

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра системного аналізу і управління

## **СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ**

**Методичні рекомендації до виконання практичних робіт**  
для здобувачів ступеня бакалавра  
зі спеціальності 124 Системний аналіз

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2024

**Системний аналіз [Електронний ресурс]** : методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня бакалавра зі спеціальності 124 Системний аналіз / уклад.: А.В. Малієнко, О.Б. Владико, С.В. Козир, Д.М. Гаранжа ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 82с.

Укладачі:

А.В. Малієнко, канд. техн. наук, доц.;

О.Б. Владико, канд. техн. наук, доц.;

С.В. Козир, асист.;

Д.М. Гаранжа, ст. викл.

Затверджено науково-методичною комісією зі спеціальності 124 Системний аналіз (протокол № 3 від 10.05.2024) за поданням кафедри системного аналізу та управління (протокол № 5 від 10.05.2024).

Уміщено тематику практичних робіт, перелік основних теоретичних питань, короткі теоретичні відомості. Описано методики обчислень і наведено схеми та приклади розв’язування типових задач. Подано методичні поради до виконання індивідуальних завдань. Сформульовано питання для самоконтролю й критерії оцінювання індивідуальних робіт. Рекомендації орієнтовано на активізацію виконавчого етапу навчальної діяльності студентів.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри системного аналізу та управління, канд. техн. наук, доц. Т.А. Желдак.

## Зміст

	стор.
Вступ .....	4
Практична робота №1. Структурно-топологічний аналіз систем.....	5
Практична робота №2. Моделювання систем масового обслуговування за допомогою Марківських процесів.....	17
Практична робота №3. Прийняття рішень на основі методу аналізу ієрархій.....	24
Практична робота №4. Розрахунок інформаційних ланцюгів .....	43
Практична робота №5. Функціонально-вартісний аналіз.....	51
Практична робота №6. Визначення кількості інформації у незалежних повідомленнях .....	66
Практична робота №7. Інформаційний аналіз залежних повідомлень.....	72
Оцінювання результатів навчання.....	78
Рекомендовані джерела інформації.....	80

## Вступ

Системний аналіз – комплексна дисципліна, яка знайомить здобувачів вищої освіти з методологією системного аналізу і системних досліджень, і включає в себе розвиток системного уявлення про об'єкти дослідження та освоєння засобів і методів розв'язання практичних системних задач.

**Мета дисципліни** – формування у здобувачів вищої освіти компетентностей щодо фундаментальних теоретичних положень і практичних аспектів, пов'язаних з методами аналізу відношень на сучасних об'єктах, комп'ютеризації та можливості їх представлення у вигляді цілеспрямованих систем; вироблення практичних навичок системного застосування методології для аналізу, моделювання та проектування складних систем функціонування об'єкту аналізу та управління, побудови комп'ютерних інформаційних систем (КІС), розв'язування інформаційних задач з використанням методології системного аналізу для логікофізичного моделювання та проектування КІС; формування у здобувачів системного мислення.

Очікувані результати навчання за дисципліною:

– знати та вміти застосовувати закони функціональної будови і розвитку систем;

– знати та вміти застосовувати основні методи постановки та вирішення задач системного аналізу в умовах невизначеності цілей, зовнішніх умов та конфліктів.

– застосовувати методи і засоби роботи з даними і знаннями, методи математичного, логіко-семантичного, об'єктного та імітаційного моделювання.

– застосовувати методи і засоби роботи технології системного і статистичного аналізу.

– вміти моделювати, прогнозувати та проектувати бізнес-процес підприємства на основі методів та інструментальних засобів системного аналізу.

Практичні роботи виконуються кожним здобувачем за варіантами згідно з порядковим номером у журналі поточного контролю викладача. В практичних роботах наводяться всі необхідні формули з розшифруванням прийнятих позначень, їхні значення і результати обчислень. Всі розрахунки здійснюються за допомогою електронних таблиць типу MS Excel.

## Практична робота №1

### Тема: Структурно-топологічний аналіз систем

**Мета роботи.** Набування навичок застосування методів формалізованого опису систем і аналізу їх структури.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних задач:

1. розглянути застосування методів формалізованого опису систем;
2. розглянути методи аналізу структури систем;

Очікувані результати навчання:

- ДРН 1. Знати та уміти застосовувати закони функціональної будови і розвитку систем;
- ДРН 2. знати та вміти застосовувати основні методи постановки та вирішення задач системного аналізу в умовах невизначеності цілей, зовнішніх умов та конфліктів.

### Хід роботи.

При структурному аналізі в умовах мінімуму апіорної інформації про структуру системи враховується лише факт наявності зв'язку між елементами та її спрямованість. Тому формалізація опису структур виконується за допомогою теорії графів.

### Визначення графа.

Нехай задане безліч елементів  $V$ .

Граф  $G(V)$  вважається визначеним, якщо задане сімейство сполучення елементів чи пар вигляду  $E = (a, b)$ , де  $a, b \in V$ , що вказує які елементи вважаються зв'язаними.

Пара  $E = (a, b)$  називається ребром,  $a$  елементи  $a, b$  - вершинами.

Якщо порядок розташування кінців байдужий, то  $(a, b)$  - неорієнтоване ребро, якщо цей порядок важливий, то  $(a, b)$  - орієнтоване ребро чи дуга.

Відповідно графи, що складаються з ребр, називають неорієнтованими (рис.1), а з дуг (рис.2) - орієнтованими.

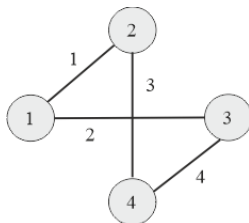


Рис. 1

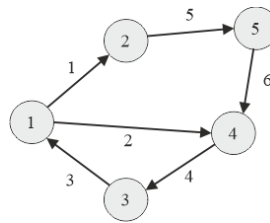


Рис. 2

**Способи формалізованого завдання графа.**

Існує три способи завдання графа.

**1. Графічний.** Найбільш наочний спосіб, однак він не може бути використаний при розв'язанні задачі на ЕОМ.

**2. Матричний.** Матриця суміжності для неорієнтованого графа має вигляд:

$$A = \|a_{ij}\|, \text{ де}$$

$$\begin{cases} 1 - \text{за наявності зв'язку між вершинами, } i, j; \\ 0 - \text{за відсутності зв'язку} \end{cases}$$

Для графа (рис. 1)

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Для **орієнтованого графа** елементи  $a_{ij}$  визначаються так:

$$A = \begin{cases} 1 - \text{якщо з } i \text{ можливо перейти в } j; \\ 0 - \text{інакше} \end{cases}$$

Для графа (рис.2)

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Якщо занумерувати ребра графа, то його можна задати матрицею інцидентності.

$$B = \|b_{ij}\|, i = 1, n; j = 1, m$$

де  $n$  - число вершин,  $m$  - число ребер.

Для неорієнтованого графа

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{якщо } i - \text{а вершина інцидентна } j - \text{му ребру;} \\ 0 - \text{якщо немає зв'язку} \end{cases}$$

Для графа (рис.1)

$$B = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

Для орієнтованого графа

$$A = \begin{cases} 1 - \text{якщо } i - \text{а вершина є початком } j - \text{го ребра;} \\ -1 - \text{якщо } i - \text{а вершина є кінцем } j - \text{го ребра;} \\ 0 - \text{якщо зв'язку немає.} \end{cases}$$

Для графа (рис.2)

$$B = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{vmatrix}$$

**3. Множинний.** Для графа  $G(V)$  задається безліч вершин  $V$  і відповідність  $G$ , що показує, як вони між собою пов'язані.

Відповідність  $G(i)$  показує безліч вершин, у які можна потрапити з  $i$ .

Для графа (рис.2):

$$G(1) = (2,4); G(2) = (5); G(3) = (1); G(4) = (3); G(5) = (4).$$

Можливо задати відповідність  $G^{-1}(j)$ , що визначає безліч вершин, з яких можна потрапити до  $i$ .

Для графа (рис.2)

$$G^{-1}(1) = (3); G^{-1}(2) = (1); G^{-1}(3) = (4); G^{-1}(4) = (1,5); G^{-1}(5) = (2).$$

### Основні характеристики графа

**Цепом** називається послідовність ребр  $E_1, E_2, \dots, E_n$ , коли кожне з ребр  $E_i$  стикається одним із кінців з ребром  $E_{i+1}$ .

**Ланцюгом** можна позначити послідовністю вершин, що вона містить.

**Шляхом** називається послідовність дуг, коли кінець попередньої дуги збігається з початком наступної.

**Довжиною ланцюга** (шляху) називають число ребр (дуг), що входять до ланцюга (шлях).

Матриця сумісності вершин  $A$  є матрицею матриці  $A : A^k = A^{k-1} * A$ .

Елемент матриці  $A^k a^{(k)}$  у визначає число шляхів довжиною  $k$  від вершини  $i$  до  $j$ , безпосередніх шляхів графа, що мають довжину, рівну одиниці.

Загальна кількість транзитних шляхів від вершини  $i$  до вершини  $j$  завдовжки  $K$  виходить шляхом піднесення до ступеня  $K$ .

Число ребр, інцидентних вершині неорієнтованого графа, називають ступенем вершини  $P(i)$ .

### Структурно-топологічні характеристики систем

Основні структурні характеристики систем можна кількісно оцінити, використовуючи їх моделі у вигляді графів.

Розглянемо основні структурні характеристики систем.

**1. Зв'язність структури.** Ця характеристика дозволяє виявити наявність обривів у структурі (висячі вершини).

Для орієнтованого графа зв'язність елементів визначається матрицею зв'язності  $z$ ,

$$\text{де } C_{i,j} = 1, \text{ якщо } a \sum_{i,j} \geq 1; A_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n A^k; \quad (1.1)$$

$$C_{i,j} = 0, \text{ якщо } a \sum_{i,j} \geq 0.$$

Для неорієнтованого графа зв'язність усіх елементів відповідає виконанню умови

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{i,j} n - 1; \quad i \neq j \quad (1.2)$$

**2. Структурна надмірність** – це параметр, що показує перевищення загальної кількості зв'язків над мінімально необхідним.

**Визначається таким чином:**

- для системи з мінімальною надмірністю  $R = 0$ ;

- для незв'язних систем  $R$  може бути **негативним**.

$$R = \left[ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{i,j} \right] \frac{1}{n-1} - 1 \quad (1.3)$$

**3. Рівномірність розподілу зв'язків** у структурі неорієнтованого графа, що має  $m$  ребр і  $n$  вершин характеризується показником

$$E^2 = \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 = \sum_{i=1}^n p_i^2 - \frac{4m^2}{n} \quad (1.4)$$

Показник  $E^2$  характеризує недовикористання можливостей структури, що задана.

**4. Структурна компактність** - це параметр, що показує близькість елементів між собою:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{i,j}, \quad i \neq j. \quad (1.5)$$

$d_{i,j}$  - мінімальна довжина ланцюга між вершинами  $i$  і  $j$ .

Часто структурна компактність характеризується відносним показником

$$Q_{\text{отн.}} = \frac{Q}{n(n-1)} - 1 \quad (1.6)$$

Ступінь централізації у структурі характеризується індексом центральності. Індекс центральності змінюється у діапазоні від 0 до 1. Для структур з максимальним ступенем централізації (радіальна)  $G = 1$ , для структур



з рівномірним розподілом зв'язків (кільцева і повний граф)  $G = 0$ . Нуль відповідає абсолютно децентралізованій системі.

**6. Ранг елемента** дозволяє розподілити елементи системи у порядку їхньої значимості.

Значимість елемента визначається числом його зв'язків із іншими елементами.

$$Q_{\text{отн.}} = (n - 1)(2Z_{\text{max}} - n) - \frac{1}{Z_{\text{max}}(n-2)}$$

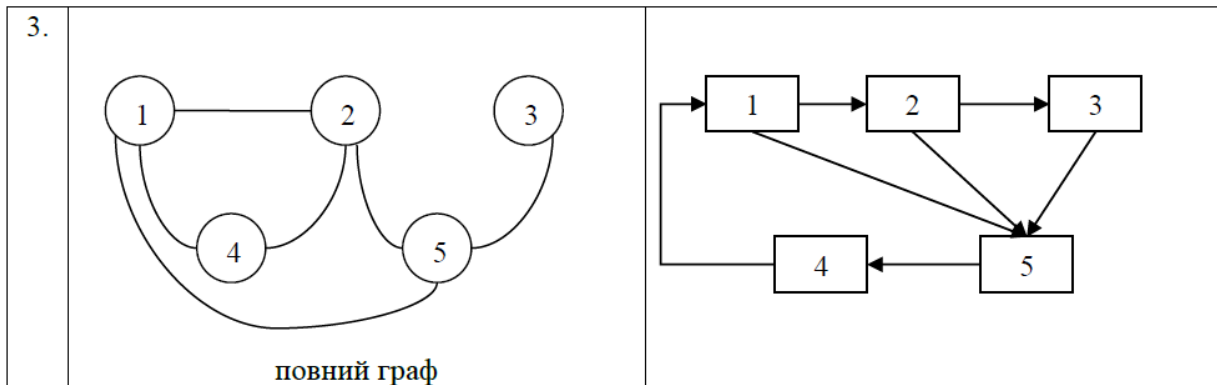
$$Z_{\text{max}} = \max_i \left[ \frac{Q}{2} (\sum_{j=1}^n d_{i,j})^{-1} \right] \quad (1.7)$$

Ранг елемента використовується при представленні структури системи у вигляді орієнтованого графа і може бути обчислений за формулою:

$$r_i = \frac{\sum_{i=1}^n a_{i,j}^{(k)}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{i,j}^{(k)}} \quad (1.8)$$

де  $a_{i,j}^{(k)}$  - елементи матриці  $A^k (k = 3 \div 4)$ .

### Завдання.



### 1. Вирахувати структурно-топологічні характеристики повного графа

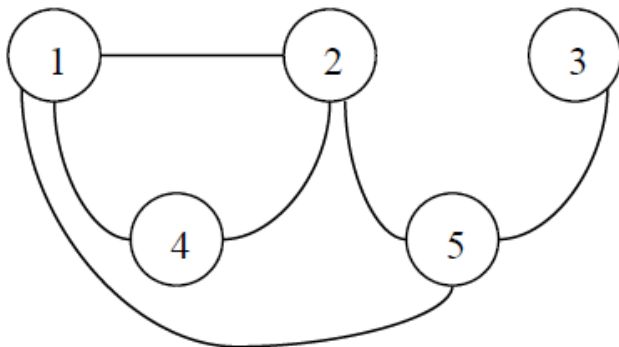


Рис. 3

1. Складемо на графу (рис.3) матрицю суміжності:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Перевіримо умову (2):

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 d_{i,j} = \frac{12}{2} > 4; \text{ — умова зв'язності виконується;}$$

2. Структурна надмірність розраховується за формулою (3)):

$$R' = \left[ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 a_{i,j} \right] \frac{1}{n-1} - 1 = \frac{1}{2} * 12 * \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$$

3. Рівномірність розподілу зв'язків розраховується за формулою (4):

$m = 6$  - число ребр

$n = 5$  - число вершин

$$E^{2'} = \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 = \sum_{i=1}^n p_i^2 - \frac{4m^2}{n} = 3^2 + 3^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2 - 4*36/5 = 3,2$$

$$p_1 = 3; p_2 = 3; p_3 = 1; p_4 = 2; p_5 = 3;$$

4. Структурна компактність.

Оцінимо її за оптимальним показником (6).

Для графа (рис.3) маємо:

$$d_{12} = d_{14} = d_{15} = 1; d_{13} = 2;$$

$$d_{21} = d_{24} = d_{25} = 1; d_{23} = 2;$$

$$d_{31} = d_{32} = 2; d_{34} = 3; d_{35} = 1;$$

$$d_{41} = d_{42} = 1; d_{45} = 2; d_{43} = 3;$$

$$d_{51} = d_{52} = d_{53} = 1; d_{54} = 2;$$

$$Q' = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 d_{i,j} = 30;$$

$$Q_{\text{отн.}} = \frac{Q}{n(n-1)} - 1 = 1 \setminus 2$$

5. Ступінь централізації у структурі оцінимо за індексом центральності 5

(7).

$$Z_{\max} = \max_i \left[ \frac{Q}{2} (\sum_{j=1}^n d_{i,j})^{-1} \right] =$$

$$\max \left\{ \left\{ \frac{Q}{2} (\sum_{j=1}^n d_{1,j})^{-1} \right\}; \left\{ \frac{Q}{2} (\sum_{j=1}^n d_{2,j})^{-1} \right\}; \left\{ \frac{Q}{2} (\sum_{j=1}^n d_{3,j})^{-1} \right\} \right\} \times \\ \times \left\{ \frac{Q}{2} (\sum_{j=1}^n d_{4,j})^{-1} \right\} \left\{ \frac{Q}{2} (\sum_{j=1}^n d_{5,j})^{-1} \right\}$$

$$Z_{\max} = \max \{3; 3; 1,875; 2,14; 3\} = 3$$

$$\delta = (n - 1)(2Z_{max} - n) - \frac{1}{Z_{max}(n-2)} = 4 * (2 * 3 - 5) * (1 \setminus (3 * 3)) = 4 \setminus 9$$

Структура має великий ступінь централізації.

## 2. Ранжирувати елементи структурної схеми у порядку їхньої значимості

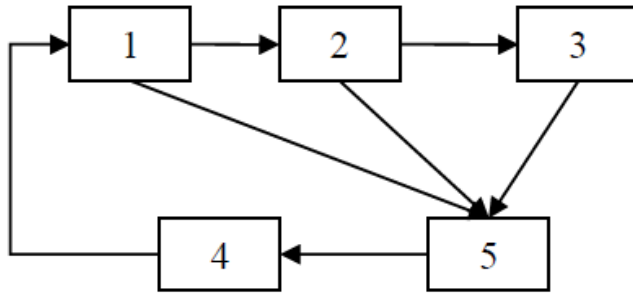


Рис. 4

Подаємо систему (рис.4) у вигляді орієнтованого графа (рис.5)

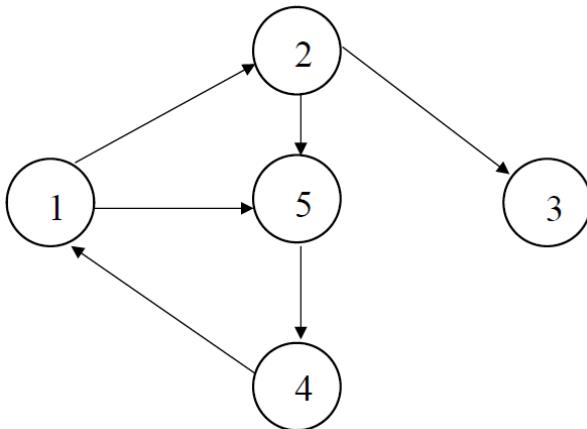


Рис. 5

Матриця суміжності графа (рис.5) має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Для розрахунку рангів елементів системи обчислимо матрицю  $A^5 = A * A * A * A * A$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{A}^2 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{A} &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 \mathbf{A}^3 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^2 &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 \mathbf{A}^4 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^3 &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\
 \mathbf{A}^5 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^4 &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Обчислимо ранги елементів системи (рис.4) за формулою (8):

$$\begin{aligned}
 r_1 &= \frac{\sum_{j=1}^5 a_{ij}^5}{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 a_{ij}^5} = \frac{1 + 1 + 1 + 1 + 2}{21} = \frac{6}{21}; \\
 r_2 &= \frac{5}{21}; \quad r_3 = \frac{3}{21}; \quad r_4 = \frac{4}{21}; \quad r_5 = \frac{3}{21};
 \end{aligned}$$

Елементи системи в порядку їхньої структурної значимості розташовуються таким чином:

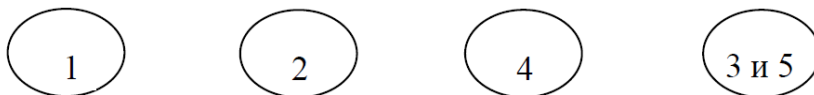
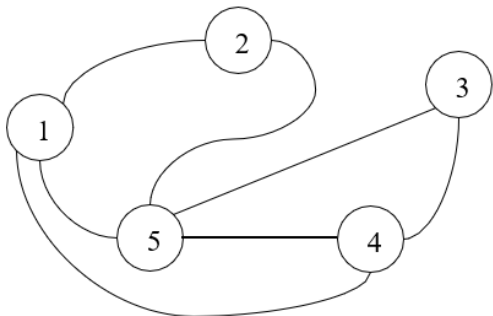
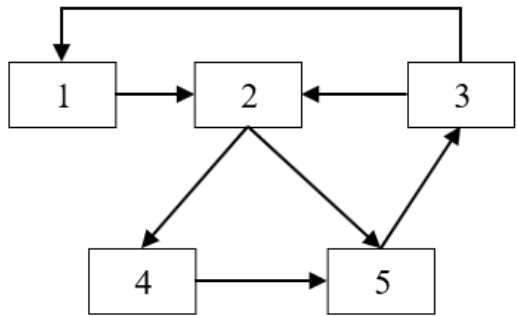
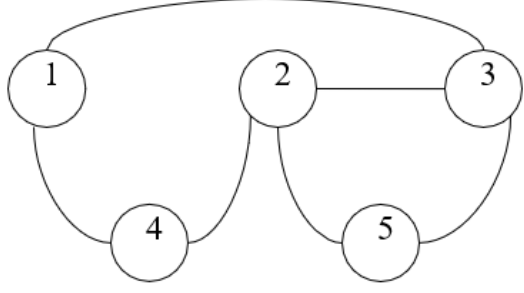
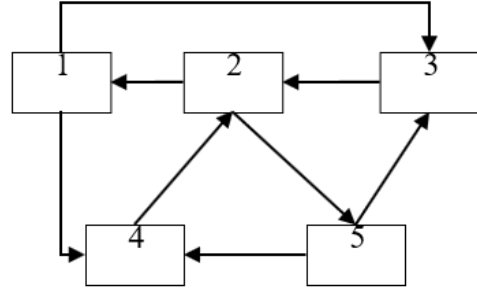
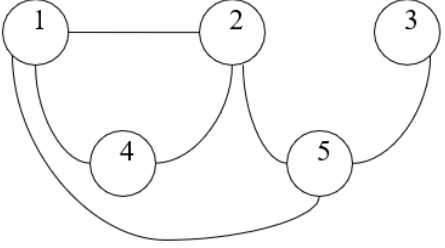
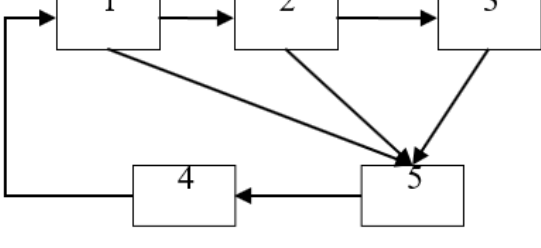


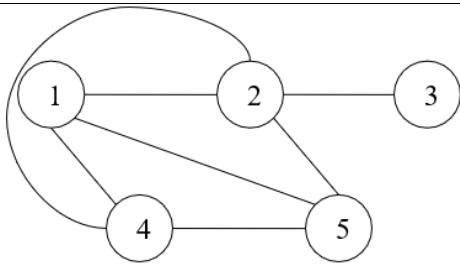
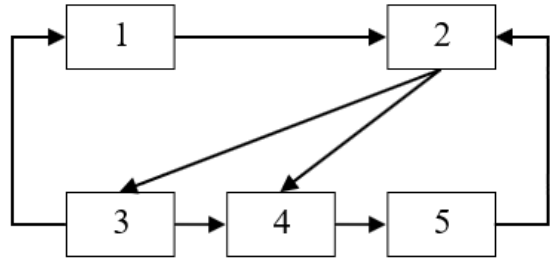
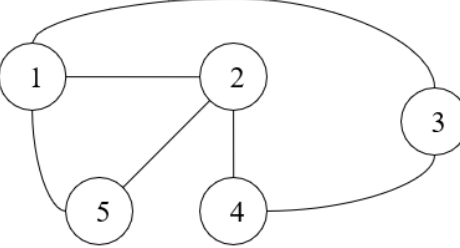
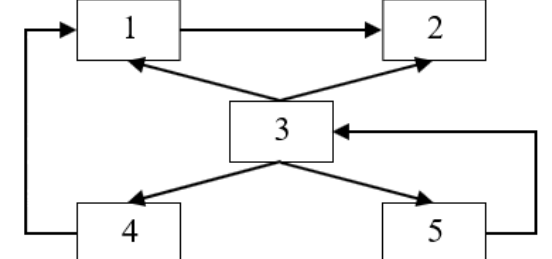
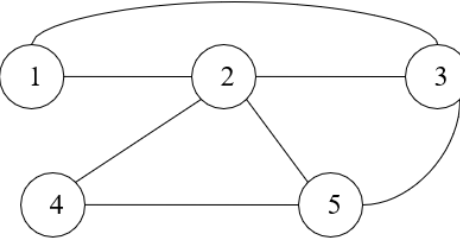
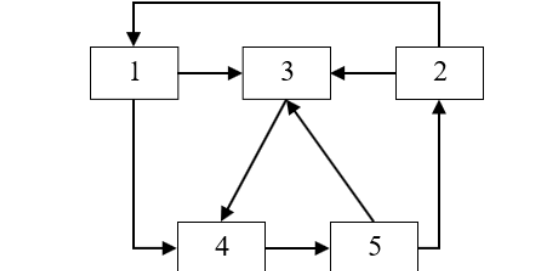
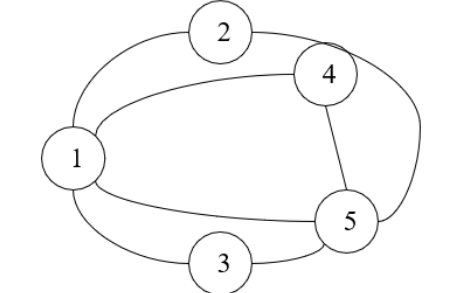
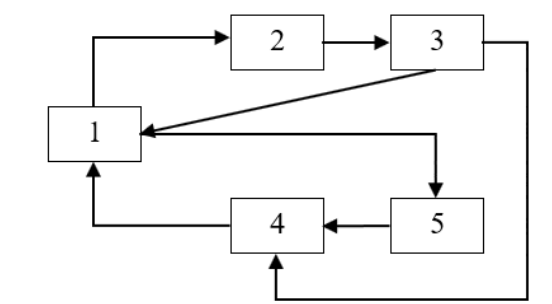
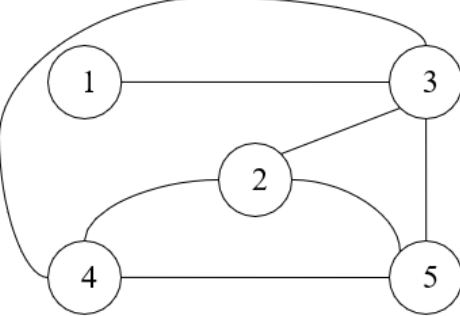
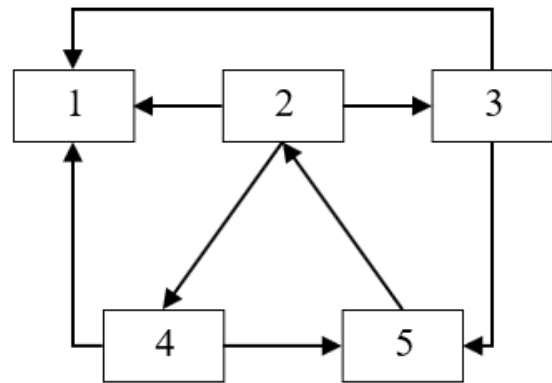
Рис. 6

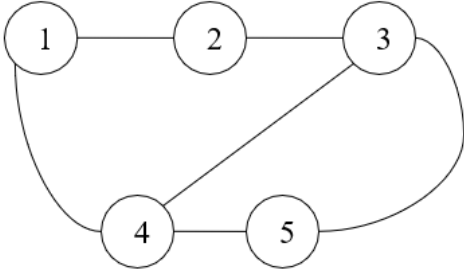
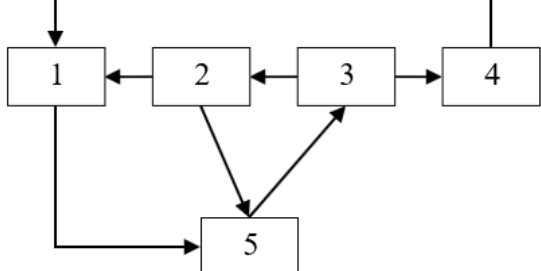
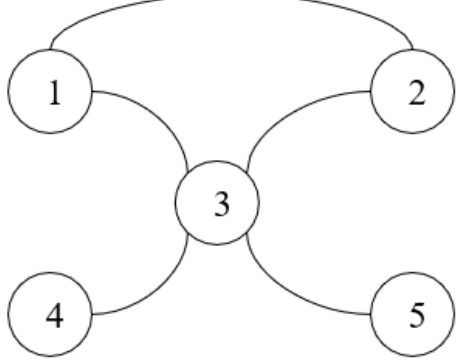
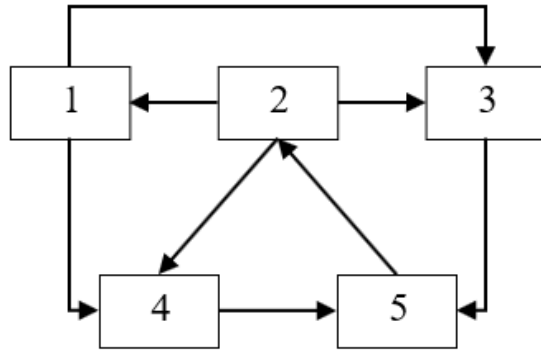
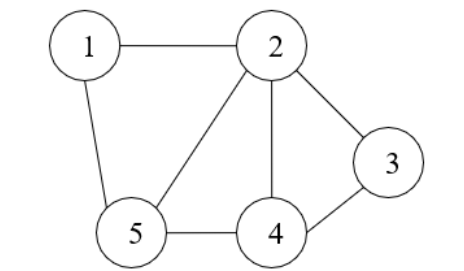
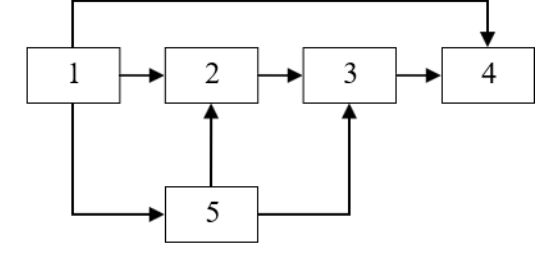
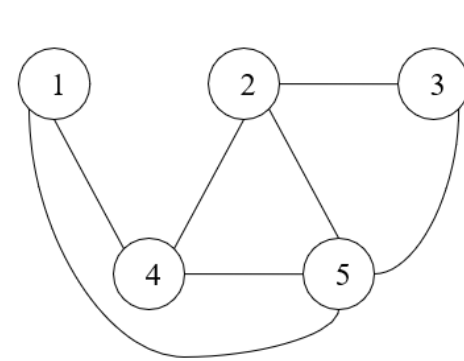
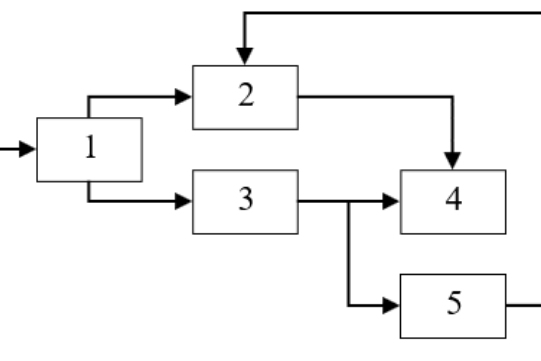
### Варіанти до практичної роботи

Для системи (рис. а) розрахувати структурно-топологічні характеристики та порівняти їх із характеристиками однієї з типових структур (послідовна, кільцева, радіальна, деревоподібна, повний граф).

Для системи (рис. б) ранжувати елементи порядку їх структурної значимості.

Вар.	Рис. а	Рис. б
1.	 <p>кільцева</p>	
2.	 <p>радіальна</p>	
3.	 <p>повний граф</p>	

Вар.	Рис. а	Рис. б
4.	 <p>послідовна</p>	
5.	 <p>деревоподібна</p>	
6.	 <p>радіальна</p>	
7.	 <p>кільцева</p>	
8.	 <p>повний граф</p>	

Вар.	Рис. а	Рис. б
9.	 <p>послідовна</p>	
10.	 <p>деревоподібна</p>	
11.	 <p>радіальна</p>	
12.	 <p>повний граф</p>	

Вар.	Рис. а	Рис. б
13.	<p>послідовна</p>	
14.	<p>радіальна</p>	
15.	<p>деревоподібна</p>	
16.	<p>кільцева</p>	



### Питання для самоконтролю

1. В чому полягає загальне завдання структурного системного аналізу?
2. Дайте опис формалізації структур на основі теорії графів.
3. Що таке структура системи?
4. Дайте визначення орієнтованого графа.
5. Дайте визначення ланцюгу, шляху і довжині ланцюга графа.

### Практична робота № 2

#### Тема: Моделювання систем масового обслуговування за допомогою Марківських процесів

**Мета:** закріпити навички моделювання систем масового обслуговування з випадковими станами за допомогою ергодичних марківських ланцюгів.

1. Для заданого графа (рис.1) станів системи та інтенсивностей переходів розрахувати ймовірність станів системи.

2. Для виділених на графі ймовірності  $P_k$  та інтенсивностей  $\lambda_{ij}$  визначити: які значення має набувати інтенсивність  $\lambda_{ij}$ ; щоб відношення між часом очікування та часом обслуговування абонента  $B$  (або  $A$ , за вар. завдання того абонента, хто не пріоритетний) не перевищувала величину  $a = 0.3$ .

Очікувані результати навчання:

- ДРН 3. Застосовувати методи і засоби роботи з даними і знаннями, методи математичного, логіко-семантичного, об'єктного та імітаційного моделювання;
- ДРН 5. Вміти моделювати, прогнозувати та проектувати бізнес-процес підприємства на основі методів та інструментальних засобів системного аналізу.

#### Хід роботи

##### Змістовний опис системи.

В якості станів системи може задаватися розподіл завдань на пристроях. Нехай обслуговуються два абоненти  $A$  та  $B$ . Причому  $A$  має перевагу в обслуговуванні. Як тільки поступає заявка на обслуговування від абонента  $A$ , то абонент  $B$  стає в чергу і очікує доти, поки не закінчиться обслуговуватися  $A$ .

Можливі стани системи наступні:

- 1 – в системі немає заявок;
- 2 – обслуговується  $B$ , заявки від  $A$  не поступало;

3 – обслуговується  $A$ ;

4 – обслуговується  $A$ , абонент  $B$  – очікує.

Граф станів системи згідно з логікою розв'язуваної задачі має вигляд:

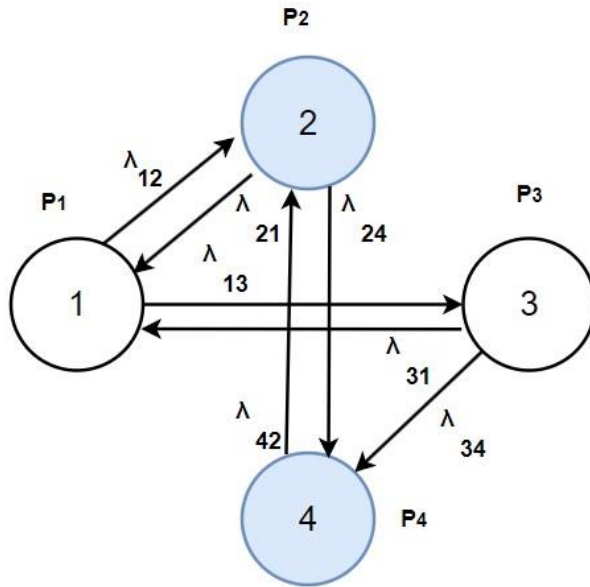


Рис. 1 - Граф станів системи

Для кожної дуги графа вказуються інтенсивності переходів:

Таблиця 1 - інтенсивності переходів в системі

$\lambda_{12}$	$\lambda_{13}$	$\lambda_{21}$	$\lambda_{31}$	$\lambda_{34}$	$\lambda_{24}$	$\lambda_{42}$
0,5	1,0	0,4	0,6	2,0	2,5	3,0

Складається система рівнянь Колмогорова, що зв'язує стан системи з інтенсивностями переходів між станами за наступним правилом: *похідна ймовірності  $i$ -го стану дорівнює сумі добутків ймовірностей станів на інтенсивності переходів системи в цей стан (добуток входить в рівняння зі знаком "+", якщо дуга графа входить в даний стан, і зі знаком "-", якщо дуга графа виходить з цього стану).*

При системному аналізі поведінки дослідимо граничний або стаціонарний стан системи при  $t \rightarrow \infty$ .

В цьому випадку всі похідні  $\frac{dP_k}{dt} = 0$  та система диференціальних рівнянь перетворюється на систему лінійних алгебраїчних рівнянь, яка може бути вирішена щодо невідомих ймовірностей станів  $P_k$ .

$$-\left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n \lambda_{ij}\right) P_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n \lambda_{ij} P_j = 0 \quad \forall i = \overline{1, n} \quad (1)$$

Система (1) є лінійно залежною, тому її слід доповнити умовою:

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (2)$$

Відповідно до формули (1) складемо систему алгебраїчних рівнянь для визначення ймовірностей станів  $P_{ij} = 1, 4$  безпосередньо за графом рис.1, користуючись правилами:

1) для кожного  $i$ -го стану складається одне рівняння;

2) ймовірність  $i$ -ї вершини (стану) зі знаком "-" множиться на суму інтенсивностей переходів системи із цього стану до інших суміжних. До цієї суми додається сума добутків ймовірностей суміжних вершин (станів) на інтенсивності переходів системи в цей  $i$ -ий стан.

$$\begin{cases} -(\lambda_{12} + \lambda_{13})P_1 + \lambda_{21}P_2 + \lambda_{31}P_3 = 0 \\ -(\lambda_{21} + \lambda_{24})P_2 + \lambda_{42}P_4 + \lambda_{12}P_1 = 0 \\ -(\lambda_{31} + \lambda_{34})P_3 + \lambda_{13}P_1 = 0 \\ -(\lambda_{42})P_4 + \lambda_{24}P_2 + \lambda_{32}P_3 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

В отриманій системі лінійних рівнянь невідомими є параметри ймовірностей (для випадку на рисунку 1 це ймовірності знаходження системи в станах  $P_1, P_2, P_3$  і  $P_4$ ).

Припустимо інтенсивності для графа рис. 1 задані в таблиці 1. Тоді система (3) набуде вигляду :

$$\begin{cases} -1,5P_1 + 0,4P_2 + 0,6P_3 = 0 \\ 0,5P_1 - 2,9P_2 + 3P_4 = 0 \\ P_1 - 2,6P_3 = 0 \\ 2,5P_2 + 2P_3 - 3P_4 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Це система лінійно-залежних рівнянь. Тому для вирішення її одне рівняння (будь-яке) системи необхідно замінити умовою (2):

$$\begin{cases} P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1 \\ 0,5P_1 - 2,9P_2 + 3P_4 = 0 \\ P_1 - 2,6P_3 = 0 \\ 2,5P_2 + 2P_3 - 3P_4 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Система лінійних алгебраїчних рівнянь(СЛАР) може бути розв'язана одним з відомих вам аналітичних методів: матричним, Крамера, Гауса, ітераційним, тощо. У разі використання комп'ютерної техніки, подібну систему, приведену до стандартного матричного вигляду

$$A \times P = b \quad (6)$$

де  $P$  – вектор невідомих,  $A$  – квадратна матриця коефіцієнтів при невідомих,  $b$  – вектор вільних членів рівнянь. СЛАР (6) можна розв'язати із застосуванням виразу:

$$P = A^{-1} \times b \quad (7)$$

де  $A^{-1}$  – обернена матриця до  $A$ ,  $\times$  – оператор матричного множення.

Рішення системи рівнянь (4) матричним методом ілюструє наступний фрагмент в електронній таблиці Microsoft Excel

	1	1	1	1		1		0,134078	0,614525	0,558659	0,659218		0,134078
A=	0,5	-2,9	0	3	b=	0	A <sup>-1</sup> =	0,42544	-0,55006	-0,15041	-0,40825	P=A <sup>-1</sup> *b=	0,42544
	1	0	-2,6	0		0		0,051569	0,236356	-0,16975	0,253545		0,051569
	0	2,5	2	-3		0		0,388913	-0,30082	-0,2385	-0,50451		0,388913
												Сума Pi =	1

Ймовірність перебування системи в кожному зі станів :

$$P_1=0,134; P_2=0,425; P_3=0,052; P_4=0,39$$

2. *Ефективність* роботи системи будемо оцінювати відношенням часу очікування та часу обслуговування абонента  $B$  та визначається співставленням ймовірностей станів  $P_4$  і  $P_2$ :  $\frac{P_4}{P_2} = \frac{0,39}{0,42} = 0,91$ .

Так як це відношення більше 0,3, то можна зробити висновок про неефективність роботи системи, бо абонент  $B$  дуже довго очікує в черзі на обслуговування. Можливо, є потреба в оптимізації процесу обслуговування абонентів для скорочення часу очікування і покращення загального досвіду обслуговування.

Щоб зменшити відношення  $P_4/P_2$  необхідно або зменшити інтенсивності потоків  $\lambda_{21}$ ,  $\lambda_{34}$  та  $\lambda_{24}$  або збільшити інтенсивність потоків  $\lambda_{12}$  та  $\lambda_{42}$ . Збільшимо інтенсивність  $\lambda_{12}$  і  $\lambda_{42}$ , інші не змінюємо:

$\lambda_{12}$	$\lambda_{13}$	$\lambda_{21}$	$\lambda_{31}$	$\lambda_{34}$	$\lambda_{24}$	$\lambda_{42}$
10	1,0	0,4	0,6	2,0	2,5	9,0

Тоді система (5) набуде вигляду :

$$\begin{cases} P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1 \\ 10P_1 - 2,9P_2 + 9P_4 = 0 \\ P_1 - 2,6P_3 = 0 \\ 2,5P_2 + 2P_3 - 9P_4 = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Рішення системи рівнянь (7) матричним методом ілюструє наступний фрагмент в електронній таблиці Microsoft Excel

	1	1	1	1		1
A=	10,00	-2,9	0	9	b=	0
	1	0	-2,6	0		0
	0	2,5	2	-9		0
	0,027877	0,089052	0,081606	0,092149		0,027877
A <sup>-1</sup> =	0,750536	-0,10245	0,274005	-0,01906	P=A <sup>-1</sup> *b=	0,750536
	0,010722	0,034251	-0,35323	0,035442		0,010722
	0,210865	-0,02085	-0,00238	-0,10853		0,210865
					Сума Pi =	1

Ймовірність перебування системи в кожному зі станів :  $P_1=0,028$ ;  $P_2=0,75$ ;  $P_3=0,011$ ;  $P_4=0,21$ .

Тепер маємо:  $\frac{P_4}{P_2} = \frac{0,21}{0,75} = 0,28 < 0,3$ , отже **ефективність** роботи системи значно покращилась і **абонент В** тепер значно менше очікує в черзі на обслуговування.

### Вихідні дані для індивідуальних завдань роботи.

Обираємо один із двох варіантів:

**I варіант.** Самостійно обираємо систему Динаміка якої відбивається у зміні станів і Виконуємо Завдання 1. Щоб направити на ідеї, ось деякі моменти теорії масового обслуговування: У цій теорії інтенсивність ( $\lambda$ ) може вказувати на середню кількість подій (наприклад, вхідних запитів, клієнтів тощо), які надходять до системи протягом одиниці часу. Прикладом може бути кількість клієнтів, які приходять в магазин за

годину. Ймовірності використовуються для моделювання різних станів системи, таких як час очікування, затримки тощо.

## II варіант.

*Виконуємо Завдання 1 та 2 (як в прикладі)*

Варіанти 1 – 5.	Варіанти 6 – 10.
Обслуговуються два абоненти А та В. Причому В має перевагу в обслуговуванні. Як тільки поступає заявка на обслуговування від абонента В, то абонент А стає в чергу і очікує доти, поки не закінчиться обслуговуватися В. Можливі стани системи наступні: 1 – обслуговується А, заявки від В не поступало;	Обслуговуються два абоненти А та В. Причому А має перевагу в обслуговуванні. Як тільки поступає заявка на обслуговування від абонента А, то абонент В стає в чергу і очікує доти, поки не закінчиться обслуговуватися А. Можливі стани системи наступні: 1 – обслуговується В, заявки від А не поступало;
2 – обслуговується В; 3 – в системі немає заявок; 4 – обслуговується В, абонент А – очікує.	2 – в системі немає заявок; 3 – обслуговується А, абонент В – очікує; 4 – обслуговується А.
<b>Ефективність</b> роботи системи визначаємо за співвідношенням $P_4/ P_1$	<b>Ефективність</b> роботи системи визначаємо за співвідношенням $P_3/ P_1$

Варіанти 11 –15.	Варіанти 16 – 20.
Обслуговуються два абоненти А та В. Причому В має перевагу в обслуговуванні. Як тільки поступає заявка на обслуговування від абонента В, то абонент А стає в чергу і очікує доти, поки не закінчиться обслуговуватися В. Можливі стани системи наступні: 1 – обслуговується В; 2 – обслуговується А, заявки від В не поступало; 3 – в системі немає заявок; 4 – обслуговується В, абонент А – очікує.	Обслуговуються два абоненти А та В. Причому А має перевагу в обслуговуванні. Як тільки поступає заявка на обслуговування від абонента А, то абонент В стає в чергу і очікує доти, поки не закінчиться обслуговуватися А. Можливі стани системи наступні: 1 – обслуговується А 2 – обслуговується В, заявки від А не поступало; 3 – обслуговується А, абонент В – очікує; 4 – в системі немає заявок.
<b>Ефективність</b> роботи системи визначаємо за співвідношенням $P_4/ P_2$	<b>Ефективність</b> роботи системи визначаємо за співвідношенням $P_3/ P_2$

**Інтенсивності переходів для графа системи, побудованого для II варіанта:**

Варіант	$\lambda_{ij1}$	$\lambda_{ij2}$	$\lambda_{ij3}$	$\lambda_{ij4}$	$\lambda_{ij5}$	$\lambda_{ij6}$	$\lambda_{ij7}$
1.	0,5	1,0	0,4	0,6	2,0	2,5	3,0
2.	0,6	1,1	0,5	0,7	2,1	2,6	3,2
3.	0,8	0,8	0,6	0,5	2,5	2,8	3,5
4.	0,9	1,0	0,5	0,7	2,6	2,6	3,8
5.	1,0	0,8	0,7	0,6	2,4	2,7	3,9
6.	1,1	0,7	0,6	0,5	2,6	2,8	3,7
7.	0,8	1,2	0,5	0,7	2,1	2,6	3,5
8.	0,7	1,0	0,6	0,7	2,5	2,7	3,2
9.	0,6	0,9	0,7	0,8	2,7	2,5	3,7
10.	0,8	1,0	0,6	0,7	2,8	2,9	3,9
11.	0,9	1,2	0,7	0,8	2,4	2,7	3,6
12.	1,0	0,6	0,5	0,7	2,0	2,9	3,9
13.	0,9	1,1	0,6	0,5	2,2	2,7	3,7
14.	0,8	1,2	0,7	0,8	2,4	2,8	3,5
15.	0,7	0,8	0,7	0,5	2,1	2,7	3,9
16.	0,8	1,1	0,6	0,4	2,6	2,6	3,5
17.	0,9	0,9	0,7	0,5	2,8	2,8	3,8
18.	0,8	1,2	0,4	0,8	2,2	2,5	3,2
19.	0,4	1,2	0,5	0,7	2,1	2,6	3,9
20.	0,8	1,0	0,7	0,9	2,6	2,8	3,8
21.	1,0	1,0	0,6	0,8	2,2	2,9	3,9
22.	0,6	0,8	0,5	0,6	2,7	2,6	3,5
23.	0,9	1,1	0,4	0,5	2,1	2,2	3,2
24.	1,0	0,7	0,7	0,8	2,6	2,7	3,9
25.	1,0	0,9	0,6	0,8	2,4	2,5	3,5

Примітка: Коли дуг більше ніж 7, то задаємось  $\lambda_{ij}$  в межах від 0,4 до 5.

**Питання для самоконтролю**

1. Що називають випадковим процесом?
2. Що називають реалізацією випадкового процесу?
3. Дайте опис марківського випадкового процесу.
4. Дайте визначення системі рівнянь Колмогорова.
5. Яку функцію виконує система рівнянь Колмогорова в моделі перевірки надійності системи ергодичного марківського ланцюга?

## Практична робота № 3

**Тема: Прийняття рішень на основі методу аналізу ієрархій**

**Мета:** набування навичок побудування ієрархії проблеми.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних задач:

Використовуючи метод аналізу ієрархій дослідити проблему вибору рішення на множині з 5-10 альтернатив альтернатив одного з варіантів, використовуючи 7-15 критеріїв, об'єднаних ієрархічно.

Очікувані результати навчання:

- ДРН 5. Вміти моделювати, прогнозувати та проектувати бізнес-процес підприємства на основі методів та інструментальних засобів системного аналізу.

### Хід роботи

**Короткі теоретичні відомості та опис алгоритму.**

#### **Основні види ієрархій**

При аналізі реальної системи число елементів і їх взаємозв'язків настільки велике, що перевищує здатність експертів сприймати інформацію в повному обсязі. В цьому випадку реальність підрозділяється на складові частини за допомогою ієрархії.

Ієрархія є певним типом системи, заснованим на припущенні, що елементи системи можуть групуватися в окрему множину. Елементи кожної групи знаходяться під впливом елементів деякої цілком визначеної групи і, у свою чергу, впливають на елементи іншої групи, але елементи в кожній групі незалежні.

*Ієрархія – система, що складається з підсистем, що функціонують як ціле на одному рівні і що є складовими системи більш високого рівня, стаючи підсистемами цієї системи.*

У найбільш елементарному вигляді ієрархія будується з вершини (цілей – з погляду управління), через проміжні рівні (критерії, від яких залежать наступні рівні) до найнижчого рівня (який зазвичай є переліком альтернатив). Наприклад, при виборі житла слід врахувати наявність певних критеріїв вибору квартири, необхідних для вибору (вартість, площа, комфортність, інфраструктура району, транспорт, стан житла, сусіди, престиж та інші). Цьому прикладу відповідає ієрархія (рис. 1), на першому рівні якої знаходиться ціль – «Житло», на другому чинники, що уточнюють ціль, і на кінець, на останньому рівні три різні квартири, які мають бути оцінені по відношенню до критеріїв другого рівня.



Існує декілька видів ієрархій.

*Домінантні ієрархії – ієрархія з основою у вершині (схоже на перевернуте дерево див. рис. 1).*

*Холархії – доміантні ієрархії із зворотним зв'язком.*

*Китайський ящик (або модулярні ієрархії) – ієрархія, зростаюча в розмірах від простих елементів до усе більш загальних.*

*Ієрархія називається повною, якщо кожен елемент заданого рівня функціонує як критерій для всіх елементів нижчого рівня, в інших випадках - ієрархія неповна.*

### Побудова ієрархії

Побудова ієрархії виходить з природної здібності людей думати логічно і творчо, визначати події і встановлювати відношення і спиратися, таким чином, на принцип ідентичності і декомпозиції. На практиці не існує встановленої процедури генерування цілей, критеріїв і видів діяльності для включення в ієрархію.

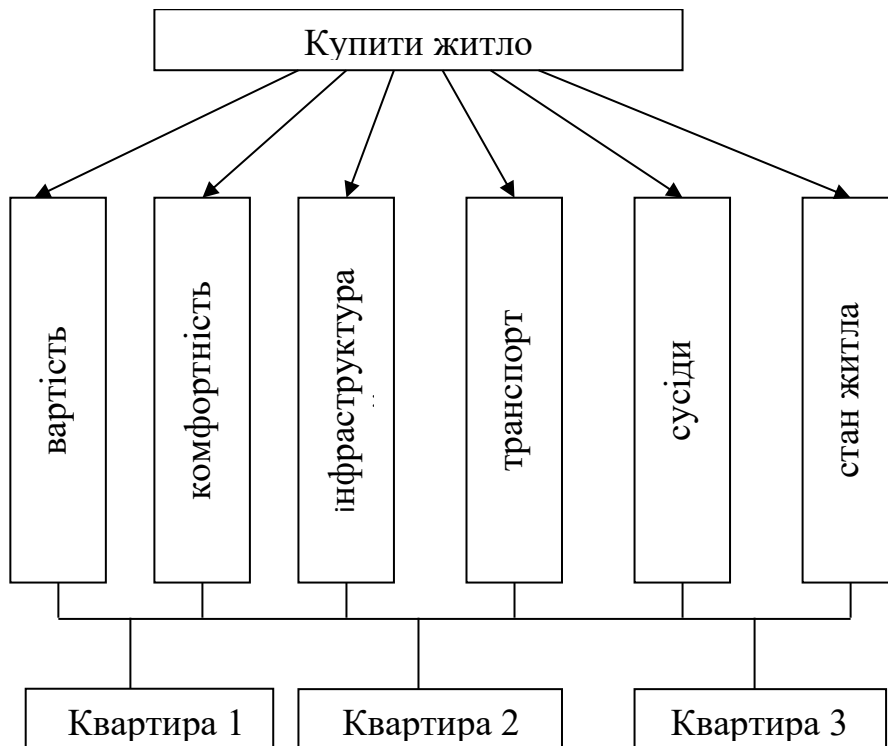


Рис.1. Приклад ієрархії

Для вирішення складніших проблем, ієрархія яких не може бути зведена до 3-х або 4-х рівневої структури, можлива наступна їх декомпозиція за ієрархією.

У вершині ієрархії встановлюється єдиний елемент – фокус – формулювання досліджуваної проблеми.

В другий (не обов'язковий) рівень слід включати різні економічні, політичні і соціальні сили, що впливають на результат.

Третій рівень – актори, які реально впливають на ситуацію шляхом маніпулювання цими силами.

Четвертий рівень – переслідувані цілі кожного актора.

П'ятий рівень (не обов'язковий) включає політики акторів, за допомогою яких вони намагаються досягти своїх цілей.

Шостий рівень – альтернативні можливі сценарії або результати, за які береться кожен актор заради досягнення своїх цілей.

Сьомий рівень – узагальнений результат, як результат реалізації і взаємодії можливих альтернативних сценаріїв розвитку проблеми.

При побудові ієрархії слід пам'ятати, що основні цілі встановлюються на вершині ієрархії, їх підцілі безпосередньо нижче за вершину, сили, що обмежують акторів (дійових осіб) ще нижче. Сили домінують над рівнем самих акторів, які, в свою чергу, домінують над рівнем своїх цілей, нижче за яких буде рівень їх можливих дій, і в самому низі знаходиться рівень різних можливих результатів.

Найбільш поширеними типами ієрархій є домінантні ієрархії, що підрозділяються на два типи:

- ієрархія прямого процесу, що проектує існуючий стан проблеми на найбільш вірогідне або логічне майбутнє (умови «сьогоднішнього» дня передбачають те, що буде «завтра»)

- ієрархія зворотного процесу, що визначає політики управління для досягнення бажаного майбутнього.

Для таких видів ієрархії визначений найбільш загальний порядок їх побудови.

### **Ієрархія прямого процесу.**

1. Макро обмеження довкілля.
2. Соціальні і політичні обмеження.
3. Сили.
4. Цілі.
5. Актори.
6. Цілі акторів.
7. Політики Акторів.
8. Контрастні сценарії.
9. Узагальнений сценарій.

## Ієрархія зворотного процесу.

1. Попередні сценарії.
2. Проблеми і можливості.
3. Актори і коаліції.
4. Цілі акторів.
5. Політики Акторів.
6. Окремі політики управління, що впливають на результат.

## Матриці порівнянь

У МАІ елементи задачі порівнюються попарно по відношенню до їх дії («вазі» або «інтенсивності») спільну для них характеристику. Отримані парні порівняння складають масив чисел, який оформляється у вигляді матриці. Порівнюючи набір складових проблеми один з одним, отримуємо квадратну матрицю. Це зворотно симетрична матриця, тобто  $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$

Хай  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – множина  $n$  елементів і  $w_1, w_2, \dots, w_n$  – відповідно їх пріоритети, або інтенсивності. За допомогою МАІ порівнюється пріоритет, або інтенсивність, кожного елементу з пріоритетом, або інтенсивністю, будь-якого іншого елементу множини по відношенню до спільної для них властивості або мети. Порівняння пріоритетів можна подати у вигляді матриці. Матриця може складатися лише з одного рядка або одного стовпця, які називаються векторами.

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Оскільки,  $w_1, w_2, \dots, w_n$  наперед невідомі, то попарні порівняння елементів проводять з використанням суб'єктивних думок, що чисельно оцінюються за шкалою.

$$\begin{pmatrix} & A_1 & A_2 & A_3 & \dots & A_n \\ A_1 & \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ A_2 & \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ A_3 & \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_n & \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix}$$

Коли проблема подана ієрархічно, матриця складається для порівняння відносної важливості критеріїв на другому рівні по відношенню до загальної на першому рівні. Подібні матриці мають бути побудовані для парних порівнянь кожної альтернативи на третьому рівні по відношенню до критеріїв другого рівня і так далі. Матриця складається таким чином. Якщо записати порівнювану ціль вгорі, а порівнювані елементи зліва і зверху, на перерізі відповідного рядка та стовпця записуються переваги критеріїв. Так, в прикладі із вибором житла (див. рис. 1), критерії другого рівня необхідно порівняти попарно по відношенню до спільної цілі першого рівня. Для цього заповнюється таблиця

Таблиця 1

Критерії	Вартість	Комфортність	Інфраструктура району	транспорт	сусіди	Стан житла
Вартість	1					
Комфортність		1				
Інфраструктура району			1			
транспорт				1		
сусіди					1	

Стан житла						1

Для порівняння квартир буде потрібно вже не одна, а шість матриць, оскільки необхідно порівняти квартири одну відносно другої за кожним критерієм (таблиця 2).

Таблиця 2

Критерій	K1	K2	K3
K1	1		
K2		1	
K3			1

### Шкала порівнянь

Якби доводилося порівнювати явища, для яких передбачена система вимірів, що склалася, то як відношення в елементи таблиці можна було б заповнити відношення дійсних мір. У випадку ж економічних, політичних і інших задач, парні порівняння можна проводити з використанням думок про відносну важливість компонентів. Потім ці думки виражаються чисельно за спеціально розробленою шкалою відносної важливості (таблиця 3). Ефективність шкали доведено теоретично при порівнянні з багатьма іншими шкалами.

Таблиця 3

Значення	Відносна важливість
1	рівна важливість
3	помірна перевага одного над іншим
5	істотна перевага одного над іншим
7	значна перевага одного над іншим
9	дуже сильна перевага одного над іншим
2, 4, 6, 8	відповідні проміжні значення

Порівняння починають з лівого елемента матриці. Визначається на скільки він важливіше чим другий. При порівнянні елемента із самим собою відношення дорівнює одиниці. Якщо перший елемент важливіший, ніж другий, то використовується ціле число з шкали, інакше використовується зворотна величина. У будь-якому випадку зворотні один до одного відношення заносяться в симетричні позиції матриці. Тому матриці завжди будуть позитивними і

зворотно симетричними, для їх заповнення необхідно провести врахування лише  $n(n-1)/2$  думок, де  $n$  - загальне число порівнюваних елементів.

При заповненні матриці слід керуватися правилами:

**Правило 1.** Якщо  $a_{ij} = \alpha$ , то  $a_{ji} = \frac{1}{\alpha}$

**Правило 2.** Якщо думки такі, що  $A_i$  має однакову з  $A_j$  відносну важливість, то  $a_{ij} = a_{ji} = 1$ ; зокрема  $a_{ii} = 1$  для всіх  $i$ .

**Правило 3.** Всі вічка матриці заповнюються значеннями однієї і тієї ж шкали. Як приклад розглянемо заповнені матриці для задачі вибору житла (таблиця 4).

Таблиця 4

Критерії	Вартість	Комфортність	Інфраструктура району	транспорт	сусіди	Стан житла
Вартість	1	1/4	1/3	5	6	7
Комфортність	4	1	1	7	3	9
Інфраструктура району	3	1	1	7	4	7
транспорт	1/5	1/7	1/7	1	1/5	1/3
сусіди	1/6	1/3	1/4	5	1	3
Стан житла	1/7	1/9	1/7	3	1/3	1

### Узгодженість матриць

Для здобуття результатів, відповідних дійсності в МАІ рекомендується перевіряти узгодженість заповнюваних матриць.

Під узгодженістю матриці розуміється її чисельна узгодженість і транзитивність. Досконалу узгодженість важко досягти при вимірюванні навіть найбільш точними інструментами на практиці, тому потрібний спосіб оцінки погодженості. Якщо при обчисленні відхилень від узгодженості вони перевищуватимуть допустимі межі, то судження потрібно перевірити ще раз.

### Обчислення індексу узгодженості (ІС).

Підсумовується кожен стовпець суджень.

Сума першого стовпця множитья на величину першої компоненти нормалізованого вектору пріоритетів, сума другого стовпця на другу компоненту і так далі.

Отримані числа підсумовуються. Їх сума позначається  $\lambda_{\max}$ .

$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ , де  $n$  – число порівнюваних елементів.

Відношення узгодженості  $VU = IC / n_{\text{вип}}$ , де  $n_{\text{вип}}$  – число випадкової узгодженості.

Випадкові узгодженості для матриць різного порядку вибираються з таблиці 5. Величина  $VU$  має бути порядку 10% або менш, аби бути прийнятною. В деяких випадках допускається  $VU$  до 20%, але не більш, інакше треба перевірити судження.

Таблиця 5

Порядок матриці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Випадкова узгодженість	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

### Обчислення локальних пріоритетів

По заповнених матрицях парних порівнянь критеріїв при подальшій математичному обробці формуються вектори пріоритетів, що виражають відносну силу, величину, бажаність, "цінність" кожного окремого об'єкту.

Вектор пріоритетів - нормалізований - головний власний вектор матриці. Такі вектори необхідно обчислити для кожної матриці, причому обчислення можна проводити різними способами:

1. Підсумовувати елементи кожного рядка і нормалізувати діленням кожної суми на суму всіх елементів; сума отриманих результатів дорівнюватиме одиниці. Перший елемент результуючого вектору буде пріоритетом першою об'єкту, другий - другого об'єкту і так далі

2. Підсумовувати елементи кожного стовпця і отримати зворотні величини цих сум. Нормалізувати їх так, щоб їх сума дорівнювала одиниці, розділити кожну зворотну величину на суму всіх зворотних величин.

3. Розділити елементи кожного стовпця на суму елементів цього стовпця (тобто нормалізувати стовпець), потім скласти елементи кожного отриманого рядка і розділити цю суму на число елементів рядка.

4. Помножити  $n$  елементів кожного рядка і витягувати корінь  $n$ -око степеню. Нормалізувати отримані числа.

5. Підносити матрицю до довільно великих ступенів. Обчислювати суми елементів рядків і нормалізувати отримані суми.

Найбільш точним є останній спосіб. Проте без відповідної комп'ютерної підтримки він представляє певну трудність. На практиці використовують переважно четвертий спосіб.

Розглянемо його.

Хай дана матриця  $A(n, n)$ . Компонента власного вектору  $i$ -го рядка обчислюється за формулою

$$b_i = \sqrt[n]{a_{i1} \times a_{i2} \times a_{i3} \times \dots \times a_{in}}.$$

Після того, як отримані компоненти власного вектору для всіх  $n$  рядків  $(b_1, b_2, \dots, b_n)$  проводиться його нормалізація. Для цього обчислюється сума компонент власного вектору  $\sum_{i=1}^n b_i$ . Потім кожен елемент  $b_i$  ділиться на знайдену суму.

Таким чином, отримуємо нормалізований власний вектор. .

$$\bar{X} = \left( \frac{b_1}{\sum b_i}, \frac{b_2}{\sum b_i}, \dots, \frac{b_n}{\sum b_i} \right) = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

### Синтез пріоритетів

Пріоритети синтезуються, починаючи з другого рівня вниз. Локальні пріоритети перемножуються на пріоритет відповідного критерію на вищому рівні і підсумовуються по кожному елементу відповідно до критеріїв, на які впливає цей елемент. (Кожний елемент другого рівня умножається на одиницю, тобто на вагу єдиної цілі самого верхнього рівня.) Це дає складений, або глобальний пріоритет того елемента, який потім використовується для зважування локальних пріоритетів елементів, що порівнюються по відношенню до нього як до критерію і розташовані рівнем нижче. Процедура продовжується до самого нижнього рівня.

Якщо отримані пріоритети  $k$ -го рівня, то пріоритети для елементів  $(k+1)$  рівня обчислюються за формулою:

$$x_j^{k+1} = \sum_{i=1}^n x_i^k b_{ij},$$

де  $x_j^{k+1}$  - глобальний пріоритет  $j$ -го критерію на  $(k+1)$  рівні,

$x_i^k$  - глобальний пріоритет  $i$ -го критерію на  $k$  рівні,

$b_{ij}$  - локальний пріоритет  $j$ -го критерію на  $(k+1)$  рівні за  $i$ -м критерієм

$k$ -го рівня.



Коли обчислені всі пріоритети для елементів нижнього рівня (тобто для альтернатив) особа, що приймає рішення обирає альтернативу, базуючись на одержаних результатах.

### Приклад виконання завдання.

Завдання. Допустимо, що перед деяким урядовим комітетом, у веденні якого знаходиться проблема будівництва мостів і тунелів, встало питання: побудувати чи ні тунель або міст через крупну річку, на якій в даний час працює приватний пором. Мета будівництва- поліпшення зв'язку між двома регіонами, і зниження витрат виробництва за рахунок нижчої вартості перевезень.

Для того щоб скористатися методом аналізу ієрархій для вирішення даної проблеми, треба в першу чергу чітко визначити ті потенційні вигоди, які необхідно враховувати. Допустимо, що експерти комітету, комплексно підходячи до вирішення даної проблеми, розробили наступну ієрархію.

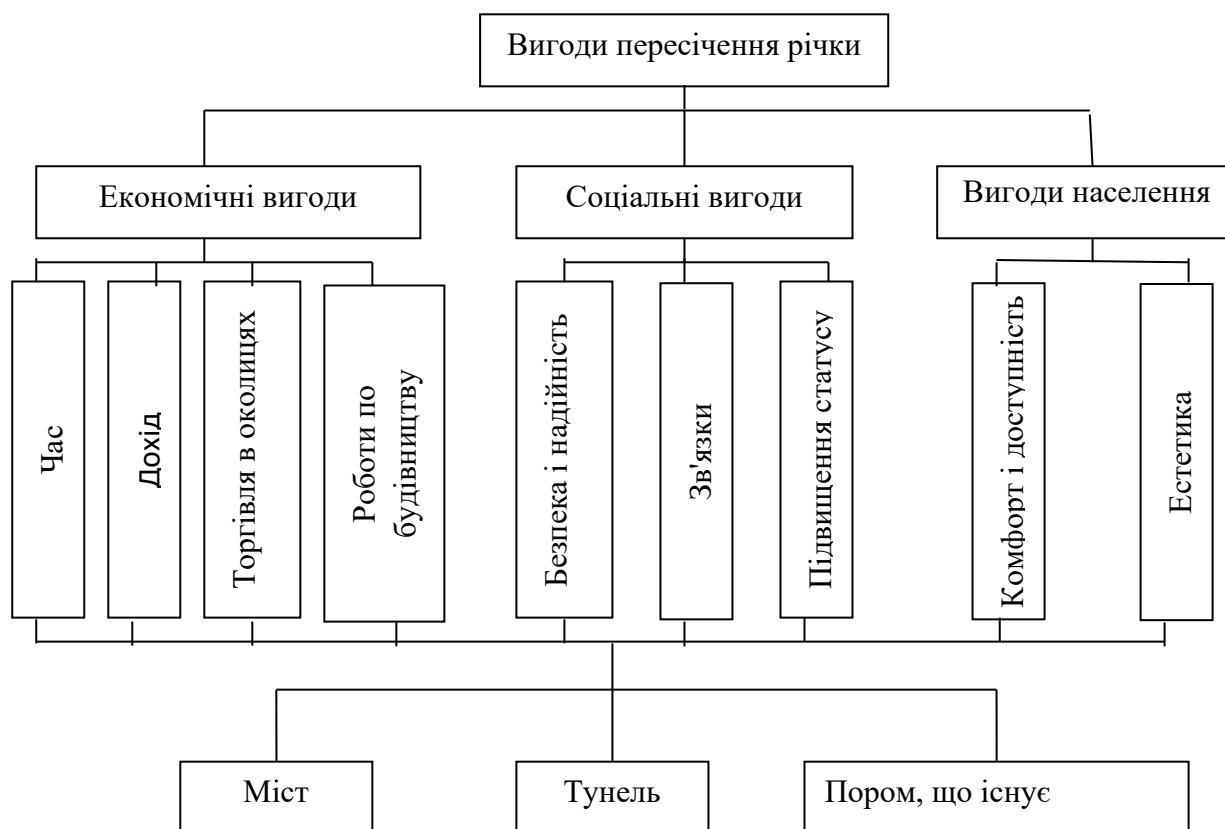


Рис. 2. Ієрархія вигід

Економічні чинники, що впливають на вибір, містять вигоди, пов'язані з виграшем за часом при пересуванні по новому мосту або тунелю, в порівнянні з часом переправи на поромі. Збільшення транспортного потоку в районі може також принести відчутний дохід від експлуатації доріг при введенні плати за

проїзд, що позитивно повинне позначитися на місцевому бюджеті. Інтенсивніший рух сприятиме і розвитку торгівлі як в околицях моста, так і уздовж всієї дороги, будуть побудовані нові бензоколонки, магазини і ресторани. Виникне також можливість додаткового залучення місцевого населення на будівельні роботи. Не можна скидати з рахунків і соціальні вигоди проекту: міст або тунель може забезпечити велику безпеку і надійність переправи в порівнянні з поромом, а також сприятиме більшій кількості пересічень річки для відвідин родичів, друзів, в цілях відвідин музеїв, виставок і т.д.; будівництво моста або тунеля може привести також до підвищення статусу населеного пункту. Вигоди середовища безпосередньо пов'язані з соціальними вигодами і великим психологічним комфортом жителів.

Після створення ієрархії проблеми необхідно приступити до заповнення матриць парних порівнянь. Матриця парних порівнянь для другого рівня ієрархії має наступний вигляд (передбачимо, що експерт заповнив її з врахуванням інтересів і думок своїх і керівництва).

Таблиця 6

	Економічні вигоди	Соціальні вигоди	Вигоди середовища
Економічні вигоди	1	3	4
Соціальні вигоди	1/3	1	2
Вигоди середовища	1/4	1/2	1

З вигляду заповненої матриці виходить, що експерт при вирішенні проблеми віддає перевагу (хоча і незначну) досягненню економічних вигід перед соціальними і вигодами середовища. Після цього для даній матриці по описаній вище методиці розраховуються локальні пріоритети і перевіряється її узгодженість.

Розрахунок пріоритетів другого рівня проводимо 4 способом.

1. Компонента власного вектору  $i$ -го рядка обчислюється за формулою

$$b_i = \sqrt[n]{a_{i1} \times a_{i2} \times a_{i3} \times \dots \times a_{in}}.$$

Для даної матриці маємо:

$$b_1 = \sqrt[3]{a_{11} \times a_{12} \times a_{13}} = \sqrt[3]{1 \times 3 \times 4} = 2,29$$

$$b_2 = \sqrt[3]{a_{21} \times a_{22} \times a_{23}} = \sqrt[3]{0,33 \times 1 \times 2} = 0,87$$

$$b_3 = \sqrt[3]{a_{31} \times a_{32} \times a_{33}} = \sqrt[3]{0,25 \times 0,5 \times 1} = 0,5$$

2. Після того, як отримані компоненти власного вектору для всіх рядків  $(b_1, b_2, b_3)$  проводиться його нормалізація. Для цього обчислюється сума компонент власного вектору  $\sum_{i=1}^3 b_i = 2,29 + 0,87 + 0,5 = 3,66$ .

Потім кожен елемент  $b_i$  ділиться на знайдену суму. Таким чином, отримуємо нормалізований власний вектор  $\bar{X} = \left( \frac{2,29}{3,66}, \frac{0,87}{3,66}, \frac{0,5}{3,66} \right) = (0,62; 0,24; 0,14)$ . Тобто елементи другого рівня мають такі пріоритети:

Таблиця 7

	Пріоритет
Економічні вигоди	0,62
Соціальні вигоди	0,24
Вигоди середовища	0,14

Перевіримо узгодженість матриці.  
Запишемо розрахунки у таблицю

Таблиця 8

	Економічні вигоди	Соціальні вигоди	Вигоди середовища	$b_i$	Пріоритет $x_i$	$A_j * x_i$
Економічні вигоди	1	3	4	2,29	0,62	0,9796
Соціальні вигоди	1/3	1	2	0,87	0,24	1,08
Вигоди середовища	1/4	1/2	1	0,5	0,14	0,98
$A_j = \sum_{i=1}^3 a_{i,j}$	1,58	4,5	7	$\sum_{i=1}^3 b_i = 3,66$		$\lambda_{\max} = \sum A_j \cdot x_i = 3,0396$

Обчислимо  $IY = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ , де  $n = 3$  - число порівнюваних елементів.

$$IY = (3,0396 - 3) / 2 = 0,0198$$

Відношення узгодженості  $VY = IY / n_{\text{вип}}$ , де  $n_{\text{вип}}$  - число випадкової узгодженості. Для нашої матриці  $n_{\text{вип}} = 0,58$  (згідно таблиці).

$$VY = 0,0198 / 0,58 = 0,034$$

Величина  $VY$  має бути 10% або менше, аби бути прийнятною. В нашому випадку  $VY = 3,4\%$ . Тобто умови виконані, матриця добре узгоджена. У випадку коли матриця неузгоджена потрібно перевірити судження.

Тепер потрібно для кожного з критеріїв другого рівня скласти матриці порівнянь елементів третього рівня, які із ними пов'язані.

Припустимо, що за думками експертів складено такі матриці парних порівнянь для критеріїв третього рівня (таблиці 9,10,11)

Таблиця 9

Економічні вигоди	Час	Дохід	Торгівля в околицях	Роботи по будівництву
Час	1	1/5	1/3	1/3
Дохід	5	1	4	2
Торгівля в околицях	3	1/4	1	1/3
Роботи по будівництву	3	1/2	3	1

Таблиця 10

Соціальні вигоди	Безпека і надійність	Зв'язки	Підвищення статусу
Безпека і надійність	1	7	8
Зв'язки	1/7	1	3
Підвищення статусу	1/8	1/3	1

Таблиця 11

Вигоди середовища	Комфорт і доступність	Естетика
Комфорт і доступність	1	5
Естетика	1/5	1

Для кожної з цих матриць необхідно обчислити вектор локальних пріоритетів, перевірити їх узгодженість і обчислити глобальні пріоритети для всіх елементів рівня.

Приведемо результати обчислень.

Узгодженість матриць і обчислення локальних пріоритетів проводиться так само, як у попередньому випадку.

Для наших даних отримуємо:

Таблиця 12

Критерій	Локальний пріоритет критерію
Час	0,08
Дохід	0,50
Торгівля в околицях	0,14
Роботи по будівництву	0,28

Індекс узгодженості  
ВУ=0,04

Таблиця 13

Критерій	Локальний пріоритет критерію
Безпека і надійність	0,78
Зв'язки	0,15
Підвищення статусу	0,07

Індекс узгодженості  
ВУ=0,089

Таблиця 14

Критерій	Локальний пріоритет критерію
Комфорт і доступність	0,83
Естетика	0,17

Матриці другого порядку завжди узгоджені, якщо заповнюються згідно правилам.

Тепер необхідно обчислити глобальні пріоритети критеріїв третього рівня. Обчислення проводимо за формулою

$$x_j^{k+1} = \sum_{i=1}^n x_i^k b_{ij},$$

де  $x_j^{k+1}$  - глобальний пріоритет  $j$ -го критерію на  $(k+1)$  рівні,

$x_i^k$  - глобальний пріоритет  $i$ -го критерію на  $k$  рівні,

$b_{ij}$  - локальний пріоритет  $j$ -го критерію на  $(k+1)$  рівні за  $i$ -м критерієм  $k$ -го рівня.

Для наших критеріїв маємо

Таблиця 15

№	Критерій третього рівня	Локальний пріоритет критерію $b_{ij}$	Глобальний пріоритет критерію вищого(другого) рівня $x_i^k$	Глобальний пріоритет критерію третього рівня $x_j^{k+1} = \sum_{i=1}^n x_i^k b_{ij}$
1	Час	0,08	0,62 (економічні вигоди)	0,05
2	Дохід	0,50		0,31
3	Торгівля в околицях	0,14		0,09
4	Роботи по будівництву	0,28		0,17
5	Безпека і надійність	0,78	0,24 (соціальні вигоди)	0,19
6	Зв'язки	0,15		0,04
7	Підвищення статусу	0,07		0,02
8	Комфорт і доступність	0,83	0,14 (вигоди середовища)	0,12
9	Естетика	0,17		0,02

Що стосується останнього – четвертого рівня, то для нього необхідно скласти дев'ять (по числу критеріїв – елементів вищого рівня) матриць для порівняння альтернатив – передбачуваного будівництва по мірі їх відповідності кожному критерію. Після того, як всі ці матриці будуть заповнені, буде перевірена узгодженість думок експерта при заповненні кожної з них і в разі задовільного значення ВУ по цих матрицях будуть розраховані локальні пріоритети порівнюваних об'єктів.

Результати розрахунків наведені нижче.

Таблиця 16

Час	міст	тунель	пором	Локальний пріоритет	ВУ
міст	1,00	0,33	7,00	0,26	0,09
тунель	3,00	1,00	8,00	0,68	
пором	0,14	0,13	1,00	0,06	

Таблиця 17

Дохід	міст	тунель	пором	Локальний пріоритет	ВУ
міст	1,00	0,33	6,00	0,29	0,086
тунель	3,00	1,00	7,00	0,64	
пором	0,17	0,14	1,00	0,07	

Таблиця 18

Торгівля в околицях	міст	тунель	пором	Локальний пріоритет	ВУ
міст	1,00	1,00	5,00	0,45	0
тунель	1,00	1,00	5,00	0,45	
пором	0,20	0,20	1,00	0,1	

Таблиця 19

Роботи по будівництву	міст	тунель	пором	Локальний пріоритет	ВУ
міст	1,00	0,33	7,00	0,29	0,069
тунель	3,00	1,00	9,00	0,66	
пором	0,14	0,11	1,00	0,05	

Таблиця 20

Безпека і надійність	міст	тунель	пором	Локальний пріоритет	ВУ
міст	1,00	3,00	7,00	0,65	0,056
тунель	0,33	1,00	5,00	0,28	
пором	0,14	0,20	1,00	0,07	

Таблиця 21

Зв'язки	міст	тунель	пором	Локальний пріоритет	ВУ
міст	1,00	0,25	7,00	0,28	0,017
тунель	3,00	1,00	8,00	0,66	
пором	0,14	0,13	1,00	0,06	

Таблиця 22

Підвищення статусу	міст	тунель	пором	Локальний пріоритет	ВУ
міст	1,00	3,00	7,00	0,65	0,056
тунель	0,33	1,00	5,00	0,28	
пором	0,14	0,20	1,00	0,07	

Таблиця 23

Комфорт і доступність	міст	тунель	пором	Локальний пріоритет	ВУ
міст	1,00	3,00	8,00	0,65	0,063
тунель	0,33	1,00	6,00	0,29	
пором	0,13	0,17	1,00	0,06	



Таблиця 24

Естетика	міст	тунель	пором	Локальний пріоритет	ВУ
міст	1,00	7,00	4,00	0,70	0,066
тунель	0,14	1,00	0,25	0,08	
пором	0,25	4,00	1,00	0,23	

Знаючи локальні пріоритети всіх елементів ієрархії, можна переходити до етапу синтезу глобальних пріоритетів. Таким чином будуть отримані глобальні пріоритети альтернатив з точки зору вигід будівництва. Приведемо результати обчислень.

Таблиця 25

Критерії третього рівня	Глобальні пріоритети критеріїв третього рівня $x_i^k$	Локальні пріоритети альтернатив за даним критерієм $b_{ij}$		
		міст	тунель	пором
Час	0,05	0,26	0,68	0,06
Дохід	0,31	0,29	0,64	0,07
Торгівля в околицях	0,09	0,45	0,45	0,1
Роботи по будівництву	0,17	0,29	0,66	0,05
Безпека і надійність	0,19	0,65	0,28	0,07
Зв'язки	0,04	0,28	0,66	0,06
Підвищення статусу	0,02	0,65	0,28	0,07
Комфорт і доступність	0,12	0,65	0,29	0,06
Естетика	0,02	0,7	0,08	0,23
Глобальні пріоритети альтернатив $x_j^{k+1} = \sum_{i=1}^n x_i^k b_{ij}$		<b>0,4234</b>	<b>0,5067</b>	<b>0,0711</b>

Таким чином за вигодами альтернативні проекти мають такі пріоритети:

- міст – 0,423;
- тунель – 0,507;
- пором - 0,071.

Найбільший пріоритет має проект тунелю і тому саме цей проект має бути обраний.

### **Варіанти індивідуальних завдань:**

Варіант 1. Вибір типу транспортного засобу (велосипед, мотоцикл, моторолер, віз, карета, автобус, вантажівка, легковик: пікап, седан, хетчбек, кабриолет).

Варіант 2. Вибір форми проведення літнього відпочинку (удома, в саду, в пішому поході, в місцевому санаторії, на Чорному морі, на Середземному морі, в круїзі на теплоході, на гірському курорті, в африканських країнах і так далі).

Варіант 3. Вибір принтера (чи будь-якої іншої одиниці комп'ютерної техніки по вибору) для купівлі (рішення – доступні моделі принтерів, різні за принципом дії й форматом).

Варіант 4. Де по вечеряти увечері? (удома, у друзів, в їдальні, в кафе, в ресторані, в клубі.).

Варіант 5. Вибір телевізора для домашнього помешкання (діагональ, тип, ціна, марка і так далі).

Варіант 6. Купівля квартири в м. Дніпрі (ціна, площа, престижність району, екологічна ситуація в районі, транспорт, тип будинку і так далі).

Варіант 7. Вибір пральної машини для приватного помешкання за критеріями власника.

Варіант 8. Вибір холодильника для приватного помешкання за критеріями власника.

Варіант 9. Вибір праски для приватного помешкання за критеріями власника.

Варіант 10. Вибір пилососа для приватного помешкання за критеріями власника.

Варіант 11. Вибір мікрохвильової пічки для приватного помешкання за критеріями власника.

Варіант 12. Вибір типу фізичного навантаження залежно від проблем і потреб фізкультурника (йога, біг, кардіо, силова, пауерліфтінг, бокс, воркаут, ...)

Варіант 13. Вибір садової рослини для дачної ділянки за вимогами і критеріями.

Варіант 14. Вибір типу транспорту для подорожі.

Варіант 15. Вибір музичного стилю для супроводу події (джаз, класика, гранж, метал, інді, поп, шансон, ...).

Варіант 16. Вибір типу верхнього одягу залежно від критеріїв погоди і характеру діяльності.

Варіант 17. Вибір електроінструменту для виконання ремонтних робіт.

Варіант 18. Вибір книги в подорож.

Варіант 19. Вибір тканини для пошиву певного типу одягу.

Варіант 20. Вибір жанру художнього фільму для перегляду.

Варіант 21. Вибір мультфільму для перегляду.

Варіант 22. Вибір кондитерських виробів для замовлення.

Варіант 23. Вибір способу харчування в незнайомому місці.

Варіант 24. Вибір породи собаки за бажання завести її вперше.

Варіант 25. Вибір тварини – домашнього улюбленця залежно від умов проживання (кіт, собака, свиня, хом'як, рибки, ...)

Варіант 26. Вибір країни для майбутнього постійного проживання.

Варіант 27. Вибір іноземної мови, яку вивчати третьою.

Варіант 28. Вибір туристичного напрямку (країна, місто) на період відпустки (канікул).

Варіант 29. Вибір спеціальності при вступі до ВНЗ в Україні

Варіант 30. Вибір професії після завершення ВНЗ в Україні.

### Питання для самоконтролю

1. В чому полягає зміст поняття „ієрархічна структура моделі проблеми”?
2. Які основні етапи в методу аналізу ієрархій?
3. В чому полягає зміст поняття „метод парних порівнянь в методу аналізу ієрархій”?
4. В чому полягає зміст поняття „зворотно-симетрична матриця”?
5. В чому полягає зміст поняття „порядкова узгодженість”?
6. В чому полягає зміст поняття „кардинальна узгодженість”?
7. В чому полягає зміст поняття „індекс узгодженості(IU)”?
8. В чому полягає зміст поняття „відношення узгодженості(BU)”?
9. Поясніть поняття адекватності моделі, отриманої методом аналізу ієрархій.

### Практична робота №4

**Тема: Розрахунок інформаційних ланцюгів**

**Мета:** Проведення розрахунку інформаційних ланцюгів для різних структурних схем

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних задач:

- розрахувати такі параметри, як інформаційний струм, потужність і величина С, що розсіюються на певному елементі;

Очікувані результати навчання:

- ДРН 2. Знати та вміти застосовувати основні методи постановки та вирішення задач системного аналізу в умовах невизначеності цілей, зовнішніх умов та конфліктів.

### Хід роботи

Інформаційний ланцюг є сукупністю взаємодіючих джерел, перетворювачів і споживачів інформації. Інформаційні ланцюги можна як моделі процесів у системах управління різної природи. У випадку інформаційні ланцюга є досить складні сильно розгалужені структури. У найпростішому випадку система управління може бути представлена інформаційним ланцюгом, що містить джерело, приймач та два інформаційні канали (рис. 1).



Рис. 1

При цьому керуючий пристрій виступає в ролі джерела інформації, що управляє, а керований об'єкт - у ролі приймача або інформаційного навантаження. Формалізація інформаційних ланцюгів може бути виконана з використанням типових елементів, що ідеалізуються, за аналогією з електричними, механічними, пневматичними ланцюгами.

**Інформаційна напруга** джерела дорівнює різниці ентропії об'єкта управління (або логарифму відношення ймовірностей) без управління  $H_0$  і за наявності управління  $H_1$ , тобто.

$$\Delta H = H_0 - h = \log P_1 / P_0 \text{ (біт)} \quad (1)$$

Інформаційний опір приймача дорівнює часу реакції об'єкта управління на керуючу інформацію  $r_H$  (с).

Інформаційний струм через активне навантаження дорівнює:

$$I = \Delta H / r_H \text{ (біт/ с)} \quad (2)$$

Джерело інформації також характеризується опором  $r_{вн}$ , що визначається часом прийняття рішення. Крім внутрішнього опору  $r_{вн}$  джерело характеризується величиною інформаційно-рушійної логіки ІДЛ  $h$ , що дорівнює інформаційному напрузі на холостому ходу. ІДЛ характеризує інтелектуальні можливості джерела за необмеженого часу прийняття рішень. Також найпростіший повний інформаційний ланцюг має наступну структуру (рис. 2).

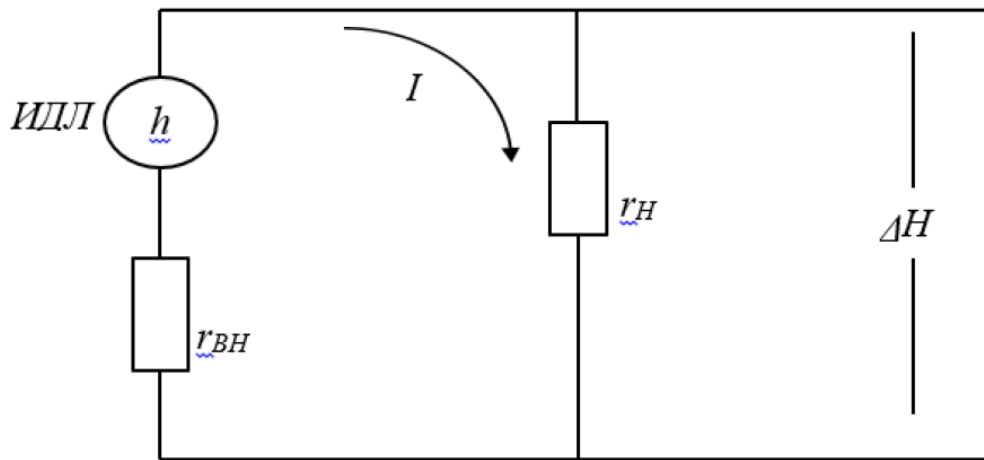


Рис. 2

Для цієї схеми інформаційний струм дорівнює:

$$I = h / (r_{BH} + r_H)$$

Крім того:

$$I = \Delta H / r_H$$

$$h = \Delta H + I \cdot r_H$$

У випадку навантаження характеризується крім інформаційного опору також пам'яттю і ригідністю.

**Пам'ять** визначається ємністю  $n$ , яка дорівнює відношенню пам'яті інформацією  $J = \int Idt$  до її потенціалу (напруги)  $\Delta H$ , тобто

$$n = J / \Delta H = \int Idt / \Delta H \rightarrow \Delta H = 1 / n \int Idt \quad (3)$$

**Ригідністю** називається властивість навантаження що виражається в активній протидії управлінню, тобто у виробленні навантаженням зустрічної інформаційної напруги:

$$\Delta H_L = L \cdot (dI / dt) \quad (4)$$

$$L = \Delta H / (dI / dt)$$

$L$  - ригідність ( $c^2$ ).

З урахуванням властивостей пам'яті та ригідності інформаційні ланцюга можуть мати складнішу структуру. Для розрахунку таких ланцюгів використовуються універсальні формули що виражають закони Кірхгофа (з електротехніки) для інформаційних ланцюгів:

1. Для будь-якого вузла інформаційного ланцюга алгебраїчна сума струмів дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^n I_k \quad (5)$$

2. Сума падінь напруги вздовж будь-якого замкнутого контуру інформаційного ланцюга дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^n \Delta H_k = 0 \quad (6)$$

За відомими струмами та напругами можна розрахувати **інформаційну потужність**:

$$N = I \cdot \Delta H = I^2 \cdot r = \Delta H^2 / r \quad (7)$$

Інформаційна потужність трактується як розсіюваний (на навантаженні) або виробляється (джерелом) в одиницю часу величина  $C$ , що відповідає інтелектуальній діяльності:

$$C = \int_0^T N(t) dt = \int_0^T I^2 r dt = \int_0^T \frac{1}{r} \Delta H^2(t) dt \quad (8)$$

Якщо інформаційній ланцюг містить джерело і лише активні елементи  $r$ , то вираз (5), (6) є системою алгебраїчних рівнянь.

### Завдання

№	Приклад 1						Приклад 2					
	$h$ , біт	$r_{\text{вн}}$ , с	$r_1$ , с	$r_2$ , с	$r_3$ , с	$r_4$ , с	$h$ , біт	$r_{\text{вн}}$ , с	$r_1$ , с	$r_2$ , с	$n$	$L$
3	10	0,8	1,0	4,9	5,0	2,1	1,3	1,2	0,8	2,2	2,0	0,7

**Приклад 1.** Інформаційний ланцюг заданий структурною схемою (рис. 3). Потрібно розрахувати інформаційні струми в ланцюзі, а також величину  $C_4$ , розсіяної на елементі  $r_4$  за дві години роботи системи, якщо Використовуючи співвідношення (5) і (6) складемо 5 рівнянь алгебри для визначення інформаційних струмів  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$ .

$$I_5 = I_1 + I_2 \text{ - для вузла } A$$

$$I_2 = I_3 + I_4 \text{ - для вузла } E$$

$$h = I_5 r_{\text{вн}} + I_4 r_1 \text{ - для контуру } ABC$$

$$h = I_2 r_2 + I_3 r_3 + I_5 r_{\text{вн}} \text{ - для контуру } AEDC$$

$$I_3 r_3 = I_4 r_4 \text{ - для контуру } DEF$$

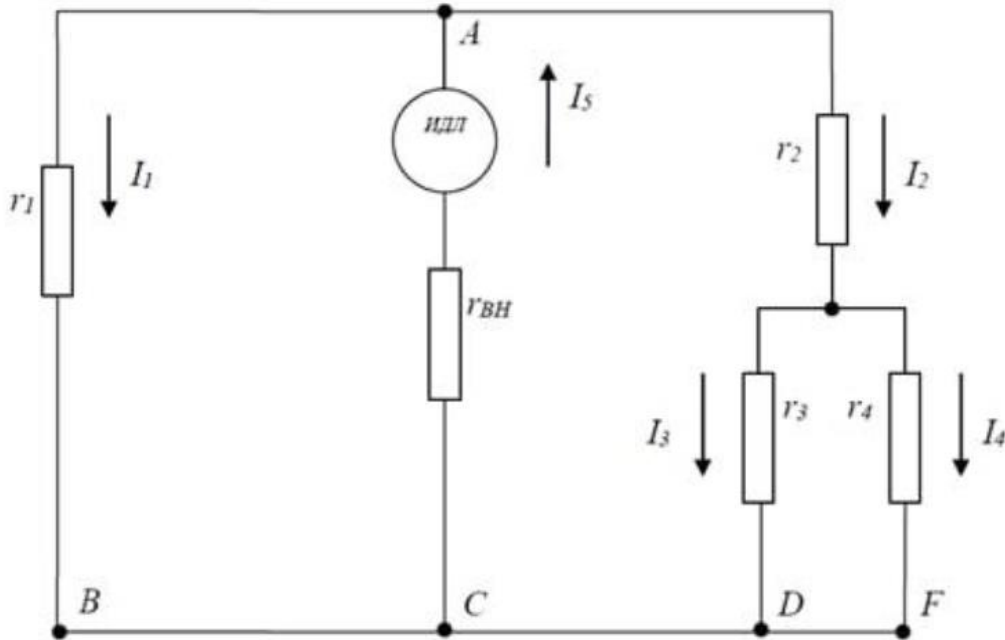


Рис. 3

Підставляючи значення параметрів, отримаємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_5 = I_1 + I_2 \\ I_2 = I_3 + I_4 \\ h = I_5 r_{HB} + I_1 r_1 \\ h = I_2 r_2 + I_3 r_3 + I_5 r_{BH} \\ I_3 r_3 = I_4 r_4 \end{array} \right.$$

Вирішуючи систему, знайдемо  $I_1 = 5,1936$  біт/с;  $I_2 = 0,8142$  біт/с;  $I_3 = 0,2408$  біт/с;  $I_4 = 0,5733$  біт/с;  $I_5 = 6,0078$  біт/с.

Потужність, що розсіюється на елемент  $r_4$ , дорівнює:

$$N_4 = I_2^2 * r_4 = 0,8142 * 0,8142 * 2,1 = 1,3921 \text{ біт/с.}$$

З огляду на те, що  $n_4$  не залежить від часу, визначимо величину  $C_4$ , розсіювання на  $r_4$  дві години до роботи:  $C_4 = N_4 * 2 * 3600 = 10\,023$  біт<sup>2</sup>.

**Приклад 2.** Інформаційній ланцюг заданий структурною схемою (рис. 4).

Для заданих значень параметрів і початкових умов потрібно визначити закон зміни інформаційного струму на елементі  $r_2$ , а також величину  $C_2$  розсіювання на цьому елементі за інтервал часу  $T = 0 \div 3$  с.  $I_3(0) = \dot{I}_3(0) = 0$ .

Відповідно до співвідношень (5), (6). складемо систему диференціальних та алгебраїчних рівнянь для визначення інформаційних струмів у ланцюзі:

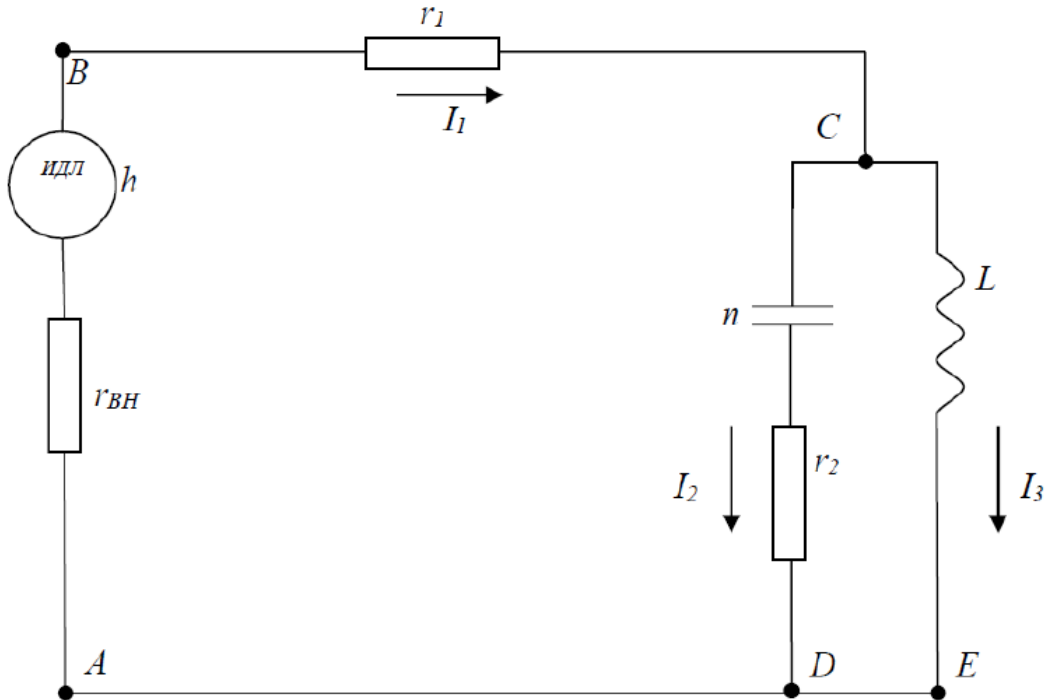


Рис 4.

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ \frac{1}{n} \int I_2 dt + I_2 r_2 = L \frac{dI_3}{dt} \\ h = r_{BH} I_1 + r_1 I_1 + L \frac{dI_3}{dt} \end{cases}$$

1-е рівняння системи - для вузла C;

2-е рівняння системи – для контуру DCE

3-є рівняння системи - для контуру ABCE

Введемо позначення  $r_{BH} + r_1 = r$ .

Тоді з урахуванням  $I_1 = I_2 + I_3$ , третє рівняння системи набуде вигляду:

$$h = rI_2 + rI_3 + L\dot{I}_3,$$

Друге рівняння перепишемо таким чином:

$$\frac{1}{n} I_2 + \dot{I}_2 r_2 = L\ddot{I}_3,$$



Маємо систему:

$$\begin{cases} h = rI_2 + rI_3 + LI_3 \rightarrow & I_2 = \frac{1}{n}(h - I_3r - LI_3) \\ \frac{1}{n}I_2 + I_2r_2 = LI_3 & \dot{I}_2 = -\dot{I}_3 - \frac{L}{r}\ddot{I}_3 \end{cases}$$

Поставимо у вираз для  $I_2$  та  $\dot{I}_2$  в друге рівняння системи та зведемо подібні:

$$\begin{aligned} \ddot{I}_3 \left( L + \frac{r_2}{r}L \right) + \dot{I}_3 \left( r_2 + \frac{L}{r \cdot n} \right) + \frac{1}{n}I_3 &= \frac{1}{r \cdot n}h \\ \ddot{I}_3 \left( 0,7 + \frac{2,2}{2}0,7 \right) + \dot{I}_3 \left( 2,2 + \frac{0,7}{2 \cdot 2} \right) + \frac{1}{2}I_3 &= \frac{1}{2 \cdot 2}1,3 \end{aligned}$$

З урахуванням відомих початкових даних:

$$1,47\ddot{I}_3 + 2,375\dot{I}_3 + 0,5I_3 = 0,325$$

Рішення рівняння шукається у вигляді суми загального та приватного рішень:

$$I_3(t) = I'_3 + I''_3$$

Де  $I''_3$  - це рішення алгебраїчного рівняння:  $0,5 I_3 = 0,325 \rightarrow I''_3 = 0,65$ .

$I'_3$  це рішення початкового диференціального рівняння без правої частини:

$$1,47\ddot{I}_3 + 2,375\dot{I}_3 + 0,5I_3 = 0$$

Т.к. коріння характеристичного рівняння  $1,47p^2 + 2,375p + 0,5 = 0$

дійсні  $p_1 = -0,25$ ;  $p_2 = -1,37$ , рішення  $I'_3$  - є сума експонентів:

$$I'_3 = c_1e^{-0,25t} + c_2e^{-1,37t};$$

Отже, загальне рішення має вигляд:

$$I_3(t) = c_1e^{-0,25t} + c_2e^{-1,37t} + 0,65$$

$$\dot{I}_3(t) = -0,25c_1e^{-0,25t} - 1,37c_2e^{-1,37t}$$

Постійні  $C_1$  та  $C_2$  знайдемо враховуючи початкові умови,  $I_3(t) = I_3(t) = 0$

$$\begin{cases} c_1 + c_2 + 0,65 = 0 \\ -0,25c_1 - 1,37c_2 = 0 \end{cases}$$

$$c_1 = -0,7950; c_2 = 0,1450.$$

Приватне рішення для  $I_3$  має вигляд:

$$I_3(t) = -0,795e^{-0,25t} + 0,145e^{-1,37t} + 0,65$$

$$I_3(t) = 0,198e^{-0,25t} - 0,198e^{-1,37t}$$

Закон зміни інформаційного струму  $I_2$ :

$$I_2 = \frac{1}{r}(h - I_3r - LI_3) = 0,7257e^{-0,25t} - 0,0757e^{-1,37t}$$

Процес зміни інформаційної потужності на опорі  $r_2$ :

$$N_{r_2}(t) = I_2^2(t)r_2 = 2,2 * (0,7257e^{-0,25t} - 0,0757e^{-1,37t})^2 = 1,158e^{-0,5t} - 0,241e^{-1,62t} + 0,012e^{-2,74t}$$

Величина  $C_2$ , розсіювання на елементі  $r_2$  за інтервал часу  $T = 0 \div 3$   
дорівнює:  $c = \int_0^3 (1,158e^{-0,5t} - 0,241e^{-1,62t} + 0,012e^{-2,74t}) dt = 1663$  біт.

### Висновок

Були придбані навички у роботі з інформаційними ланцюгами, а також були розраховані такі параметри, як інформаційний струм, потужність і величина  $C$ , що розсіюються на певному елементі.

### Варіанти згідно списку.

№	Приклад 1						Приклад 2					
	$h$ , біт	$r_{вн}$ , с	$r_1$ , с	$r_2$ , с	$r_3$ , с	$r_4$ , с	$h$ , біт	$r_{вн}$ , с	$r_1$ , с	$r_2$ , с	$n$	$L$
1	10	0,8	1,1	4,5	4,9	2,5	1,2	1,1	0,5	2,1	2,3	0,4
2	11	0,7	0,8	4,8	5,1	1,9	1,1	1,0	0,6	1,7	2Л	0,5
3	10	0,8	1,0	4,9	5,0	2,1	1,3	1,2	0,8	2,2	2,0	0,7
4	11	0,5	0,7	5,1	5,1	2,0	1,2	1,1	0,7	1,9	1,8	0,7
5	10	0,7	0,9	5,0	4,6	2,4	1,1	1,0	0,5	1,8	1,9	0,6
6	11	0,6	1,0	5,1	4,7	2,4	1,3	1,2	0,6	2,0	2,2	0,5
7	10	0,8	1,1	4,6	4,7	2,3	1,2	1,1	0,8	2,1	2,3	0,4
Н	11	0,7	1,1	4,7	4,8	2,2	1,1	1,0	0,7	U7	2,1	0,5
9	10	0,6	0,8	4,5	4,9	2,5	1,3	1,2	0,5	2,2	2,0	0,7
10	11	0,5	1,0	4,8	5,1	1,9	1,2	1,1	0,6	1,9	1,8	0,7
11	10	0,5	0,7	4,9	4,9	2,1	1,1	1,0	0,8	1,8	1,9	0,6
12	11	0,7	0,9	5,1	5,1	2,0	1,3	1,2	0,7	2,0	2,2	0,5
13	10	0,6	1,0	5,0	5,0	2,4	1,2	1,1	0,5	2,1	2,3	0,4
14	11	0,8	1,1	5,1	5,1	2,4	1,1	1,0	0,6	1,7	2,1	0,5
15	10	0,7	1,1	4,6	4,6	2,3	1,3	1,2	0,8	2,2	2,0	0,7
16	11	0,6	0,8	4,7	4,7	2,2	1,2	1,1	0,7	1,9	1,8	0,7
17	10	0,5	1,0	4,5	4,5	2,5	1,1	1,0	0,5	1,8	1,9	0,6
18	11	0,5	0,7	4,8	4,8	1,9	1,3	1,2	0,6	2,0	2,2	0,5
19	10	0,7	0,9	4,9	4,9	2,1	1,2	1,1	0,8	2,1	2,3	0,4
20	11	0,6	1,0	5,1	5,1	2,0	1,1	1,0	0,7	1,7	2,1	0,5
21	10	0,8	0,9	5,0	4,7	2,4	1,3	1,2	0,5	2,2	2,0	0,7
22	11	0,7	1,1	5,1	4,7	2,4	1,2	1,1	0,6	1,9	1,8	0,7
23	10	0,6	0,8	4,6	4,9	2,3	1,1	1,0	0,8	1,8	1,9	0,6
24	11	0,5	1,0	4,7	4,9	2,2	1,3	1,2	0,7	2,0	2,2	0,5
25	10	0,7	0,7	5,0	4,5	1,9	1,1	1,0	0,5	1,8	2,1	0,7

### **Питання для самоконтролю**

1. Дайте визначення інформаційного ланцюга.
2. Що таке інформаційна напруга. Дайте визначення.
3. Що таке інформаційний опір. Дайте визначення.
4. Що таке інформаційний струм. Дайте визначення.
5. Чим визначається джерело інформації, пам'ять, приймач інформації?

### **Практична робота №5**

#### **Тема: Функціонально-вартісний аналіз**

**Мета:** здобуття студентами систематизованих знань і навиків володіння науковими основами функціонально-вартісного аналізу.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних задач:

1. передбачає мінімізацію витрат ресурсів у процесі виробництва за рахунок поліпшення конструкції виробів.
2. удосконалення способів виготовлення деталей і вузлів,
3. виявлення додаткових чи зайвих, раціоналізації технології та використання ефективних матеріалів;

Очікувані дисциплінарні результати цієї практичної роботи відповідають ДРН1, ДРН6.

Очікувані результати навчання:

- ДРН 1. Знати та уміти застосовувати закони функціональної будови і розвитку систем;
- ДРН 5. Вміти моделювати, прогнозувати та проектувати бізнес-процес підприємства на основі методів та інструментальних засобів системного аналізу.

#### **Хід роботи**

Системний аналіз - це наукова дисципліна, предметом вивчення якої є системи будь-яких типів та призначень у будь-якому їхньому прояві. Системи бувають технічними, виробничо-економічними, екологічними, соціальними тощо.

Система визначається як сукупність елементів, що у певних відносинах друг з одним і із зовнішнім середовищем, об'єднаних загальною метою та законами функціонування.

Прикладами систем є велосипед, сонячна система, технологічні процеси, машини та апарати, економічні регіони, фінансово-промислові групи, політичні партії, держави тощо. Будь-яка система характеризується системними ознаками, які розглянемо з прикладів систем «велосипед» і «АСУ».

$S_1$  - "Велосипед"

1. Ознака цілісності: здатність служити засобом переміщення.
2. Системоутворюючі властивості: механічні.
3. Склад-набір елементів (деталей), таких як: рама, кермо, колеса, педалі, сидло.
4. Структура - механічна, відповідно до складального креслення.
5. Графічна схема (рис. 1).
6. Модель: 1) дослідний зразок;  
2) математична модель (система рівнянь, що відображає взаємозв'язок між силами, швидкостями, прискореннями та конструктивними параметрами велосипеда).
7. Походження - штучне, цілеспрямоване.
8. Вигляд – нежива матерія.
9. Характер - статичний та динамічний.
10. Зовнішнє середовище – людина, дорога, повітря.

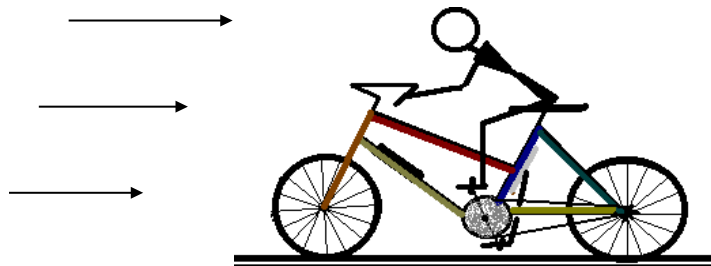


Рис. 1 – Графічна схема системи  $S_1$  "велосипед".

$S_2$  - "АСУ" - "Автоматизована система управління"

1. Ознака цілісності - функція управління ( $F$ ).
2. Системоутворюючі властивості – інформаційні.
3. Склад – програмно-технічні засоби, персонал, інформаційна база.
4. Структура – структура комплексу технічних засобів, функціонально-алгоритмічна структура, технологічна схема обробки інформації.
5. Графічна схема системи (Рис.4.2).
6. Моделі - статичні та динамічні характеристики, алгоритми та програми.
7. Походження - штучне цілеспрямоване.

8. Вигляд - жива та нежива матерія.
9. Характер – динамічний.
10. Зовнішнє середовище – об'єкт управління.

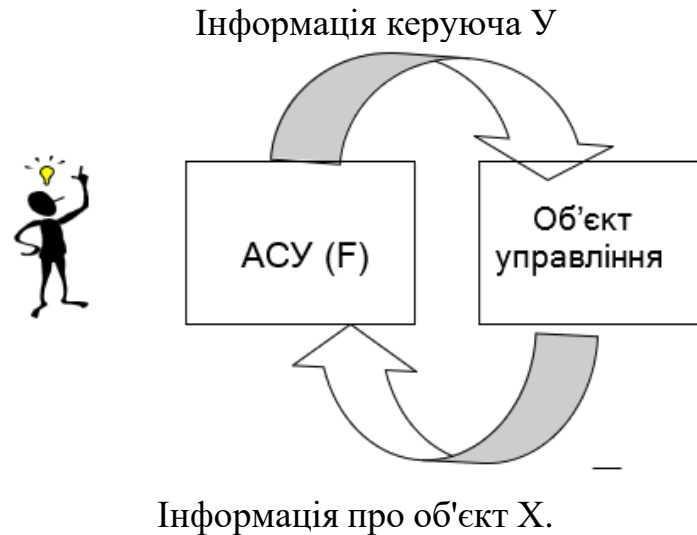


Рис. 2 - Графічна схема системи  $S_2$  - "АСУ".

Система має носій (N), тобто матеріальний об'єкт, частина властивостей якого утворює систему. Частина властивостей носія, які не належать до системи, називають базою системи (B). Об'єкти, із якими взаємодіє система, називають довкіллям (V).

Найважливішими властивостями системи є складність та "емергентність".

Під складністю розуміють сукупність ознак:

- а) велика кількість елементів;
- б) імовірнісний характер;
- в) неможливість опису за допомогою одного математичного апарату;
- г) наявність "людського фактору";

Емергентність називається системоутворююча властивість, яка притаманна системі в цілому і не притаманна складових системних елементів. В інженерній справі вивчають технічні системи (ТЗ), які поділяються на два види:

- а) технічні об'єкти (ТО);
- б) технології (Т) чи процеси.

**Технічним об'єктом (ТО)** називатимемо створений людиною або автоматом реально існуючий пристрій, призначений для задоволення певної потреби людини або суспільства.

До ТО можна віднести окремі машини, апарати, прилади, знаряддя праці, будівлі, споруди, одяг, також будь-який комплекс взаємодіючих машин, апаратів і приладів. Наприклад: технологічна лінія, цех, завод.

Технологією або процесом називатимемо спосіб, метод або програму перетворення речовини, енергії або інформації із заданого початкового стану в заданий кінцевий стан за допомогою певних ТО.

Прикладами технологій є технологічні в різних галузях промисловості, інформаційні технології, технології проектування різних технічних об'єктів.

Метою системного аналізу є комплексне дослідження складних об'єктів та процесів та прийняття науково-обґрунтованих ефективних рішень у різних сферах людської діяльності. Існує спеціальність «Системний аналіз та управління». Фахівцям цієї спеціальності надається кваліфікація «Системний аналітик». Ці фахівці працюють у наступних організаціях та установах та виконують наведені нижче функції:

Держадміністрація та органи самоврядування різного рівня. Функції та розв'язувані завдання:

- наукове обґрунтування планів та комплексних програм соціально-економічного розвитку регіонів;

- соціальний, економічний та екологічний моніторинг;

Корпорації, фінансово-промислові групи, об'єднання та компанії, міністерства та відомства.

Функції та розв'язувані завдання:

- проведення стратегічних досліджень у галузі маркетингу, промислової політики, науково-технічного прогресу, джерел сировини, енергетичних та матеріальних ресурсів;

- прогнозування тенденцій розвитку ринку, промисловості та ресурсів;

- розробка альтернативних планів, комплексних програм розвитку з використанням різних економічних та технічних критеріїв;

Банки та страхові компанії. Функції та розв'язувані завдання:

- наукове обґрунтування планів, капіталовкладень та інвестицій у промисловість, транспорт, зв'язок, сільське господарство;

Проектно-конструкторські, науково-дослідні організації та фірми. Функції та розв'язувані завдання:

- створення нової техніки та технологій, системне проектування;

- розробка математичного забезпечення та програмних засобів, проведення комплексного аналізу та прогнозування;

- розробка та впровадження інформаційних технологій та програмно-технічних комплексів для вирішення широкомасштабних проблем технологічного, економічного, соціального та екологічного характеру;

– моделювання та оптимізація складних фізичних та соціально-економічних процесів;

– розробка комп'ютерних інтегрованих систем проектування та управління; Промислові об'єднання, трести, комбінати та підприємства. Функції та розв'язувані завдання:

пошук резервів техніки, технологій та виробництва;

системний аналіз технологічних процесів, об'єктів та виробництв, з метою обґрунтування технологічних режимів виробничих процесів, планів матеріально-технічного постачання, планів ремонту та оновлення обладнання.

Зазначені задачі системного аналізу можуть бути вирішені за допомогою методів системного аналізу таких як:

функціонально-фізичний аналіз;

функціонально-вартісний аналіз;

структурний аналіз;

інформаційний аналіз;

експертний аналіз;

дослідження операцій;

Метою викладання цієї дисципліни є вивчення теорії та практики, застосування методів системного аналізу з метою прийняття рішень при проектуванні та управлінні складними об'єктами та процесами.

### **Поняття про функціонально-вартісний аналіз (ФСА).**

Під функціонально вартісним аналізом розуміють метод системного аналізу функцій об'єкта (технологічного процесу, виробництва, системи управління), спрямований на пошук техніко-економічних резервів об'єкта з метою підвищення його ефективності.

За змістом ФСА – це комплексна програма, що об'єднує функціонально-фізичний, техніко-економічний аналіз, організаційно-технічні заходи.

Головний економічний принцип ФСА - вартісна оцінка функцій об'єкта, нових рішень та альтернативних варіантів, що реалізують ці функції. Оцінку функцій проводять у вигляді функціонально-вартісних діаграм, що мають вигляд рис. 3.

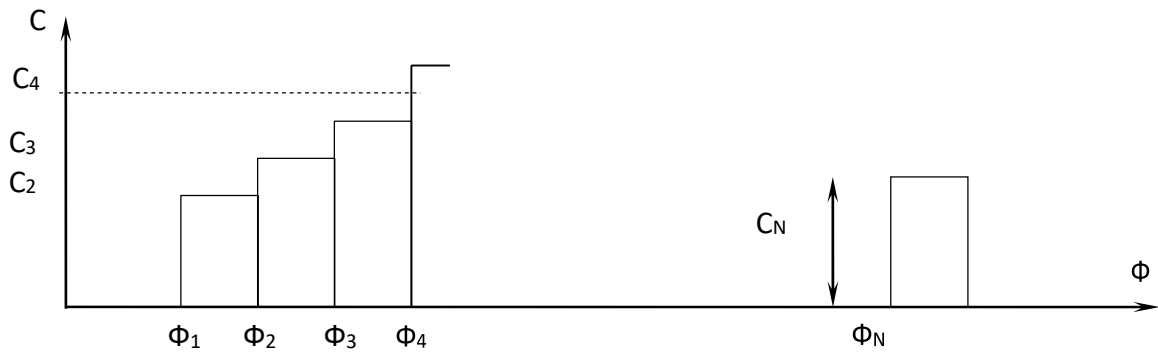


Рис. 3 Приклад функціонально-вартісної діаграми.

Системний аналіз функцій об'єкта потребує знання техніки, технології, управління, економіки, енергетики тощо. Тому ФСА проводиться групою спеціалістів різних професій, що входять до тимчасової робочої групи (ВРГ).

Коллективна думка експертів, об'єднана спільною метою вирішення завдання, сприяє більш об'єктивній оцінці прийнятих рішень. У цьому широке застосування знаходить метод експертних оцінок.

Етапи ФСА можуть бути наступні схемою.

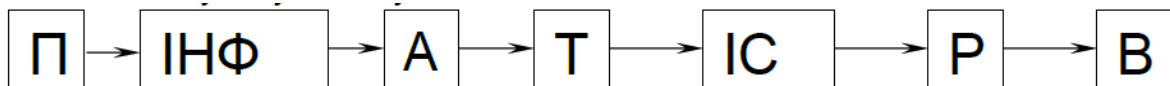


Рис. 4 – Схема етапів ФСА.

Позначення на рис. 4. П - підготовчий етап; ІНФ – інформаційний етап; А - аналітичний етап; Т – творчий етап; ІС - дослідницький етап; Р - рекомендаційний етап; В - впроваджувальний етап.

Предметом системного аналізу під час проведення ФСА є функції. Наприклад, під час аналізу виробничо-економічних об'єктів, фірм, підприємств прикладами функцій може бути: організаційно-управляючі, матеріально-технічного постачання, планування, кредитно- фінансові, виробничі тощо.

При аналізі технічних об'єктів кожен елемент має власну функцію, наприклад, технологічну, енергетичну, захисну, екологічну тощо.

Зміст та результати роботи під час проведення ФСА представлені у таблиці 1.



Таблиця 1. Етапи ФСА.

Етап	Зміст роботи	Результати робіт	Виконавці
1	2	3	4
Підготовчий	Вибір об'єкта із відповідним техніко-економічним обґрунтуванням. Визначення конкретних завдань із проведення ФСА. Оформлення рішення щодо проведення ФСА.	Пропозиції щодо об'єктів проведення ФСА. Таблиця порівняння можливих об'єктів ФСА. Наказ про проведення ФСА включає: пропозиції щодо складу та регламенту роботи ВРГ. Пропозиції щодо складу експертної комісії; Список інформаційних матеріалів, що надаються службами підприємств групи ФСА.	Служби ФСА разом із службами підприємства
Інформаційний	Підготовка, збір та систематизація інформації про об'єкт ФСА та його аналоги. Вивчення об'єкта та його аналогів: складання структурної схеми, вивчення технології, дослідження умов застосування (експлуатації), аналіз патентної інформації та раціоналізаторських пропозицій, пов'язаних з удосконаленням об'єкта. Визначення витрат та їх структури на стадіях розробки, виробництва та експлуатації об'єкта.	Підбірка інформаційних матеріалів, структурна схема об'єкта, технологічна схема, калькуляція витрат. Структурна схемавитрат.	Служби ФСА разом із службами підприємства. ВРГ
Аналітичний	Формулювання функцій об'єкта та його елементів, групування функцій, побудова функціональної моделі об'єкта. Оцінка важливості функцій експертним способом. Побудова сполученої функціонально-структурної моделі об'єкта. Оцінка витрат, пов'язаних із здійсненням функцій. Побудова функціонально-вартісної діаграми об'єкта. Порівняльний аналіз значимості функцій та витрат за їхню реалізацію виявлення зон (частин об'єкта) з невикористано високими затратами. Проведення диференціального аналізу з кожної з функціональних зон. Постановка задач для наступних етапів ФСА.	Протоколи засідань ВРН. Матриці функцій об'єкта, його вузлів та деталей. Матриці по елементного аналізу витрат. Діагностичні таблиці, що враховують значущість і вартість виконання функцій, недоліки виробу та його технології, "вузькі місця" у виробництві, побажання різних служб і споживачів. Список проблем та завдань для творчого етапу.	ВРГ

Етап	Зміст роботи	Результати робіт	Виконавці
1	2	3	4
Творчий	Вироблення пропозицій щодо вдосконалення об'єкта. Аналіз та попередній відбір пропозицій для реалізації. Систематизація пропозицій щодо функцій. Формування варіантів виконання об'єкта.	Протоколи засідань ВРН. Ескізи варіантів розв'язків. Зведена та таблиця знайдених рішень	ВРН
Дослідницький	Попередня оцінка висунутих варіантів речень. Розробка ескізів вибраних варіантів та проведення не-обхідних розрахунків. Розгляд варіантів разом із фахівцями зацікавлених служб. Відбір найбільш раціональних варіантів пропозицій для розгляду наступних етапів. Створення (при необхідності) макетів та дослідних зразків.	Тексти опису пропозицій, ескізи пропозицій, попередні економічні розрахунки. Таблиці порівняння альтернативних варіантів речень. Протокол попередньої експертизи.	ВРН, служба ФСА та служби підприємства.
Рекомендаційний	Проведення експертизи пропозицій, розгляд керівними органами матеріалів з ФСА висновків служб та прийняття остаточного рішення. Остаточне оформлення прийнятих пропозицій. Складання проекту плану-графіка впровадження рекомендацій.	Протокол засідань експертної комісії. Рішення ради ФСА підприємства. План-графік застосування пропозицій.	Експертна комісія, служба ФСА разом із службами підприємства
Використання	Затвердження результатів ФСА керівництвом міністерства, відомства, підприємства, організації як складової частини плану підвищення ефективності виробництва. Розробка та узгодження науково-технічної та проектної документації у зв'язку зі зміною об'єкта в результаті проведення ФСА. Підготовка та освоєння виробництва. Оцінка фактичної економічної ефективності.	Наказ за наслідками проведення ФСА. Плани роботи підприємства, його підрозділів та служб. Технічна документація. Акт про впровадження підсумкового звіту за результатами ФСА.	Служба ФСА, служби підприємства.

### Функціонально - фізичний аналіз технічних об'єктів (ФФА).

Є частиною найбільш загального функціонально-вартісного аналізу. Метою ФФА є поглиблене вивчення конструкцій та структури ТО, який потрібно удосконалити.

При такому вивченні насамперед необхідно зрозуміти та уточнити таке:

- які функції виконує кожен елемент і як елементи функціонально пов'язані між собою;
- які фізичні операції (перетворення) виконує кожен елемент і як елементи функціонально пов'язані між собою;
- на основі яких фізико-технічних ефектів працює кожен елемент ТО та як вони взаємопов'язані між собою.

При виконанні цих питань з'являється чітке та цілісне уявлення про пристрій ТО з функціональної та фізичної точок зору.

Аналіз ТО виконують у наступній послідовності:

Побудова конструктивної функціональної структури (ФС).

Будь-який ТО можна розділити кілька елементів кожен із яких має цілком певну функцію із забезпечення роботи ТО чи його елементів.

Граничний поділ ТО можливий до неподільних елементів із мінімальним числом функцій. Серед усіх елементів особлива увага приділяється головним елементам (позначається  $E_0$ ). Елементи ТО позначаються  $E_0, E_1, \dots, E_N$ .

Як приклад розглянемо конструкцію побутової електроплитки, представлену на рис. 5.

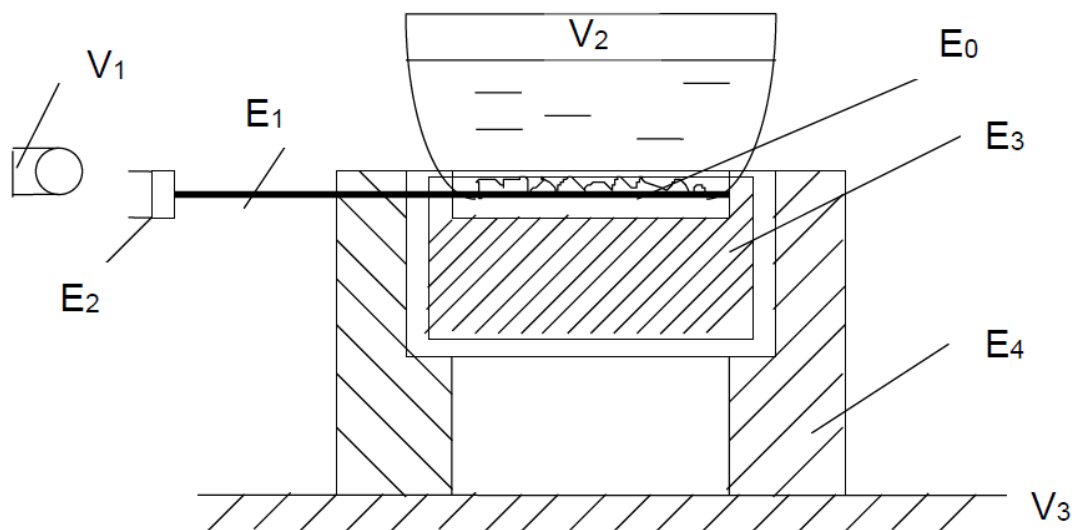


Рис. 5 Конструкція побутової електроплитки.

Аналіз функцій електроплитки представляється як таблиці 2.

Таблиця 2.

Позначення	Найменування	Позначення	Опис
E0	Спіраль	Ф0	Нагріває ємність з рідиною (V2) до кипіння.
E1	Дріт	Ф1	Проводить струм від електромережі (V1) до спіралі (E0)
E2	Гніздо	Ф2	З'єднує та роз'єднує провід (E1) з електромережою (V1)
E3	Вогнетривкий елемент	Ф3' Ф3" Ф3'''	Зменшує теплову дію спіралі (E0) на стіл ( V3 ). Підтримує спіраль (E0) у заданому положенні. Ізолює спіраль (E0).
E4	Корпус	Ф 4	Передає вплив маси ємності з рідиною (V2) на стіл (V3) .

Конструктивна ФС є орієнтований граф, вершинами якого є найменування елементів ТО та об'єктів ОС, а ребрами — функції елементів. Конструктивна ФС побутової електроплитки представлена на рис. 4.

Аналогічно аналізу функцій ТО можна провести аналіз технологічних процесів. При цьому для технологічних процесів ФС є граф вершинами якого є об'єкти E, що обробляються, а ребрами елементарні операції Ф із зазначенням режимів обробки.

### Побудови функціональної структурної структури.

Взаємопов'язаний набір фізичних операцій (ФО), що реалізують один певний потік перетворень речовини, енергії або сигналів, або кілька взаємопов'язаних потоків називатимемо потоковою функціональною структурою.

Потокова ФС є граф, вершинами якого є найменування елементів ТО чи найменування операцій Коллера E, а ребрами - вхідні АТ і вихідні СТ потоки (чинники).

Розрізняють два різновиди потокової ФС: конкретизована потокова ФС, у якої у вершинах графа вказані найменування елементів; абстрагована потокова ФС, яка має у вершинах графа зазначені найменування операцій Коллера. Конкретизована потокова ФС побутової електроплитки представлена на рис.2.5.

Список операцій Коллера наведено нижче в табл. 2.2.. Потокова абстрагована ФС побутової електроплитки представлена на рис.2.6. У табл. 2.2.,  $G_A$ ,  $G_B$  – два якісно відмінні види енергії, речовини або сигналу, що мають різні властивості, що вимірюються різними величинами.

Таблиця 3.

## Список операцій Коллера

№ п / п	Найменування прямої операції	Узагальнена структурна формула	Найменування зворотної операції Коллера	Узагальнена структурна формула
1	Випромінювання	$G_A \quad \begin{array}{c} \leftarrow \\ \uparrow \\ \downarrow \\ \rightarrow \end{array}$	Поглинання	$G_A \quad \begin{array}{c} \rightarrow \\ \downarrow \\ \uparrow \\ \leftarrow \end{array}$
2	Провідність	$G_A \rightarrow G_B$	Ізолювання	$G_A \rightarrow \quad \left  \quad \right.$
3	Збір	$G_A^* \rightarrow G_A \text{---}$	Розсіювання	$G_A \text{---} \rightarrow G$
4	Проведення	$G_A \rightarrow G_A$	Непроведення	$G_A \quad G_A \text{----}$
5	Перетворення	$G_A \rightarrow G_B$	Зворотне перетворення	$G_B \rightarrow G_A$
6	Збільшення	$G_{A1} < G_{A2}$	Зменшення	$G_{A1} > G_{A2}$
7	Зміна напрямку	$G_A \quad G_A \quad \uparrow$	Зміна напрямку	$G_A \quad G_A \quad \downarrow$
8	Вирівнювання	$G_A \rightarrow G_A \rightleftharpoons \rightarrow$	Коливання	$G_A \rightarrow G_A \rightarrow \rightleftharpoons$
9	Зв'язок	$G_A \quad G_A \quad \circ \text{---} \circ$	Переривання	$G_A \quad G_A \quad \circ \text{---} \circ$
10	З'єднання	$G_A + G_B > G_{AB}$	Роз'єднання	$G_{AB} < G_A + G_B$
11	Об'єднання	$G_{A1} + G_{A2} \geq G_{A1 + A2}$	Поділ	$G_{A1 + A2} \leq G_{A1} + G_{A2}$
12	Нагромадження	$G_A \rightarrow \quad \circ$	Видача	$\circ \rightarrow G_A$
13	Відображення	$G_A \rightarrow G_B$	Зворотне відображення	$G_B \rightarrow G_A$
14	Фіксування	$G_A \rightarrow \leftarrow G_A$	Розфіксування	$G_A \leftarrow \rightarrow G_A$

$G_{A1}$ ,  $G_{A2}$  – два кількісно відмінні стани енергії, речовини або сигналу, що вимірюються однією і тією ж фізичною величиною.  $G_{AB}$  – енергія, речовина або сигнал, що є композицією з двох різнорідних компонентів  $G_A$ ,  $G_B$  мають якісну відмінність,  $G_{A1+A2}$  – енергія, речовина або сигнал, що являють собою композицію з двох різнорідних компонентів  $G_{A1}$ ,  $G_{A2}$  різняться кількісно.

### Опис фізичного принципу дії (ФПД).

Елементарна фізична операція може бути реалізована за допомогою одного фізико-технічного ефекту (ФТЕ).

Побудова ФПД виробляє потокової абстрагованої ФС.

У вершинах графа вказують фізичні об'єкти і наскільки можна ФТЕ. Ребра – види енергії, інформації чи речовини. Граф ФПД побутової електроплитки представлений на рис. 6.

На цьому етапі формулюють головний критерій розвитку та вдосконалення ТО та виділяють другорядні критерії розвитку ТО, на які накладають обмеження. Складають список недоліків ТО та намічають шляхи їх подолання. Якщо метою аналізу є розробка комп'ютерної системи, складається її функціонально-алгоритмічна структура.

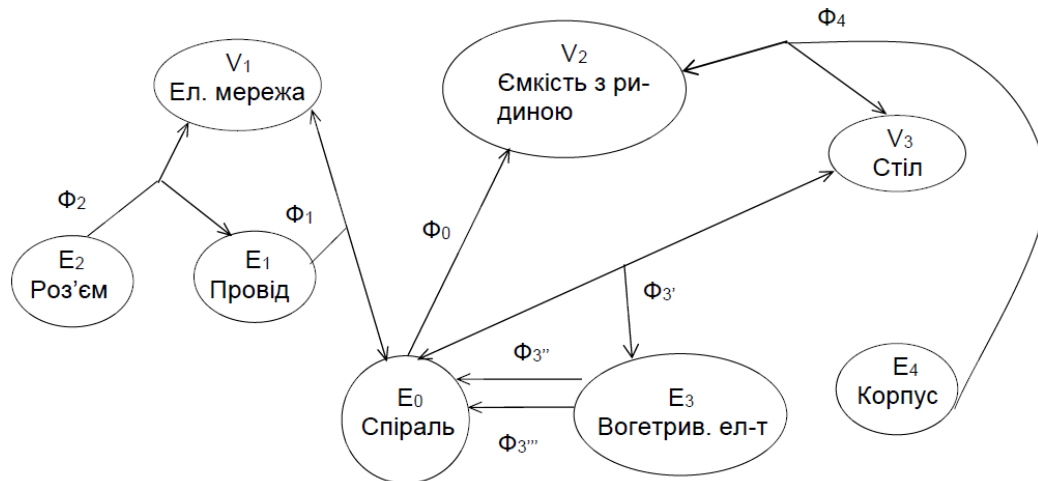


Рис. 6 – Конструктивна багатфункціональна структура.

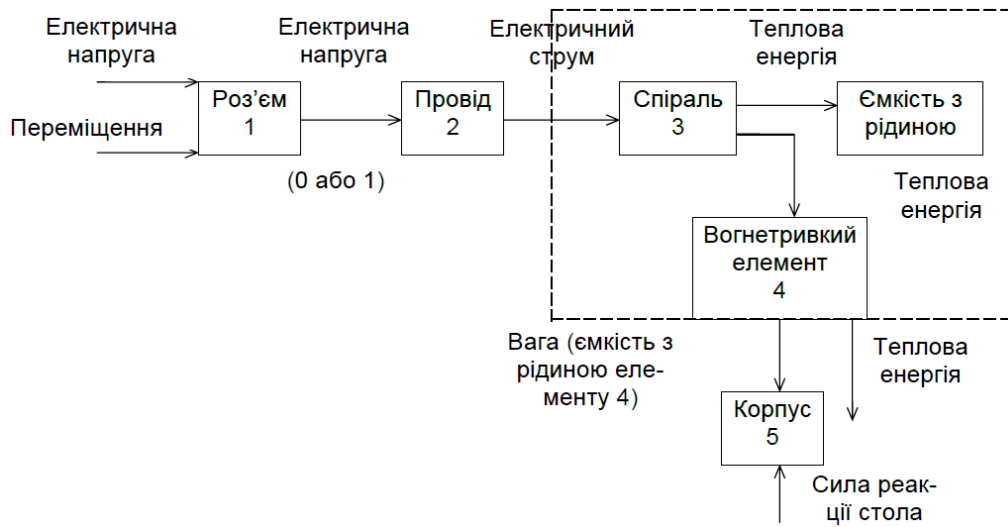


Рис. 7 – Конкретизована потокова багатofункціональна структура.

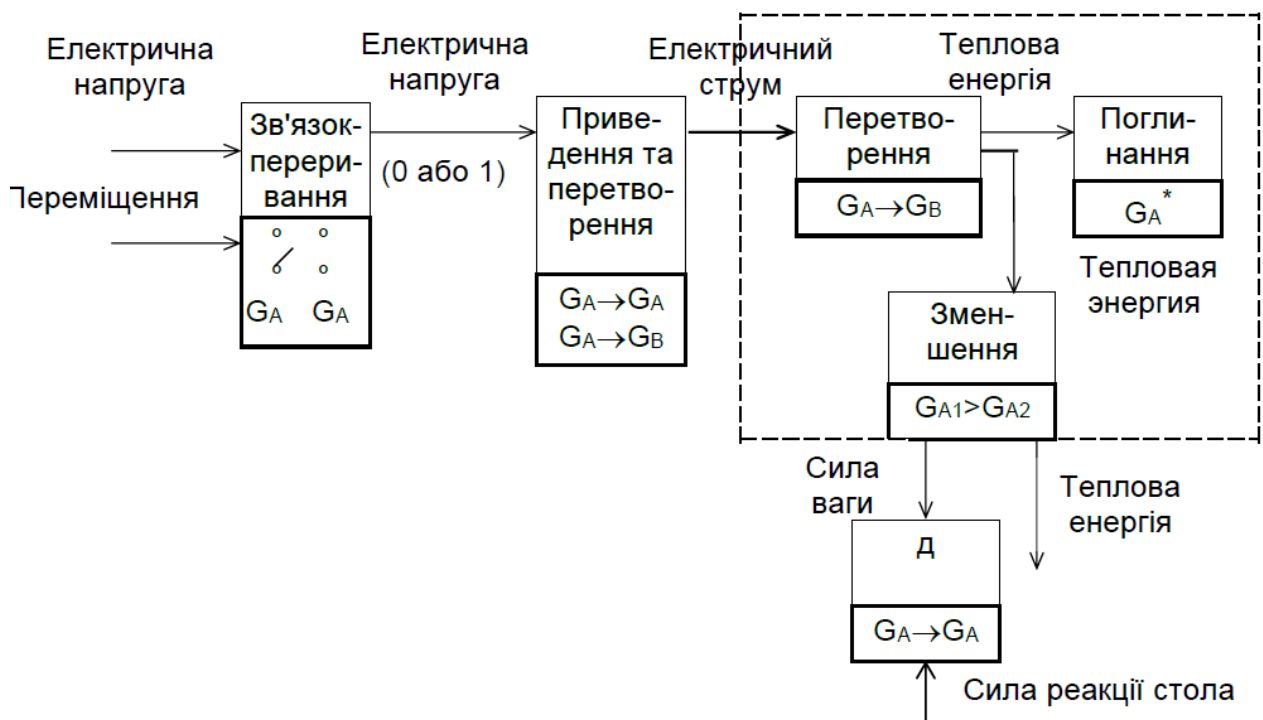


Рис. 8 – Потокова абстрагована функціональна структура побутової електроплитки.

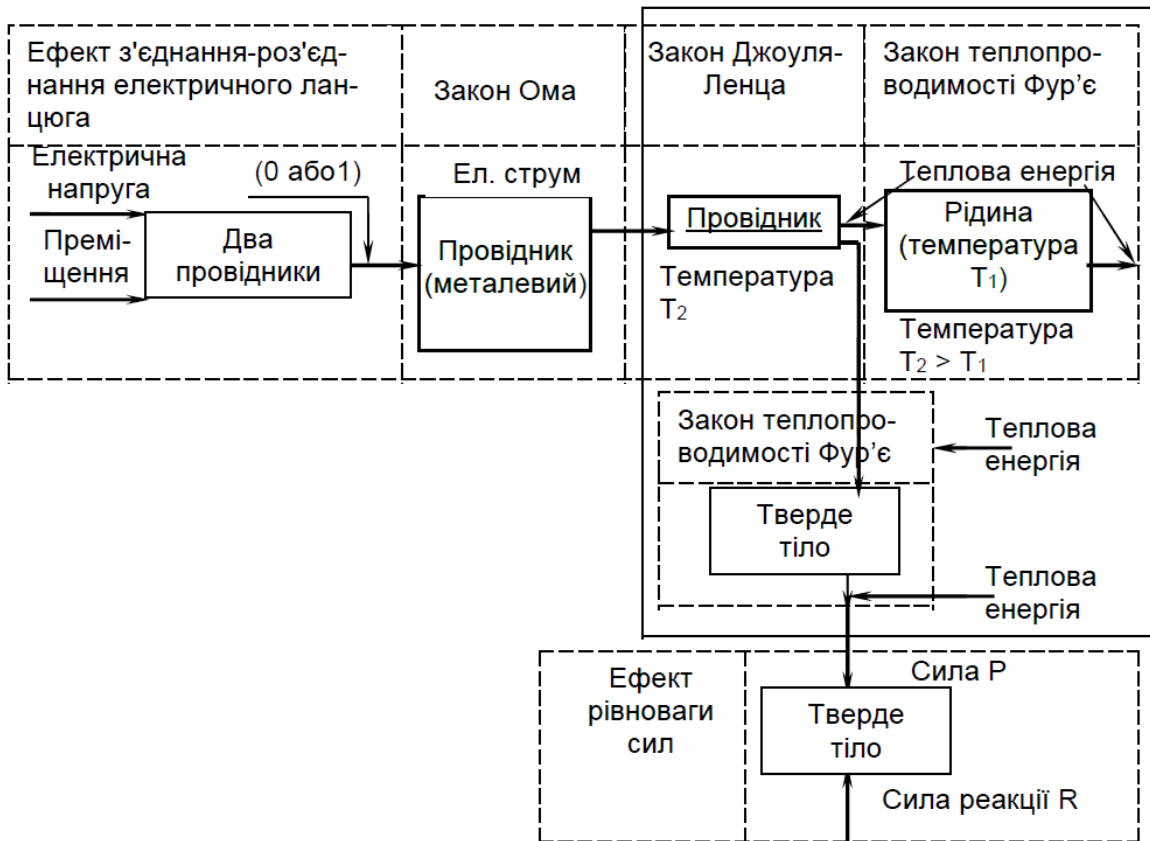


Рис. 9 – Граф фізичного принципу впливу

**Здобувач освіти самостійно визначає об'єкт аналізу та самостійно, згідно прикладу проводить функціонально – фізичний аналіз технічного об'єкту дослідження (ФФА).**

Проте можна обрати технічну систему за наступними варіантами індивідуальних завдань.



Таблиця 2 – Варіанти індивідуальних завдань

№ з/сп	Система, що розглядається	№ з/сп	Система, що розглядається
1	чайник електричний	16	лампа настільна
2	стаціонарний ПК	17	ноутбук
3	мотоцикл	18	легкове авто
4	автобус	19	тролейбус
5	трамвай	20	вагон метро
6	принтер	21	ЗД принтер
7	пилосос	22	пральна машина
8	праска	23	блендер
9	посудомийна машина	24	холодильник
10	телевізор	25	планшет
11	кавомашина	26	скороварка
12	м'ясорубка	27	соковитискач
13	електродвигун	28	дизельний двигун
14	ліфт	29	ескалатор
15	бойлер	30	кондиціонер

### Питання для самоконтролю

1. Які особливості функціонального підходу для дослідження об'єкта аналізу?
2. Які ви знаєте правила формулювання функцій?
3. Назвіть правила розмежування основних функцій від допоміжних.
4. Яка сутність функціональної моделі?
5. Як будується функціонально-структурна модель об'єкту дослідження??

## Практична робота № 6

**Тема: Визначення кількості інформації у незалежних повідомленнях**

**Мета:** Визначити та розрахувати кількість інформації яка передається при незалежних повідомленнях.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних задач:

1. розглянути модель передачі інформації при контролі технологічних процесів;

Очікувані результати навчання:

- ДРН 4. застосовувати методи і засоби роботи технології системного і статистичного аналізу;
- ДРН 5. вміти моделювати, прогнозувати та проектувати бізнес-процес підприємства на основі методів та інструментальних засобів системного аналізу.

### Хід роботи

Диспетчер підприємства контролює  $m$  однотипних технологічних процесів за ознакою  $x(t)$ , який змінюється у часі у певному діапазоні  $x_{\min} \div x_{\max}$ .

За заданою реалізації  $x(t)$  визначити: чи встигатиме диспетчер вести контроль за  $m$  технологічними процесами, якщо відома (задана) необхідна точність  $x(t)-\Delta x$  і гранична максимальна швидкість сприйняття вимірювання змінної  $x(t)$  людиною  $I_{\max}$ .

### Завдання

Реалізація контрольованого випадкового процесу  $x(t)$  на інтервалі  $0 \div 40$  с.



Рис.1

Потрібна точність контролю  $\Delta x = 1$ .

Гранична швидкість сприйняття даних диспетчером  $I_{до} = 0.8$  біт/с.

Кількість однотипних об'єктів контролюваних  $m = 4$ .

На основі інформаційного аналізу цієї системи обґрунтувати доцільність (недоцільність) застосування додаткових технічних засобів для контролю технологічного процесу.

1. На основі реалізації  $x(t)$  формуємо масив дискретних відліків  $x_i, i = \overline{1, n}$  з кроком квантування за часом  $\Delta t = 1$ , тобто.  $n = 40/1 = 40$  (таблиця 1).

Таблиця 1

I	$x_i$	$\dot{x}_i$	I	$x_i$	$\dot{x}_i$	I	$x_i$	$\dot{x}_i$	I	$x_i$	$\dot{x}_i$
1	0,6	-4,4	11	4,1	-0,9	21	6	1	31	2,5	-2,5
2	1,5	-3,5	12	4,4	-0,6	22	2,4	-2,6	32	3	-2
3	3	-2	13	5	0	23	3,1	-1,9	33	4	-1
4	6	1	14	4	-1	24	4	-1	34	5	0
5	7,3	2,3	15	3,4	-1,6	25	3,4	-1,6	35	5,7	0,7
6	8,5	3,5	16	3,8	-1,2	26	2,9	-2,1	36	6,5	1,5
7	2	-3	17	4,6	-0,4	27	3,2	-1,8	37	7	2
8	3,5	-1,5	18	5,6	0,6	28	3	-2	38	7,3	2,3
9	4,9	-0,1	19	6,6	1,6	29	2	-3	39	7	2
10	5,4	0,4	20	7,6	2,6	30	2,1	-2,9	40	6	1

$$\bar{x} = \frac{1}{40} \sum_{i=1}^{40} x_i = 5.$$

2. За даними таблиці 1 обчислюємо автокореляційну функцію процесу  $x(t)$  за формулою:

$$R_j = \frac{1}{n-j} \sum_{i=1}^{n-j} [(x_i - \bar{x})(x_{i+j} - \bar{x})], \quad j = \overline{1, 10}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-j} x_i - \text{Середнє арифметичне випадкової величини } x.$$

Тоді:

$$R_j = \frac{1}{n-j} \sum_{i=1}^{n-j} \dot{x}_i \dot{x}_{i+j}, \quad j = \overline{1, 10}$$

$\dot{x}_i = x_i - \bar{x}$  - центровані значення  $x$  (наведені у таблиці 1)

Таблиця 2

$R_0$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	$R_8$	$R_9$	$R_{10}$
3,846	2,494	1,038	0,137	0,072	-0,028	0,325	0,0372	-0,383	-0,782	-0,816

Будуємо графік автокореляційної функції  $R_j$  і визначаємо час спаду  $\tau_{\text{сп}}$ . Час спаду  $\tau_{\text{сп}} = 5\text{с}$ .

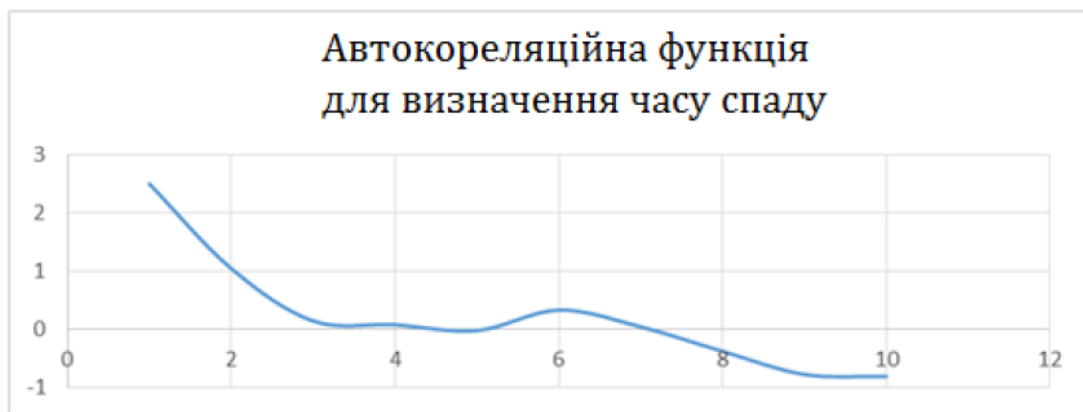


Рис. 2

4. Приймаєм періодичність контролю процесу  $x(t)$  рівної часу спаду його автокореляційної функції, тобто.  $T_k = \tau_{\text{сп}} = 5\text{с}$ .

5. За дискретними відділами  $x_i = \overline{1, 40}$  (Таблиця 1) будуємо гістограму відносних частот  $f(x_i)$  з кроком  $\Delta x = 1$  (таблиця 3).

Таблиця 3.

Номер інтервалу	Інтервал	Частота влучення $x$ інтервал	Відносна частота $f(x_i)$
1	0..1	1	1/40
2	1..2	1	1/40
3	2..3	6	6/40
4	3..4	9	9/40
5	4..5	7	7/40
6	5..6	5	5/40
7	6..7	5	5/40
8	7..8	5	5/40
9	8..9	1	1/40

6. Розраховуємо ентропію  $H(x)$  та кількість інформації  $I(x)$ , що містяться в одному вимірі:

$$I(x) = H(x) = - \sum_{i=1}^9 f(x_i) \cdot \Delta x \cdot \log_2 f(x_i) - \log_2 \Delta x = -1/40 \cdot 1 \cdot \log_2 1/40 \dots - \log_2 1 = 2,8589 \text{ бит.}$$

7. Розраховуємо необхідну швидкість сприйняття інформації диспетчером:

$$I_n = \frac{H(x) \cdot m}{T_K} = (2,8589 \cdot 4) / 5 = 2,2871 \text{ бит/с}$$

8. Оскільки  $I_n = 2,2871 \text{ біт /с} > I_{\text{пред.}} = 0,8 \text{ біт/с}$ , то контролю та управління чотирма ( $m = 4$ ) технологічними об'єктами необхідно використовувати автоматизовані засоби контролю та переробки інформації.

### Варіанти до практичної роботи.

Студент за своїм варіантом, або за допомогою викладача отримує графік випадкового процесу  $x(t)$  на інтервалі  $0 \div 40$  с, та проводить його аналіз.

Таблиця 4

Вар	Вар
1.	2.
3.	4.
5.	6.
7.	8.

Вар	Вар
9.	10.
11.	12.
13.	14.
15.	16.
17.	18.

## Питання для самоконтролю

1. Що в теорії інформації називають ентропією джерела та як вона визначається для джерел незалежних повідомлень?
2. Чому дорівнює максимальна ентропія двійкового джерела незалежних повідомлень і за яких умов вона має місце?
3. Чи може диференціальна ентропія набувати від'ємних значень?
4. Дати визначення понять – сумісна та взаємна ентропія двох джерел повідомлень.
5. Назвати основні властивості сумісної та взаємної ентропії двох джерел повідомлень.

## Практична робота №7

### Тема: Інформаційний аналіз залежних повідомлень

**Мета:** Визначити та розрахувати кількість інформації яка передається при залежних повідомленнях.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних задач:

- розглянути модель передачі складного повідомлення;

Очікувані результати навчання:

- ДРН 4. Застосовувати методи і засоби роботи технології системного і статистичного аналізу;

- ДРН 5. Вміти моделювати, прогнозувати та проектувати бізнес-процес підприємства на основі методів та інструментальних засобів системного аналізу.

### Хід роботи.

Дано дві реалізації процесів зміни статистично залежних параметрів  $X(t)$ ,  $Y(t)$ . Потрібно виконати інформаційний аналіз складного повідомлення  $(X, Y)$ . Крок квантування за часом  $\Delta = 1$ с.

Потрібна точність вимірювання параметрів

$$\Delta X = \Delta Y = 2 .$$



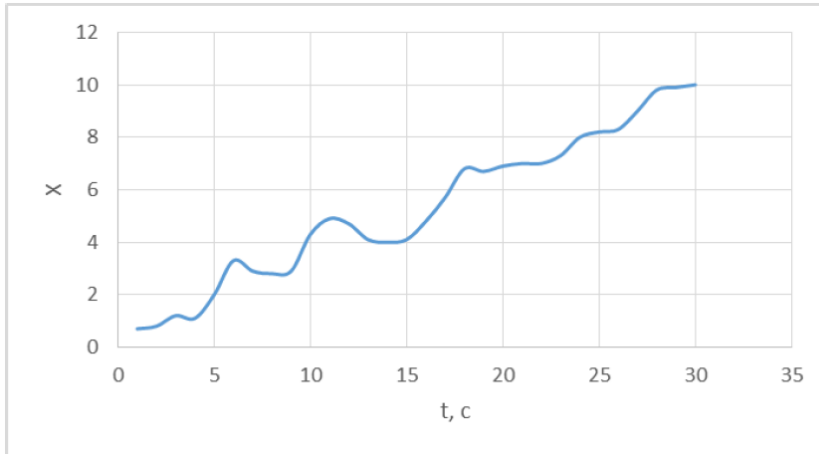


Рис.1а

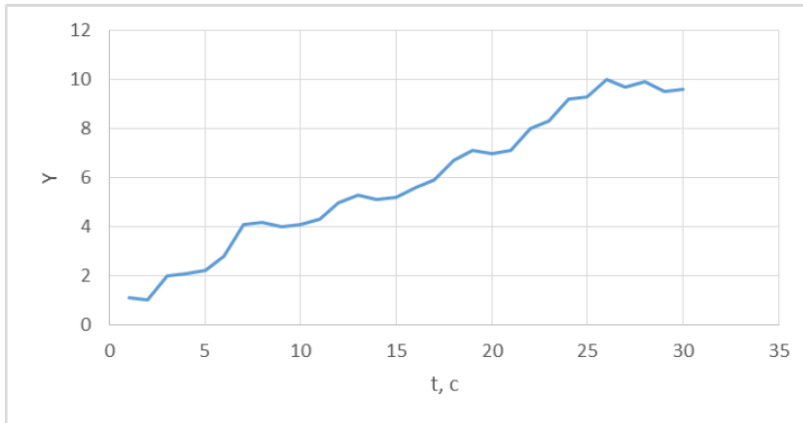


Рис. 2б

1. Безперервні реалізації  $X(t)$ ,  $Y(t)$  на інтервалі  $0 \div 30$  с подаємо у вигляді дискретних відліків  $X_k$ ,  $Y_k$ ,  $k = \overline{1,30}$ , т.к.  $\Delta t = 1$  с.

Таблиця 1а.

$T$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$X$	0,7	0,8	1,2	1,1	2	3,3	2,9	2,8	2,9	4,3	4,9	4,7	4,1	4	4,1
$Y$	1,1	1	2	2,1	2,2	2,8	4,1	4,2	4	4,1	4,3	5	5,3	5,1	5,2

$T$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$X$	4,8	5,7	6,8	6,7	6,9	7	7	7,3	8	8,2	8,3	9	9,8	9,9	10
$Y$	5,6	5,9	6,7	7,1	7	7,1	8	8,3	9,2	9,3	10	9,7	9,9	9,5	9,6

Діапазон зміни  $X$  та  $Y$  розбиваємо на 5 інтервалів, т.к.  $\Delta X = \Delta Y = 2$ .

Інтервали:  $(0; 2)$ ,  $(2; 4)$ ,  $(4; 6)$ ,  $(6; 8)$  і  $(8; 10)$ .

2. Визначаємо по таблиці 1 відносні частоти потрапляння  $X$  та  $Y$  в інтервали  $W(x_i)$ ;  $W(y_j)$ , а також відносні частоти подій  $(x_i, y_j)$ :  $W(x_i, y_j)$ .

Дані зводимо до таблиці №2.

Таблиця 2

$Y_j$	$X_i$					$W(y_j)$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
$y_1$	2/30	0	0	0	0	2/30
$y_2$	2/30	2/30	0	0	0	4/30
$y_3$	0	3/30	8/30	0	0	11/30
$y_4$	0	0	0	4/30	0	4/30
$y_5$	0	0	0	2/30	7/30	9/30
$W(x_i)$	4/30	5/30	8/30	6/30	7/30	

3. Оцінюємо ентропію повідомлень  $H(X)$ ,  $H(Y)$ :

$$H(X) = - \sum_{i=1}^5 W(x_i) \log_2 W(x_i)$$

$$H(Y) = - \sum_{j=1}^5 W(y_j) \log_2 W(y_j)$$

$$H(X) = - (4/30 * \log_2 * 4/30 + 5/30 * \log_2 * 5/30 + 6/30 * \log_2 * 6/30 + 7/30 * \log_2 * 7/30) = 2,2811$$

$$H(Y) = - (2/30 * \log_2 * 2/30 + 4/30 * \log_2 * 4/30 + 11/30 * \log_2 * 11/30 + 4/30 * \log_2 * 4/30 + 9/30 * \log_2 * 9/30) = 2,0874$$

4. Визначаємо ентропію складного повідомлення  $H(x, y)$

$$H(X, Y) = - \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 W(x_i, y_j) \log_2 W(x_i, y_j)$$

$$H(X, Y) = - (2/30 * \log_2 * 2/30 + 2/30 * \log_2 * 2/30 + 3/30 * \log_2 * 3/30 + 8/30 * \log_2 * 8/30 + 4/30 * \log_2 * 4/30 + 2/30 * \log_2 * 2/30 + 7/30 * \log_2 * 7/30) = 2,76.$$

5. Обчислюємо умовні ентропії:

$$H(Y/X) = - \sum_{i=1}^5 W(x_i) \sum_{j=1}^5 W(y_j/x_i) \log_2 W(y_j/x_i)$$

$$H(X/Y) = - \sum_{j=1}^5 W(y_j) \sum_{i=1}^5 W(x_i/y_j) \log_2 W(x_i/y_j)$$

$$H(Y/X) = - (4/30 (2/4 * \log_2 * 2/4 + 2/4 * \log_2 * 2/4) + 5/30 (2/5 * \log_2 * 2/5 + 3/5 * \log_2 * 3/5) + 8/30 * \log_2 * 1 + (6/30 (4/6 * \log_2 * 4/6 + 2/6 * \log_2 * 2/6) + 7/30 * \log_2 * 1) = 0,4788$$

$$H(X/Y) = - (2/30 * \log_2 * 1 + 4/30 * \log_2 * 2/4) + 11/30 (3/11 * \log_2 * 3/11 + 8/11 * \log_2 * 8/11) + 4/30 * \log_2 * 1 + (9/30 (2/9 * \log_2 * 2/9 + 7/9 * \log_2 * 7/9) = 0,6725$$

6. Виконуємо перевірку:

$$H(X) + H(Y/X) = 2,2811 + 0,4788 = 2,76$$

$$H(Y) + H(X/Y) = 2,0874 + 0,6725 = 2,76$$

$$H(X, Y) = 2,76$$

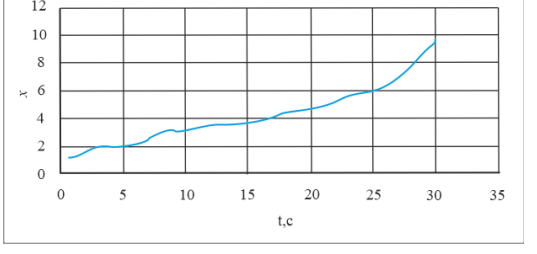
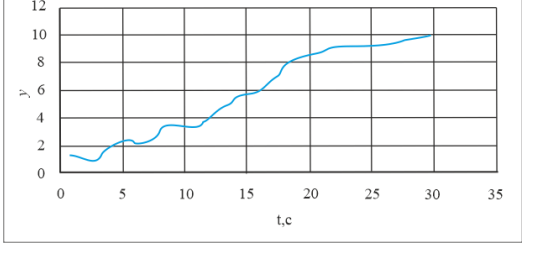
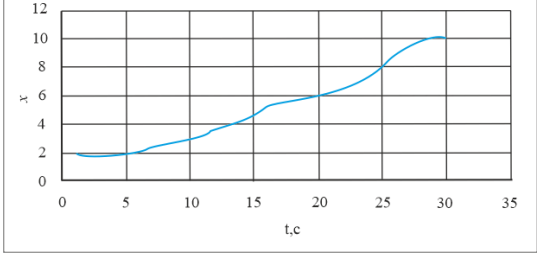
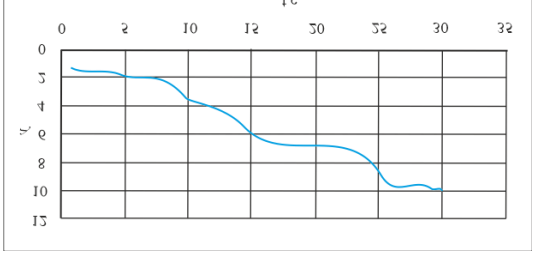
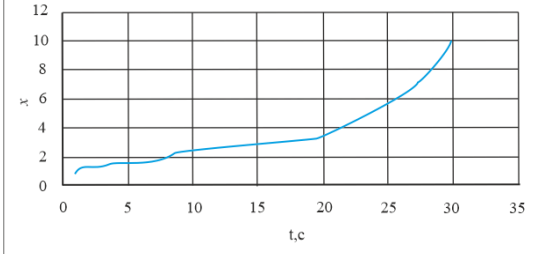
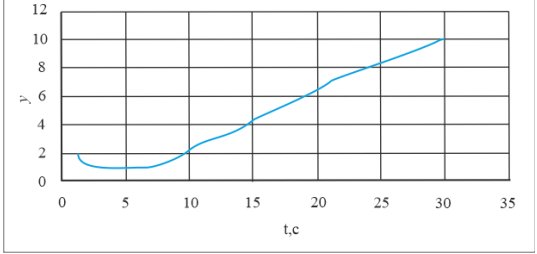
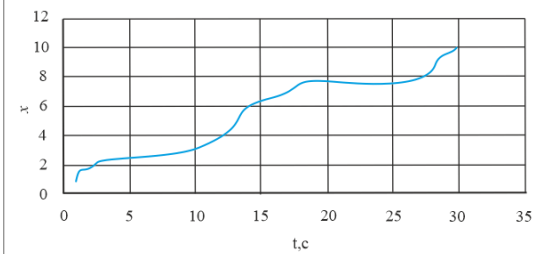
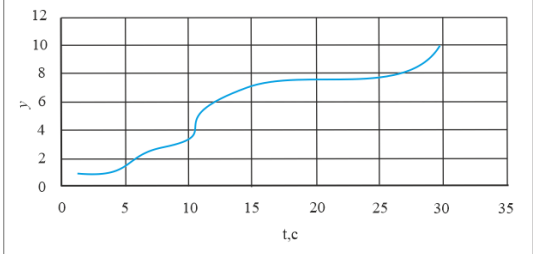
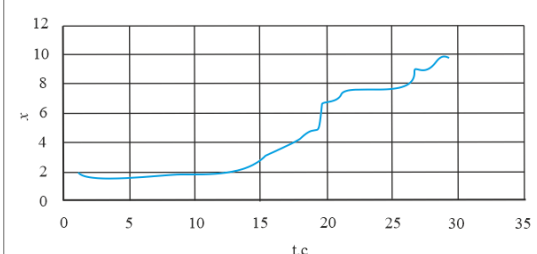
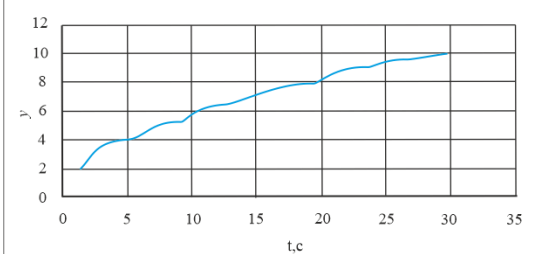
Розрахунок показав, що точність розрахунків є задовільною.

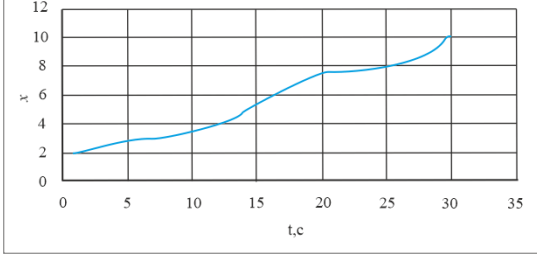
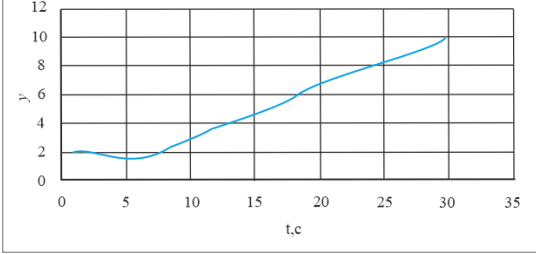
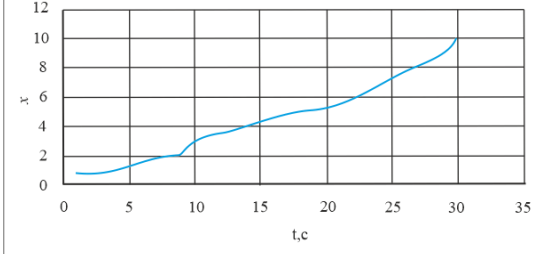
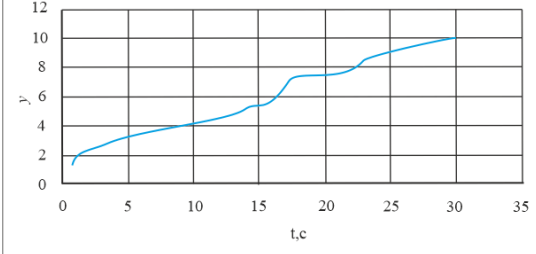
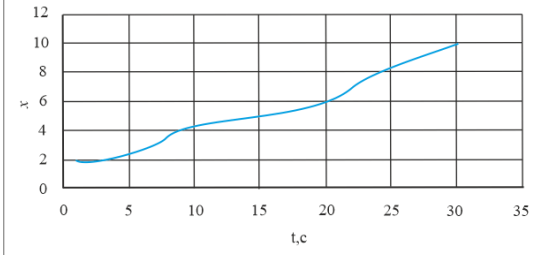
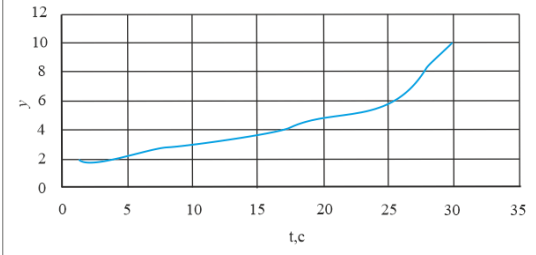
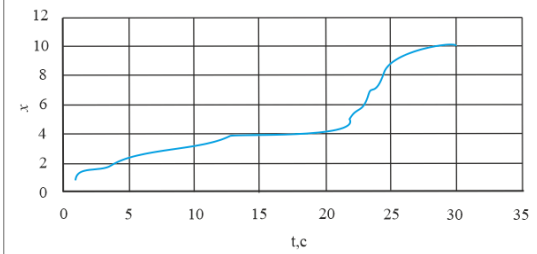
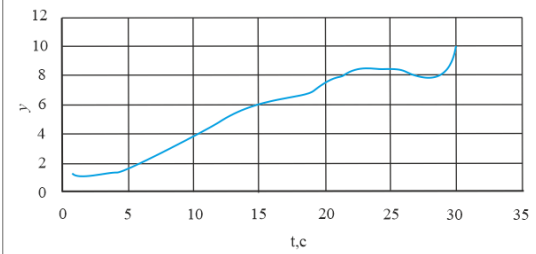
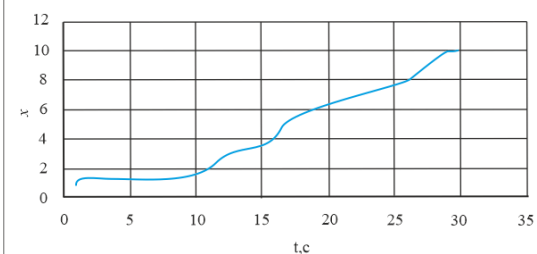
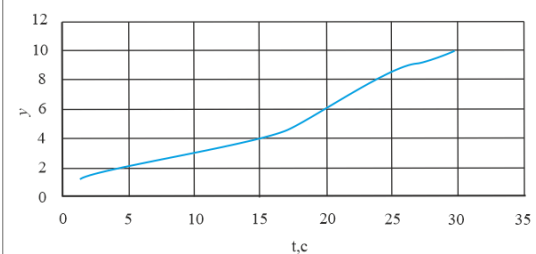
**Варіанти до практичної роботи.**

Студент за своїм варіантом, або за допомогою викладача отримує дві реалізації процесів зміни статистично залежних параметрів  $X(t)$ ,  $Y(t)$ .

Виконує інформаційний аналіз складного повідомлення  $(X, Y)$

Вар		
1.		
2.		
3.		
4.		

Вар		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		

Вар		
10.		
11.		
12.		
13.		
14.		

### **Питання для самоконтролю**

1. Що в теорії інформації називають ентропією джерела та як вона визначається для джерел залежних повідомлень?
2. Дати визначення поняття надмірність джерела повідомлень.
3. Дати визначення поняття продуктивність джерела повідомлень.
4. Назвати причини наявності надмірності джерела.
5. Чому дорівнює кількість інформації від джерела неперервного сигналу?

### **Оцінювання результатів навчання**

#### **Оцінювання практичних занять та дисциплінарні результати**

Подаються критерії оцінювання у вигляді переліку припущених недоліків, що знижують оцінку якості виконання цього практичного завдання.

Об'єктивна оцінка результатів розв'язання задач можлива (як і будь-яке інше вимірювання) лише при їх зіставленні з еталонними – зразками правильних та повних рішень (відповідей).

Оцінювання результатів практичних занять здійснюється наступним чином:

1 питання – 2,5 бал;

2 питання – 2,5 бал;

3 питання – 2,5 бал;

4 питання – 2,5 бал.

#### **Критеріями визначення оцінок приймається:**

«Відмінно» – 9-10 балів;

«Добре» – 7,5-9 бали;

«Задовільно» – 6-7,5 бали;

«Незадовільно» – до 6 балів.

При остаточній оцінці результатів виконання завдання необхідно враховувати здатність студента:

- диференціювати, інтегрувати та уніфікувати знання;
- застосовувати правила, методи, принципи, закони у конкретних ситуаціях;
- інтерпретувати схеми, графіки, діаграми;
- аналізувати й оцінювати факти, події та спрогнозувати очікувані результати від прийнятих рішень;
- викладати матеріал на папері послідовно, з дотриманням вимог чинних стандартів.

### **Вимоги до звіту**

Звіт з виконання практичної роботи має містити:

- обкладинку в корпоративному стилі НТУ «Дніпровська політехніка» із зазначенням групи, ПІ Б студента, викладача та теми роботи;
- мету роботи і повний текст завдання з уточненням варіанту системи, що розглядається;
- виконання завдання з побудовою конструктивної та потокової функціональних діаграм системи, описом її функціонування, аналізом переваг та недоліків системи і висновками щодо шляхів її покращення.

Звіт розміщується на сайті дистанційної освіти у відповідному розділі із завданням і оцінюється виходячи з 100 балів в ході усного захисту.

## Рекомендовані джерела інформації

### Базова:

1. Молоканова В.М. Системний аналіз в управлінні розвитком складних систем: навч. посіб. / В.М. Молоканова, А.В. Малієнко, М.М. Одновол. О.Б. Владико; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 95 с.
2. Роїк, О. М. Системний аналіз. Навчальний посібник / О. М. Роїк, А. А. Шиян, Л.О. Нікіфорова – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 83 с.
3. Грицюк П.М. Основи теорії систем і управління: Навч. посібник /П.М. Грицюк, О.І. Джоші, О.М. Гладка. – Рівне: НУВГП, 2021. – 272 с.
4. Біловодська, О.А. Системний аналіз і прийняття інноваційних рішень : курс лекцій для студ. факультету економіки та менеджменту спец. 8.000014 "Управління інноваційною діяльністю" денної форми навчання / О.А. Біловодська, О.Ф. Грищенко. — Суми : СумДУ, 2010. — 106 с. — 9-88. Електронна версія: <http://www.essuir.sumdu.edu.ua/retrieve/5823/Bilovodska.doc>
5. Варенко В. М. Системний аналіз інформаційних процесів: Навч. посіб. / В. М. Варенко, І. В. Братусь, В. С. Дорошенко, Ю. Б. Смольников, В.О. Юрченко. – К.: Університет «Україна», 2013. – 203с.

### Додаткова:

- 1 Заполовський М.Й. Системний аналіз та комп'ютерне моделювання. Методичні вказівки до практичних занять. Харків. -2019.
- 2 Дудник І. М. Вступ до загальної теорії систем. - К.: Кондор, 2009. 205с. Шамровський О.Д. Системний аналіз: математичні методи та застосування : навчальний посібник / О.Д.Шамровський. – Львів: «Магнолія 2006», 2010. – 275 с.
- 3 System analysis and mathematical modelling. Laboratory Practice for students of specialty 123 – “Computer Engineering”. Харків. – 2019
- 4 Shelly, Gary B. Systems analysis and design / Gary B. Shelly, Harry J. Rosenblatt. –9th ed. – Course Technology, 2012. – 761 p. 11.
- 5 Satzinger , John W. Systems Analysis and Design in a Changing World / John W. Satzinger, Robert B. Jackson, Stephen D. Burd. – 6th ed. – Course Technology, 2012. – 514 p.



Системний аналіз (СА)

<https://do.nmu.org.ua/course/view.php?id=2808>

Малієнко Андрій Вікторович, доцент, канд. техн. наук, доцент, [malienko.a.v@nmu.one](mailto:malienko.a.v@nmu.one)

Владико Олександр Борисович, доцент, канд. техн. наук, доцент, [vladyko.o.b@nmu.one](mailto:vladyko.o.b@nmu.one)

Козир Світлана Василівна – асистент, [kozyr.s.v@nmu.one](mailto:kozyr.s.v@nmu.one)

Гаранжа Дмитро Миколайович - старший викладач, [haranzha.d.m@nmu.one](mailto:haranzha.d.m@nmu.one)

Навчальне видання

**Малієнко Андрій Вікторович**  
**Владико Олександр Борисович**  
**Козир Світлана Василівна**  
**Гаранжа Дмитро Миколайович**

## **СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ**

**Методичні рекомендації до виконання практичних робіт**  
для здобувачів ступеня бакалавра  
зі спеціальності 124 Системний аналіз

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.

Підписано до видання 11.06.2024. Авт. арк. 6,2

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».  
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.