$  йде за двома роботами  $A$  і  $B$ , що паралельно ведуться, а робота  $D$  йде тільки за роботою  $B$ , то така ситуація зображується на мережевому графіку шляхом введення фіктивної роботи:

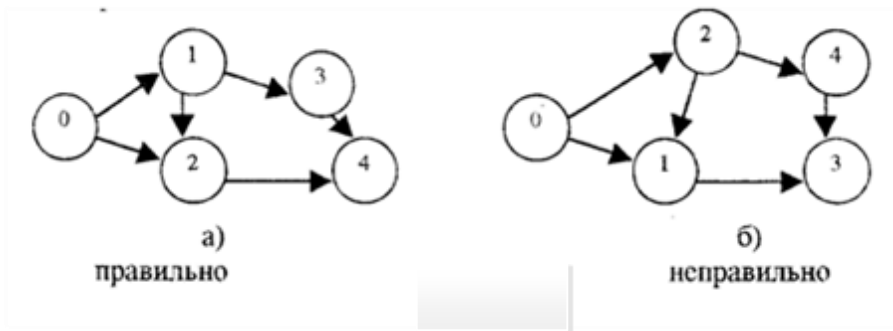


**Правило 7.** У мережевому графіку не повинно бути подій, в які не входить жодної роботи, окрім початкової. Поява події, в яку не входить жодна робота, означає або помилку при побудові мережевого графіку, або упущення при плануванні роботи, результат якої потрібний надалі (подія 3 і робота Г):

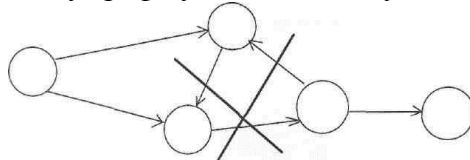


**Правило 8.** У мережевому графіку не повинно бути подій, з яких не виходить жодної роботи, окрім завершальної події. Якщо це правило порушене і в мережевому графіку, окрім завершуючої події, з'явилася ще одна подія, з якої не виходить жодної роботи, це означає або помилку при побудові мережевого графіку, або планування непотрібної роботи (подія 2 і робота Б).

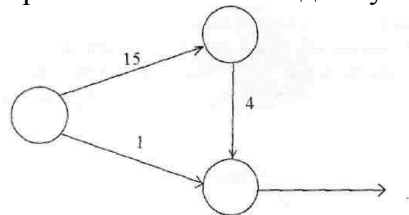
**Правило 9.** Події слід нумерувати так, щоб номер початкової події цієї роботи був менше номера кінцевої події цієї роботи.



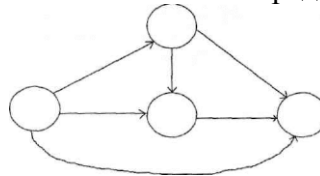
Правило 10. У мережевому графіку не повинно бути замкнутого контура.



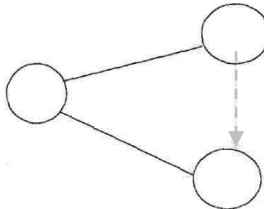
Правило 11. Довжина стрілки не залежить від часу виконання роботи.



Правило 12. Стрілка не обов'язково повинна представляти прямолінійний відрізок;

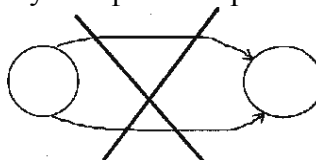


Правило 13. Для дійсних робіт використовуються суцільні, а для фіктивних – пунктирні стрілки.

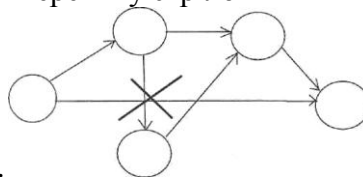


Правило 14. Кожна операція має бути представлена тільки однією стрілкою.

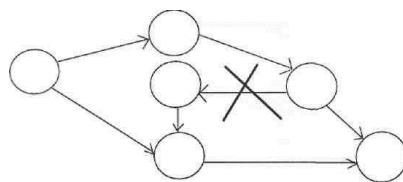
Правило 15. Не повинно бути паралельних робіт між одними і тими ж подіями, щоб уникнути такої ситуації використовують фіктивні роботи;



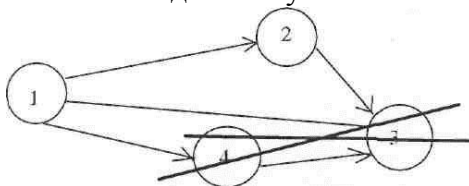
Правило 16. Слід уникати перетину стрілок



Правило 17. Не повинно бути стрілок, спрямованих справа наліво.



Правило 18. Номер початкової події має бути менше номера кінцевої події



### 16.4 Методика побудови мережевих моделей

Існує декілька способів розрахунку мережі. Найбільш зручним практиці являється чотирьох-секторний спосіб розрахунку, що наводиться нижче.

Позначимо подію мережевого графіку, що розглядається в даний момент, через  $i$ . Тоді усі попередні їй події можна позначити через  $h$ , а подальші – через  $j$  (див. рис. 3). Події, наступні після  $j$ , позначимо через  $k$ . Виходячи з цих умовних позначень, можна записати алгоритм розрахунку мережевої моделі.



Рис. 3 – Позначення елементів мережевого графіку

Для розрахунку кожна подія графіку ділиться на чотири сектори. У верхньому секторі записується номер цієї події. У лівому секторі – найбільш ранній можливий термін здійснення цієї події, а в правому – найбільш пізній допустимий термін її здійснення. У нижньому секторі записується номер тієї з попередніх подій, яке вказує на напрям шляху найбільшої тривалості, що веде до цієї події. Вказівка в нижньому секторі дасть можливість найпростішим чином визначити критичний шлях мережевого графіку – після розрахунку ранніх термінів здійснення подій (див. рис. 4)

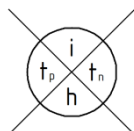


Рис. 4 – Чотирьох-секторна система

**Приклад.** Роботи I і II починаються одночасно. Після роботи I починається робота III. Після роботи II - роботи IV і V. Робота VI після роботи III, роботи VII і VIII - після роботи IV, робота IX після закінчення роботи V. Робота X після роботи VII. Робота XI - після закінчення робіт VI і X. Робота XII після закінчення робіт VIII і IX. Роботи XI і XII завершують цикл.

Тривалість робіт: I – 3; II – 4; III – 5; IV – 6; V – 5; VI – 6; VII – 2; VIII – 6; IX – 3; X – 3; XI – 6; XII – 3.

Розрахувати часові параметри мережевого графіку та зобразити його за допомогою чотирьох-секторної системи (див. рис 5)

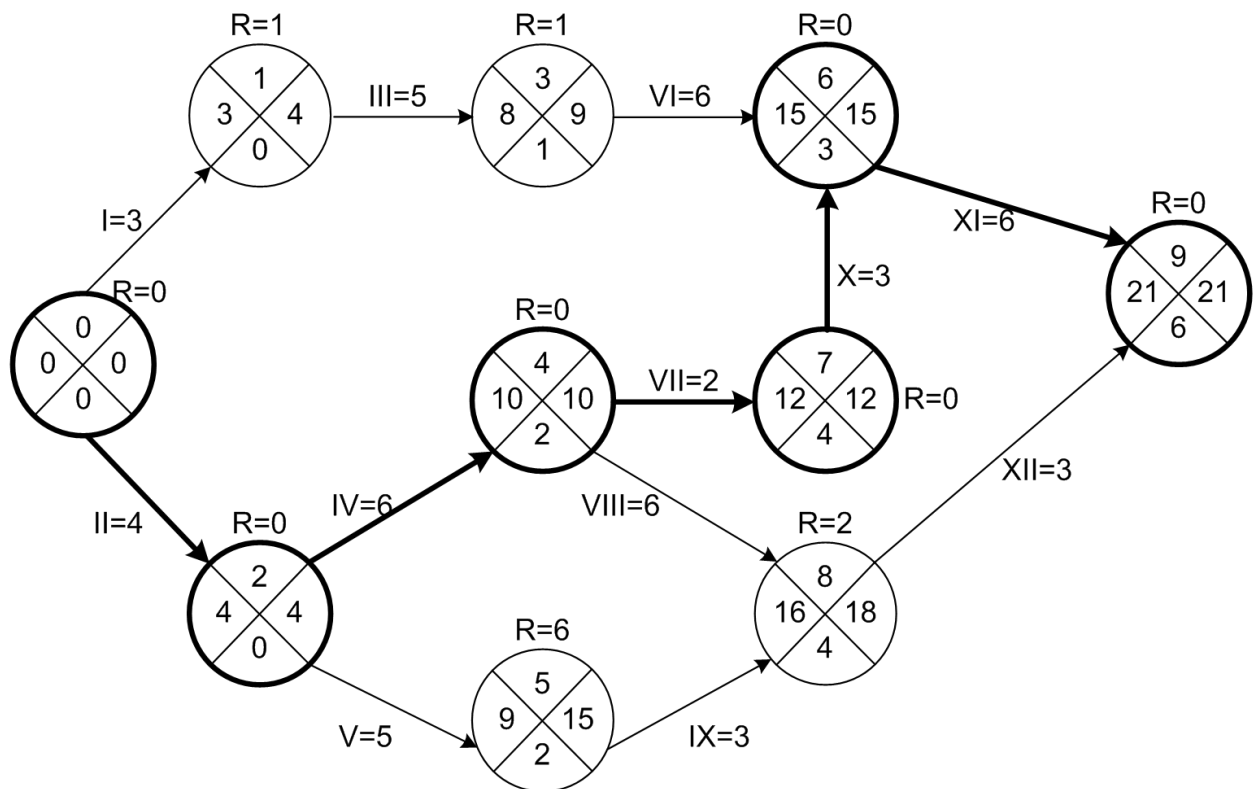


Рис. 5 – Мережевий графік

Критичний путь проходить по роботам: II – IV – VII – X – XI = 21

### Контрольні запитання

1. Поясніть, що таке мережеве планування?
2. Наведіть можливості, які надає використання мережевого планування?
3. Перерахуйте основні елементи мережевого планування.
4. Назвіть основні правила, яких потрібно дотримуватись при створенні мережевої моделі.
5. Розкажіть, в чому полягає методика побудови мережевих моделей?

### Завдання для самостійного розв'язання

**Завдання 1.** Розрахувати параметри мережевого графіка та побудувати його.

Роботи I і II починаються одночасно і ведуться паралельно. Робота III починається після закінчення робіт I і II. Робота IV – після закінчення роботи II; роботи V і VI після завершення роботи III; рівнобіжні роботи VII і VIII – після роботи IV; робота IX після роботи V; робота X – після роботи VI і закінчення рівнобіжних робіт VII і VIII. Закінченням IX і X робіт завершується комплекс.

Тривалість робіт: I – 6; II – 8; III – 4; IV – 9; V – 4; VI – 6; VII – 5; VIII – 7; IX – 3; X – 4. Кількість робітників: I – 4; II – 2; III – 3; IV – 5; V – 4; VI – 4; VII – 7; VIII – 6; IX – 3; X – 3.

**Завдання 2.** Розрахувати параметри мережевого графіка та побудувати його.

Роботи I, II і III починаються одночасно. Після роботи I починаються роботи IV і V; після роботи II – робота VI; після роботи III – робота VII; після роботи IV – робота VIII. Роботи IX і X починаються після закінчення робіт V і VI; робота XI – після VII; XII робота починається після роботи VIII, але залежить від закінчення робіт V і VI. Робота XIII – після IX; роботи XIV і XV починаються після завершення робіт X і

XI; робота XVI – після XII; робота XVII після закінчення рівнобіжних робіт XIV і XV. Закінченням XIII, XVI і XVII робіт завершується комплекс.

Тривалість робіт: I – 4; II – 3; III – 5; IV – 2; V – 5; VI – 2; VII – 6; VIII – 1; IX – 3; X – 6; XI – 5; XII – 8; XIII – 6; XIV – 5; XV – 3; XVI – 11; XVII – 6.

**Завдання 3.** Розрахувати параметри мережевого графіка та побудувати його. Роботи I і II починаються одночасно. Після роботи I починається III робота. Після роботи II – роботи IV і V. Робота VI після роботи III, роботи VII і VIII – після роботи IV, робота IX після закінчення роботи V. Робота X після роботи VII. Робота XI – після закінчення робіт VI і X. Робота XII після закінчення робіт VIII і IX. Роботи XI і XII завершують цикл.

Тривалість робіт: I – 3; II – 4; III – 5; IV – 6; V – 5; VI – 6; VII – 2; VIII – 6; IX – 3; X – 3; XI – 6; XII – 3.

**Завдання 4.** Побудувати мережевий графік, визначити критичний шлях, розрахувати параметри робіт, якщо: роботи I, II і III починаються одночасно; робота IV починається після закінчення роботи I; робота V – після роботи II; робота VI – після роботи III; робота VII – після роботи IV; робота VIII – після роботи VI; робота IX – після роботи V; роботи X та XI – після роботи IX; робота XII – після роботи VIII; робота XIII – після роботи XI; робота XI – після роботи XIII, але залежить від закінчення роботи X; робота XV – після роботи XII, але залежить від закінчення роботи IV, робота XVI – після роботи VII. Роботи XI, XV і XVI завершують комплекс.

Тривалість робіт: I – 2 дні, II – 3; III – 1; IV – 2; V – 4; VI – 4; VII – 3; VIII – 1; IX – 6; X – 8; XI – 1; XII – 7; XIII – 5; XI - 9; XV - 6; XVI – 5 днів.

**Завдання 5.** Побудувати сітковий графік, визначити критичний шлях, розрахувати параметри робіт, якщо: роботи I, II і III починаються одночасно і ведуться паралельно; робота IV починається після закінчення роботи I; робота V – після роботи II; робота VI – після роботи III; робота VII – після закінчення робіт V і VI; робота VIII – після роботи IV; роботи IX і X – після роботи VII, але залежать від закінчення роботи IV; робота XI – після роботи VIII; робота XII – після роботи IX; робота XIII – після роботи X. Закінченням XI, XII і XIII робіт завершується комплекс.

Тривалість робіт: I – 6 днів, II – 1; III – 2; IV – 4; V – 5; VI – 2; VII – 3; VIII – 3; IX – 3; X – 2; XI – 4; XII – 5; XIII – 7 днів.

**Завдання 6.** Побудувати мережевий графік, визначити критичний шлях, розрахувати параметри робіт, якщо: роботи I і II починаються одночасно і ведуться паралельно; роботи III і IV починаються після закінчення роботи I; роботи V і VI – після роботи II; робота VII – після роботи III; робота VIII – після роботи IV; робота IX – після роботи V; робота X – після роботи VI; робота XI – після роботи VII, але залежить від закінчення робіт VIII і IX; роботи XII і XIII – після робіт VIII і IX; робота XI – після роботи XII; робота XV – після роботи XIII; робота XVI – після роботи X; робота XVII – після роботи XI; робота XVIII – після робіт XV і XVI. Закінченням робіт XI, XVII і XVIII завершується комплекс.

Тривалість робіт: I – 2 дні, II – 3; III – 4; IV – 6; V – 3; VI – 2; VII – 3; VIII – 2; IX – 2; X – 4; XI – 3; XII – 1; XIII – 2; XI - 4; XV - 3; XVI – 4; XVII – 5; XVIII – 3 дні.

## РОЗДІЛ 17. Оптимізація мережевого графіку

### 17.1 Побудова лінійної діаграми

*Лінійна діаграма* – графічне відображення інформації, пов'язаної з розкладом робіт.

При побудові лінійної діаграми проекту кожна робота зображується відрізком, паралельним осі часу. Довжина його дорівнює тривалості роботи. За наявності фіктивної роботи нульової тривалості вона зображується точкою. Події  $i$  і  $j$ , початок і кінець роботи, відповідають кінцям відрізка. Відрізки розташовують один за іншим, зліва

направо в порядку зростання індексу  $i$ , а при одному  $i$  тому ж  $i$  – один над іншим в порядку зростання індексу  $j$ .

По лінійній діаграмі проекту можна визначити критичний час, критичний шлях, а також резерви часу усіх робіт. Критичний час виконання цього проекту дорівнює координаті правого кінця щонайдовшого з відрізків на діаграмі. Іншими словами, лінійна діаграма це прив'язка розрахункових параметрів графіку до календаря.

По графіку руху робочої сили можна оцінити ефективність використання робочою на прикладі заданого мережевого графіку (див. рис. 7).

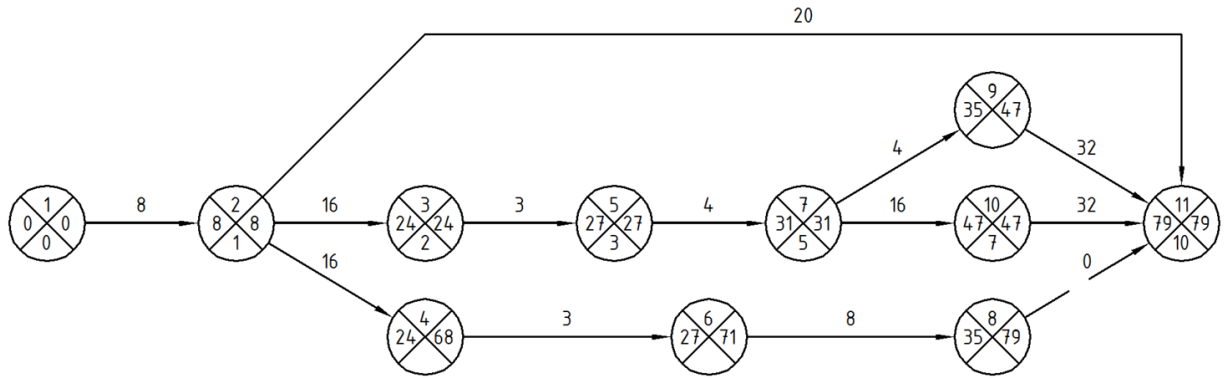


Рис. 7. Мережевий графік

Лінійна діаграма і графік руху робочої сили наведено на рис. 8.

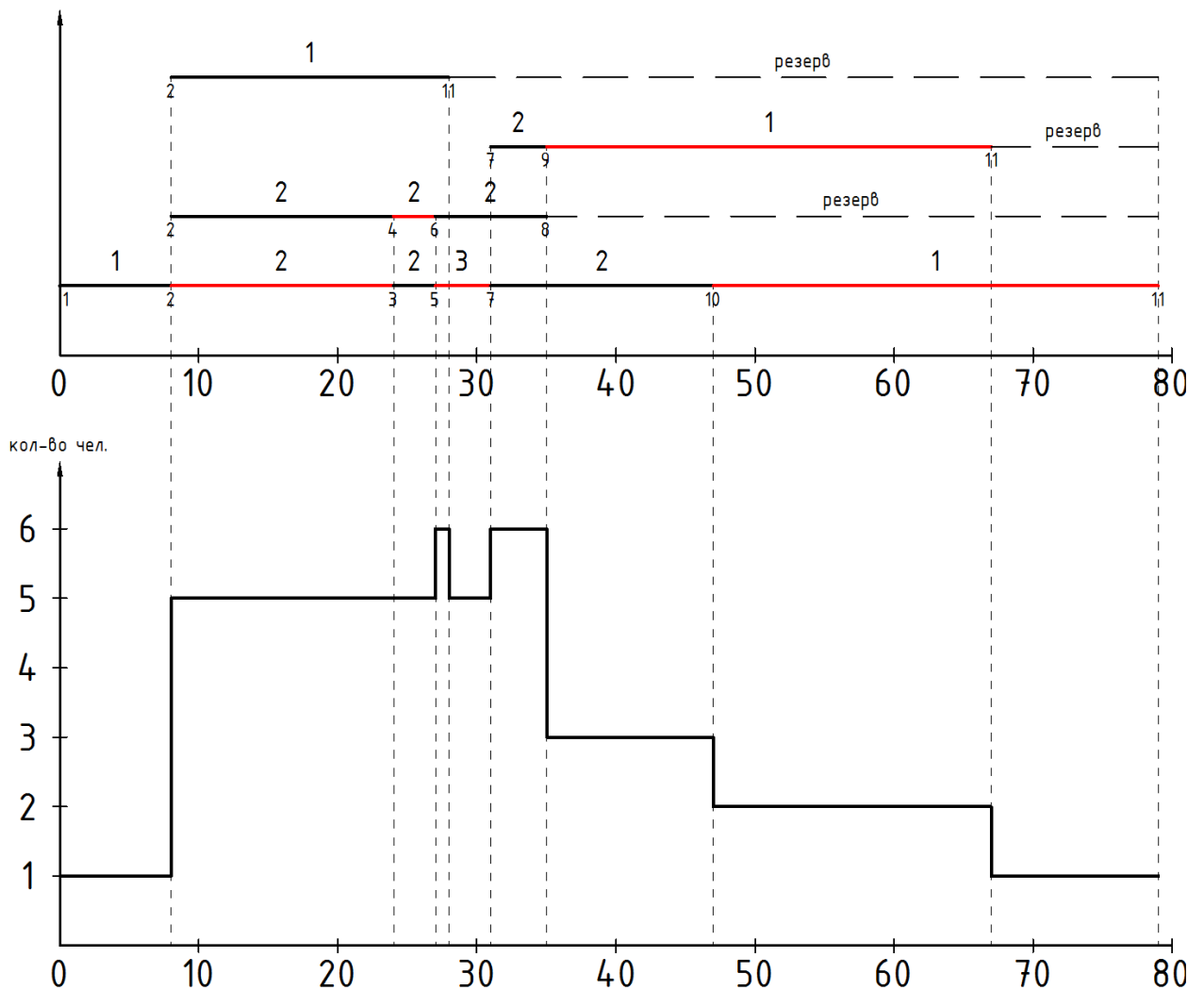




Рис. 4 – Лінійна діаграма і графік руху робочої сили

Порахуємо коефіцієнт заповнення для графіку руху робочої сили, він повинен прагнути до одиниці, якщо оптимально розподілений людський ресурс і грамотно спланований графік виконання робіт :

$$K_3 = \frac{S_\phi}{n \cdot t} = \frac{8 \cdot 1 + 19 \cdot 5 + 1 \cdot 6 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot 6 + 12 \cdot 3 + 20 \cdot 2 + 12 \cdot 1}{6 \cdot 79} = 0.5,$$

де  $S_\phi$  – площа під кривою графіку руху робочої сили;  $n$  – максимальне число робітників;  $t$  – повний час роботи.

#### **Розрахунок трудомісткості робіт**

Трудомісткість кожного виду роботи визначається по формулі:

$$T_p = T \cdot m \cdot t \cdot k_\phi \cdot k_u,$$

де  $T$  – тривалість роботи;

$m$  – кількість людина, що виконують роботу;

$t$  – годин в зміні (у лабораторній роботі приймається 8-годинний робочий день);

$k_\phi = 0.9$  – коефіцієнт продуктивності праці;

$k_u = 1.1$  – коефіцієнт використання робочого часу.

### **17.2 Оптимізація мережевого графіку**

#### **За чисельністю зайнятого персоналу (коефіцієнту заповнення)**

Проведемо оптимізацію отриманої діаграми за рахунок перенесення термінів початку і закінчення робіт на необхідний час в межах резерву з метою зменшення кількості максимально необхідного робочого персоналу (при виконанні завдання необхідно мінімізувати число людей, працюючих в день) (див. рис. 5)

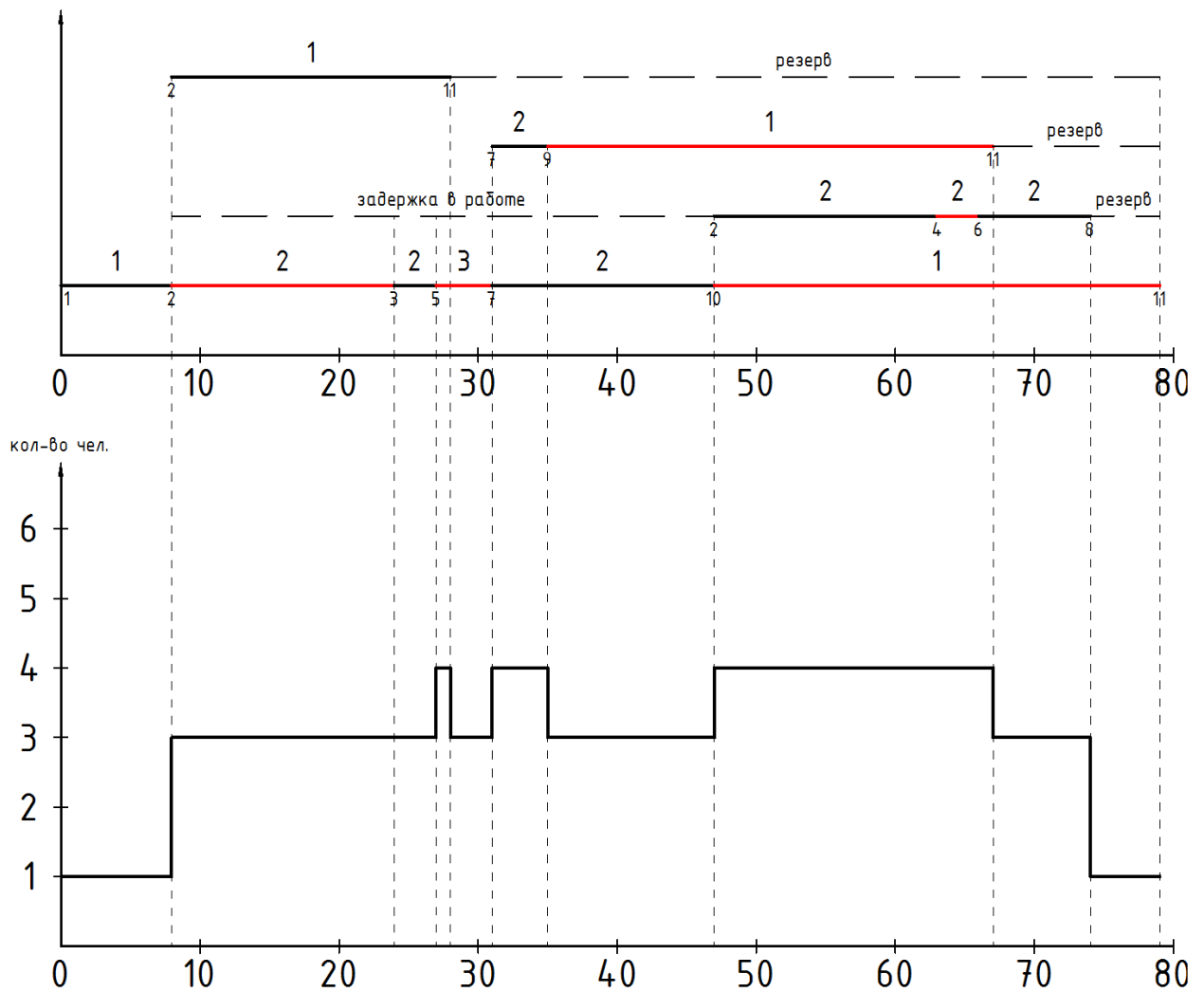


Рис. 5 – Оптимізовані лінійна діаграма і графік руху робочої сили

Порахуємо коефіцієнт заповнення:

$$K_3 = \frac{S_\phi}{n \cdot t} = 4 \frac{8 \cdot 1 + 19 \cdot 3 + 1 \cdot 4 + 3 \cdot 3 + 4 \cdot 4 + 12 \cdot 3 + 20 \cdot 4 + 5 \cdot 1}{6 \cdot 79} = 0.75$$

порівняємо з коефіцієнтом заповнення початкового графіку руху робочої сили, оберемо найкращий варіант.

Отримані графічні і аналітичні результати дозволяють наочно оцінити розрахункові параметри виконуваного комплексу робіт.

### Оптимізація шляхом перерозподілу засобів

Завданням оптимізації шляхом перерозподілу засобів є перекидання сил і засобів з однієї роботи на іншу з метою підвищення ефективності використання робочої сили.

Оптимізація отриманих діаграм проводиться з урахуванням резерву часу, що утворився, на деяких етапах робіт шляхом зменшення кількості максимально необхідного робочого персоналу.

Розглянемо принцип цього методу на прикладі. Нехай заданий мережевий графік (мал. 6) із вже розрахованими параметрами.

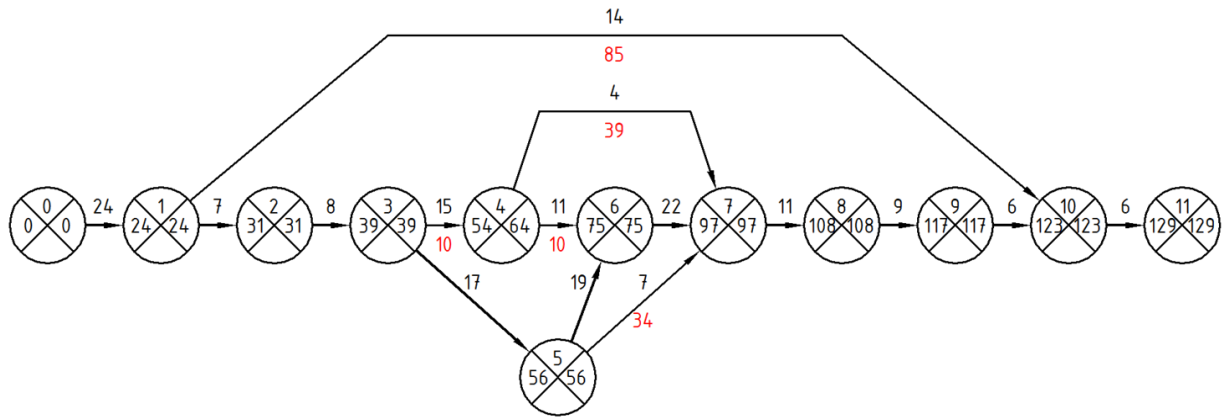


Рис. 6. Мережевий графік

Критичний шлях: 0-1-2-3-5-6-7-8-9-10-11.

В даному випадку оптимізація полягає у вирівнюванні мережевого графіку – «зняття» ресурсів з робіт, що не лежать на критичному шляху, і «перекидання» їх на роботи, що лежать на критичному шляху, – і так до тих пір, поки усі шляхи не стануть критичними. Єдине обмеження – не можна скорочувати або збільшувати роботу більш ніж удвічі, оскільки перекидання ресурсів з однієї роботи на іншу веде до збільшення вартості робіт. У зв'язку з заданим обмеженням зробити усі шляхи критичними може не вийти. Також вважатимемо, що зняття одиниці ресурсу з роботи призводить до її збільшення на одиницю часу, а призначення ресурсу до її скорочення на одиницю часу.

Варто відмітити, що цей метод застосовний тільки за умови взаємозамінюваності робіт. У розглянутому прикладі видно, що резерв за часом мають роботи: 1-10, 4-7, 5-7, 3-4, 4-6. Відповідно ми перекидатимемо ресурси з цих робіт на роботи, які лежать на критичному шляху.

Але задані лише часові межі роботи, тому вважатимемо, що збільшення часу роботи на 1 годину, наприклад на ділянці 1-10 може привести до зменшення часу роботи 1-2 (наприклад) також на 1 годину. В лабораторній роботі необхідно переміщати людей, тому пропорції можуть бути іншими, тобто час для кожного виду роботи визначається по формулі:

$$T = \frac{T_p}{m \cdot t \cdot k_a \cdot k_u},$$

де  $T_p$  – трудомісткість роботи;

$m$  – кількість людина, що виконують роботу;

$t$  – число годин в зміні;

Отже, збільшивши час роботи 1-10 з 14 до 28 годин, з'являється вільний час на роботи що лежать на критичному шляху. Скажемо можна зменшити час робіт 1-2, 2-3, 7-8, 8-9, 9-10 відповідно на 2, 3, 5, 3, 1 ч.

Теж проробляємо з іншими роботами такими, що мають резерв. Наприклад, можна зменшити на 1 годину роботу 3-4. на 4 години роботу 4-6, на 4 години роботу 4-7 і на 7 годин роботу 5-7 (в сумі 16 годин). Тоді можна зменшити на 1 годину роботу 3-5, на 4 - роботу 5-6 і на 11 годин роботу 6-7 (у сумі теж 16 годин).

Таким чином маємо той же мережевий графік, але з іншими часовими межами (див. рис. 7).

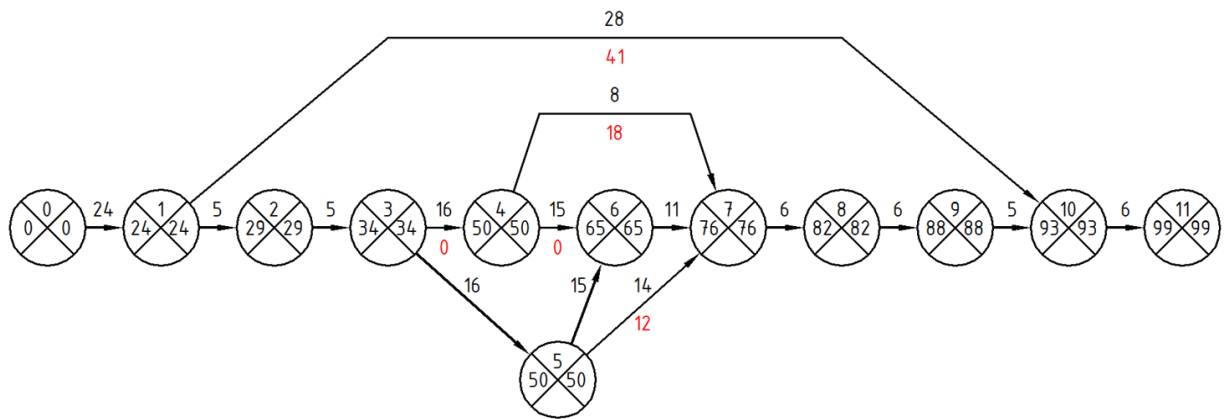


Рис. 7. Мережевий графік після оптимізації

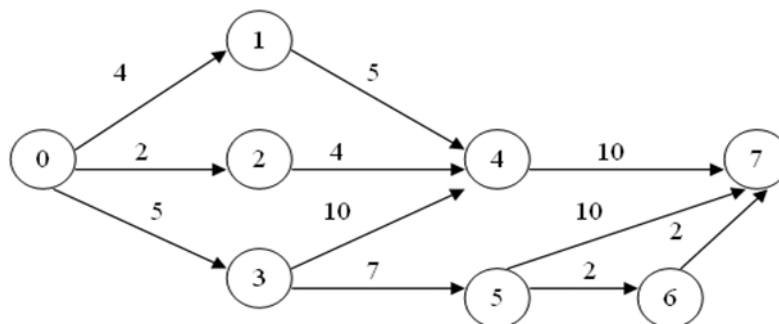
Таким чином, нескладно помітити, що після оптимізації усі роботи закінчатся на 30 годин раніше. Роботи 1-10, 4-7 і 5-7 зменшать свій резерв за часом, а роботи 3-4 і 4-6 цього резерву тепер взагалі не матимуть.

### Контрольні запитання

1. Поясніть, що таке лінійна діаграма, та які особливості її побудови?
2. Поясніть, що таке коефіцієнт заповнення та як він розраховується?
3. Що таке оптимізація мережевого графіку? Як її провести?
4. Поясніть, які особливості має оптимізація за коефіцієнтом заповнення?
5. Розкажіть, які особливості має оптимізація шляхом перерозподілу засобів?

### Завдання для самостійного розв'язання

Завдання 1. Визначити коефіцієнти напруженості робіт 1-4, 2-4 і 3-5 на мережевому графіку, зображеному на рисунку. Розрахувати параметри мережевого графіку табличним способом.



Завдання 2. Для виконання робіт мережевого графіку, параметри якого представлені в таблиці, є 9 робітників. Припустивши, що трудомісткість робіт змінюється пропорційно кількості робітників, визначити, чи можна виконати увесь комплекс робіт з цією чисельністю робітників, не змінюючи при цьому тривалість критичного шляху.

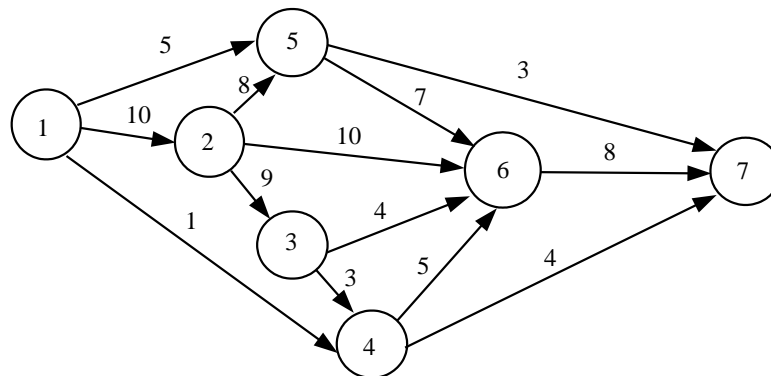
Код роботи	0-1	1-2	1-3	2-4	3-4
Тривалість, міс.	8	6	3	4	2
Число робітників	9	7	4	5	8

Завдання 3. В таблиці представлений комплекс робіт з технічної підготовки виробництва виробу з ресурсами його виконання. Побудувати мережевий графік,

встановити календарні терміни виконання робіт. Скласти графік завантаження робочої сили і надати пропозиції по його оптимізації.

Номер роботи	Найменування роботи	тижні	чол.
1	Огляд існуючих конструкцій	3	4
2	Розробка креслень	8	10
3	Складання замовлення на матеріали	2	3
4	Розробка технічних процесів	6	8
5	Складання заявки на випробувальну апаратуру	1	4
6	Проектування оснащення	4	5
7	Проектування інструменту	2	3
8	Виготовлення оснащення	8	7
9	Виготовлення інструменту	5	6
10	Доставка матеріалу	4	6
11	Виготовлення дослідного зразка	10	4
12	Доставка випробувальної апаратури	3	5
13	Проведення випробувань	2	5
14	Коригування документації	3	4

Завдання 4. Визначте критичні шляхи і вказані параметри робіт в мережевій моделі, наведеної на рисунку:  $R_c(1,5)$ ,  $R_p(1,5)$ ,  $T_{рн}(5,7)$ ,  $T_{пн}(5,7)$ ,  $T_{ро}(2,6)$ ,  $T_{пн}(3,6)$ ,  $T_{ро}(4,7)$ ,  $T_{по}(1,5)$ ,  $T_{пн}(1,5)$ .



Завдання 5. Побудуйте мережеву модель проекту з даними, представленими в таблиці. Визначте критичні шляхи моделі і проаналізуйте, як впливає на хід виконання проекту затримка роботи D на 4 тижні.

Назва	Безпосередньо передуючі операції	Тривалість, тижні
A	–	4
B	–	6
C	A, B	7
D	B	3
E	C	4
F	D	5
G	E, F	3

## РОЗДІЛ 18. Мережі Петрі

Мережі Петрі використовуються для моделювання асинхронних систем, що функціонують як сукупність паралельних процесів, що взаємодіють. Аналіз мереж Петрі дозволяє отримати інформацію про структуру і динамічну поведінку системи, що моделюється.

Причинно-наслідковий зв'язок подій в асинхронних системах визначається безліччю відносин виду «умови-події».

Побудова моделей систем у вигляді мереж Петрі полягає в наступному:

1. Модельовані процеси описуються безліччю подій (дій) і умов визначальних можливість настання цих подій, і навіть причинно-наслідковими відносинами, встановлюваними безліччю пар " події-умови " .

2. Визначаються події-дії, послідовність виконання яких керується станами системи. Стану системи задаються безліччю умов, що формуються у вигляді предикатів. Кількісно умови характеризуються величиною, яка виражається числами натурального ряду.

3. Умови, залежно від значень їх кількісних характеристик, можуть виконуватись чи ні. Виконання умов забезпечує можливість реалізації подій. Умови, з виконання яких пов'язується можливість реалізації подій, називаються передумовами. Реалізація події забезпечує можливість виконання інших умов, що є з передумовами причинно-наслідкового зв'язку. Ці умови називаються постумовами.

У мережах Петрі умови – це позиції, а події – переходи. Відповідно до цього граф мережі Петрі є дводольним орієнтованим мультиграфом. Зображення позиції та переходу на графі показано на малюнку.

Орієнтовані дуги можуть поєднувати лише позиції та переходи у прямому та зворотному напрямку (властивість дводольності).

Мережа Петрі є мультиграфом, оскільки допускається кратність дуг між позиціями та переходами (вершинами графа). Приклад графа мережі Петрі наведено на рис.5.2.

У графах мережі Петрі кількісні характеристики умов (числа натурального ряду) прийнято зображувати числом міток у відповідних позиціях (див. рис.5.2).

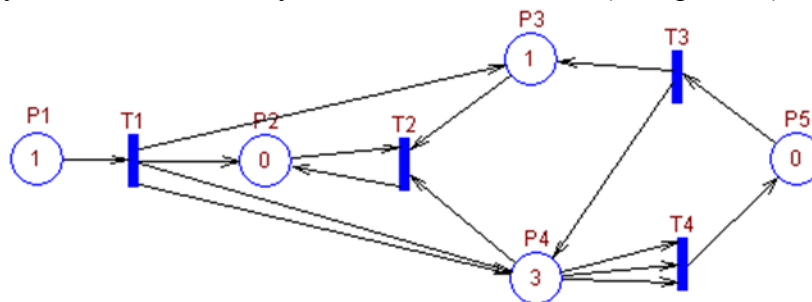


Рис. Приклад графа мережі Петрі

Послідовність подій відображається спрацюваннями переходів. Виконання будь-якої умови пов'язане з появою однієї або кількох міток у відповідній цій умові позиції. Угоди про правила спрацювання переходів є способом вираження причинно-наслідкових зв'язків між умовами та подіями у системі.

При моделюванні гнучких виробничих систем позиції відображають окремі операції виробничого процесу (наприклад: транспортування заготівлі до конвеєра, пересування заготівлі до верстата конвеєром, обробку деталі) або стан компонентів гнучкої виробничої системи (наприклад: робота, конвеєра, верстата). Наявність мітки в одній з позицій відповідає стану виконання деякої з технологічних операцій або стан, в якому перебувають деякі компоненти гнучкої виробничої системи.

Переходи відповідають подіям, що відображають початок або завершення операцій, що моделюються. Наприклад, перехід інтерпретується як подія, пов'язана з завершенням операції транспортування заготівлі роботом та її встановлення на конвеєрі, а також з початком операції переміщення заготівлі конвеєром до верстата.

Присвоєння міток позиціям мережі Петрі називають *маркуванням мережі*. Динаміка мереж Петрі пов'язана з механізмом зміни маркувань позицій та угод про правила спрацьовування переходів. Перехід спрацьовує, якщо в кожній вхідній позиції (передумові) число міток не менше від числа дуг, що виходять з позиції в даний перехід. Такі переходи називають збудженими, їх спрацьовування може наступити через будь-який кінцевий проміжок після збудження.

В результаті спрацьовування з усіх вхідних позицій переходу виключається число міток, що дорівнює числу дуг, що виходять з відповідної позиції в перехід, а у вихідні позиції даного переходу додається число міток, що дорівнює числу дуг, що виходять з переходу у відповідну вихідну позицію. На рис. 5.3 а показаний збуджений перехід, а переходу на рис.5.3 б не збуджений.

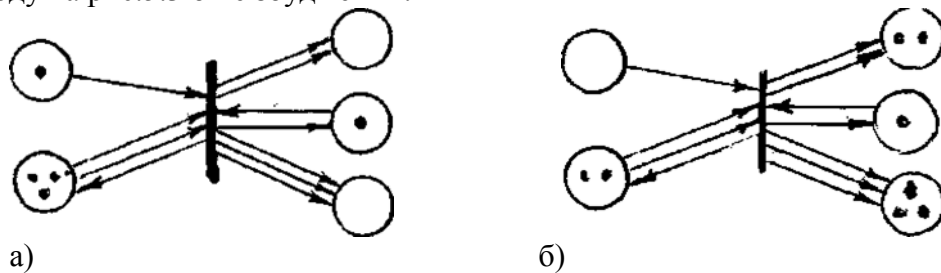


Рис.

- а) – збуджений перехід,
- б) – не збуджений перехід

Причому маркування на рисунку отримано в результаті спрацьовування збудженого переходу на рис.5.3 а. Зауважимо, що спрацьовування переходу передбачається неподільним актом, тобто зміна маркувань всіх пов'язаних із цим переходом вхідних та вихідних позицій здійснюється миттєво.

### Механізми синхронізації процесів.

Для глибшого розуміння істоти використання апарату мереж Петрі в описах спільної роботи сукупності паралельних взаємодіючих процесів розглядаються основні типи взаємодії та синхронізації процесів.

Взаємодія процесів потребує розподілу ресурсів з-поміж них. Щоб система працювала правильно розподілом ресурсів, необхідно керувати. Це управління переважно зводиться до завдань синхронізації взаємодії процесів. При цьому вивчається ряд завдань синхронізації, що визнані класичними:

- завдання про взаємне виключення;
- завдання про виробника/споживача;
- завдання про мудреців, що обідають;
- завдання про читання/запису;
- $P$  та  $V$  операції над семафорами.

Інші механізми синхронізації процесів включають вирішення перелічених завдань. Знання цих завдань та набуття навичок їх застосування дозволяє успішно справлятися з дуже не простою справою опису функціонування систем мережами Петрі.

Однак у аналізованому вигляді мережі Петрі неможливо адекватно представляти багато властивостей систем. Так, одним із недоліків мереж Петрі є відсутність часу у визначенні її динамічного функціонування. Більшість теоретичних досліджень мереж

Петрі також виключає з розгляду час. При обліку часу відбувається суттєве ускладнення в методах аналізу мереж і як би перехід від рівнянь алгебри до диференціальних.

### **Контрольні запитання**

1. Визначте, що таке мережі Петрі?
2. Поясніть, що таке умови в мережах Петрі?
3. Розкажіть про алгоритм побудови моделей систем у вигляді мереж Петрі?
4. Дайте визначення поняттю «перехід».
5. Поясніть, що таке маркування мережі?
6. Перерахуйте класичні завдання синхронізації.

### **Завдання для самостійного розв'язання**

1. Вирішити завдання про взаємне виключення з використанням мереж Петрі.
2. Вирішити завдання про виробника/споживача з використанням мереж Петрі.
3. Вирішити завдання про мудреців, що обідають, з використанням мереж Петрі.
4. Вирішити завдання про читання/запис з використанням мереж Петрі.
5. Вирішити завдання  $p$  та  $V$  операцій над семафорами з допомогою мереж Петрі.



## Рекомендована література

1. Конспект лекцій з дисципліни «Системний аналіз» для здобувачів вищої освіти з спеціальності 122 – Комп’ютерні науки / Укл.: В.М. Тонконогий, Л.В. Бовнегра, К.Г. Кіркопуло. Одеса: Нац. ун-т «Одеська політехніка», 2022. – 76 с
2. Теорія систем і системний аналіз [Електронний ресурс]: Навч. посіб. / Т.О. Прокопенко; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т – Черкаси: ЧДТУ, 2019. – 139 с. – Назва з титульного екрана.
3. Тарасенко Ф.П. Прикладний системний аналіз / Ф.П. Тарасенко. – Вид-во: Кнорус, 2017. – 322 с.
4. Шамровський О.Д. Системний аналіз: математичні методи та застосування: навчальний посібник / О.Д.Шамровський. – Львів: «Магнолія», 2010. – 275 с.
5. Системний аналіз інформаційних процесів [Електронний ресурс]: Навч. посіб. / В.М. Варенко, І.В. Братусь, В.С. Дорошенко, Ю.Б. Смольніков, В.О. Юрченко. – Режим доступу: [http://nbuviar.gov.ua/images/nak\\_mon\\_partneriv/SA.pdf](http://nbuviar.gov.ua/images/nak_mon_partneriv/SA.pdf).
6. Згуровський М. З. , Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова. – К.: Видавнича група ВНУ, 2007. –544 с.
7. Катренко А.В. Системний аналіз об’єктів та процесів комп’ютеризації: навчальний посібник. Львів – “Новий світ-2000”, 2003. – 424 с.
8. Ушакова І. О. Основи системного аналізу об’єктів та процесів комп’ютеризації: навчальний посібник. Ч. 1. / І.О. Ушакова. – Х.: Вид. ХНЕУ, 2007. –212 с.
9. Ушакова І. О. Основи системного аналізу об’єктів та процесів комп’ютеризації: навчальний посібник. Ч. 2 / І.О. Ушакова. – Х.: Вид. ХНЕУ, 2008. –324 с.
10. Основы системного анализа и проектирования АСУ./ под. ред.А.А.Павлова. – К: Вища школа, 2001. – 145 с.

## **Зміст**

### **ВСТУП 4**

**РОЗДІЛ 1. Основні завдання системного аналізу та системного підходу 4**

**РОЗДІЛ 2. Системний підхід до розв'язку задач 8**

**РОЗДІЛ 3. Структура системи 13**

**РОЗДІЛ 4. Класифікація систем 18**

**РОЗДІЛ 5. Методологія системного дослідження 22**

**5.1 Системне дослідження: етапи і кроки 22**

**РОЗДІЛ 6. Моделювання в системному аналізі 26**

**РОЗДІЛ 7. Методологічні аспекти моделювання із застосуванням системного підходу. 30**

**РОЗДІЛ 8. Аналітичний та синтетичний підходи в системному аналізі. 33**

**РОЗДІЛ 9. Методи, які використовують в системних дослідженнях 40**

**Задачі для самостійного розв'язання 42**

**РОЗДІЛ 10. Основні етапи розв'язування проблем в КІС. Поняття життєвого циклу системи. 43**

**РОЗДІЛ 11. Методи удосконалення систем 46**

**11.1 Функціонально-вартісний аналіз 46**

**РОЗДІЛ 12. Аналіз процесів функціонування систем 50**

**РОЗДІЛ 13. Системний аналіз процесів одержання інформації 51**

**РОЗДІЛ 14. Проектування КІС 56**

**РОЗДІЛ 15. Об'єктно-орієнтоване проектування. Основи UML 59**

**15.1 Уніфікована мова моделювання UML 59**

**РОЗДІЛ 16. Метод мережевого планування в системному аналізі 63**

**16.1 Основні можливості мережевого планування 63**

**Контрольні запитання 70**

**Завдання для самостійного розв'язання 70**

**РОЗДІЛ 17. Оптимізація мережевого графіку 71**

**17.1 Побудова лінійної діаграми 71**

**РОЗДІЛ 18. Мережі Петрі 78**

**Контрольні запитання 80**

**Завдання для самостійного розв'язання 80**

**Рекомендована література 81**

**Зміст 82**