

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВНЗ «НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



**ОСНОВИ ТЕОРІЇ СИСТЕМ ТА УПРАВЛІННЯ.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**

для студентів денної форми навчання
напряму підготовки 0701 Транспортні технології

Дніпропетровськ
2012

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВНЗ «НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра управління на транспорті

ОСНОВИ ТЕОРІЇ СИСТЕМ ТА УПРАВЛІННЯ.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
для студентів денної форми навчання
напряму підготовки 0701 Транспортні технології

Дніпропетровськ
2012

Основи теорії систем та управління. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів денної форми навчання напрямку підготовки 0701 Транспортні технології / І.О. Таран, А.В. Бубліков, І.Ю. Клименко. – Д.: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 52 с.

Автори:

І.О. Таран, канд. техн. наук, доц.

А.В. Бубліков, канд. техн. наук, доц.

І.Ю. Клименко, асистент

Затверджено до видання редакційною радою ДВНЗ «НГУ» (протокол №5 від 14.05.2012) за поданням методичної комісії напрямку підготовки 0701 Транспортні технології (протокол №5 від 02.04.2012).

Подано методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Основи теорії систем та управління» освітньо-кваліфікаційної програми підготовки фахівців напрямку 0701 Транспортні технології.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри управління на транспорті, канд. техн. наук, доц. І.О. Таран.

Друкується у редакційній обробці авторів.

ЗМІСТ

	ВСТУП	4
1.	ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ	5
2.	ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2. АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МАРКОВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ	18
3.	ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3. ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ	25
4.	ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ПЕРШОГО ПОРЯДКУ	34
5.	ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ТРАНСПОРТНІЙ СИСТЕМІ	42
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	51

ВСТУП

Методичні вказівки складені у відповідності з інструкціями Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України щодо забезпечення видів навчальної діяльності студента і стандартом вищої освіти Національного гірничого університету [1,2].

В методичних вказівках розглянуті питання системного підходу при дослідженні процесів, що відбуваються в транспортних системах. Для математичного опису даних процесів застосовуються інструменти системного аналізу та теорії автоматичного керування. Предметом дослідження при цьому є закономірності поведінки транспортних систем та процеси їх функціонування. Об'єктом дослідження, відповідно, – транспортні системи. З оглядом на те, що в останній час пріоритетним напрямком розвитку транспортних технологій є широке інтегрування технічних засобів автоматизації в процеси керування як окремим транспортним об'єктом, так і транспортними потоками, особливу увагу приділено напрямку науки і техніки, що вивчає складні системи соціально-технічного характеру і представляє собою прикладну частину теорії систем (системотехніка).

Методичні вказівки включають низку частково взаємопов'язаних лабораторних робіт, під час виконання яких студенти вирішують наступні задачі:

- оптимізація структурних зв'язків між елементами за допомогою структурно-топологічного аналізу транспортної системи;
- моделювання “поведінки” транспортних систем із застосуванням марковських процесів;
- ідентифікація динамічних та статичних характеристик елементів транспортних систем за допомогою методу найменших квадратів та за кривими розгону;
- створення динамічної моделі з ціллю дослідження перехідних процесів в транспортній системі.

Вирішуючи перелічені задачі студент повинен виявити володіння теоретичним матеріалом про предмет досліджень на достатньому рівні та оформити звіт про виконання лабораторних робіт згідно методичним рекомендаціям та чинним стандартам.

Методичні вказівки призначені для студентів напряму підготовки 0701 «Транспортні технології», що вивчають дисципліну «Основи теорії систем та управління».

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Мета роботи: Навчитися оптимізувати структурні зв'язки між елементами транспортної системи за різними критеріями із використанням структурно-топологічного аналізу системи.

Постановка задачі

Зробити порівняльний аналіз двох транспортних систем із різними структурними зв'язками між елементами за наступними структурно-топологічними характеристиками:

- зв'язність структури;
- структурна надмірність;
- рівномірність розподілу зв'язків у структурі;
- структурна компактність;
- ступінь централізації в структурі.

Розподілити елементи транспортної системи із заданою структурою (табл.1.1) за їхньою значимістю.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити, користуючись рекомендованою літературою, конспектом лекцій й методичними вказівками, наступні питання:

- поняття «система», «транспортна система», «системний підхід» [3];
- опис структури системи за допомогою теорії графів;
- визначення структурно-топологічних характеристик систем;
- розрахунки з матрицями в математичному пакеті MathCad [4].

2. Записати матриці суміжності для заданих графів.

3. В математичному пакеті MathCad розрахувати структурно-топологічні характеристики заданих систем.

4. На основі порівняльного аналізу структурно-топологічних характеристик транспортних систем із різними структурними зв'язками між елементами зробити висновки про оптимальність розподілу зв'язків за різними критеріями.

Зміст звіту

1. Назва, мета й завдання практичної роботи.
2. Аналітичні вирази для визначення матриць суміжності заданих графів.
3. Розрахунок структурно-топологічних характеристик заданих систем у вигляді скопійованої із математичного пакета MathCad програми (коментарі в програмі обов'язкові).
4. Висновок про виконану роботу.

Теоретичні відомості

Структурний аналіз системи без врахування властивостей зв'язків між елементами системи та елементами і зовнішньою середою має місце в умовах мінімуму апіорної інформації про досліджуваний об'єкт. Враховується тільки факт наявності зв'язку між елементами і спрямованість цього зв'язку.

Але дослідження транспортних систем на сьогодні відбувається в умовах великої кількості апіорної інформації, яку здобувають за допомогою супутникового зв'язку із використанням різноманітних датчиків, що встановлені на дорогах та транспортних засобах. Тому для дослідження транспортних систем структурний аналіз має досить обмежене застосування. Як приклад, він може бути використаний для оптимізації дорожніх (маршрутних) зв'язків між об'єктами, що розташовані, приблизно, на однаковій відстані один від одного із однаковими умовами дорожнього руху між ними.

У випадку, коли за умови опису структур систем враховується тільки факт наявності зв'язку між елементами і спрямованість цього зв'язку, зручно використовувати теорію графів [5,6].

Нехай задана безліч елементів системи N . Граф $G(N)$ вважається визначеним, якщо задане сімейство сполучень елементів чи пар вигляду $E=(a,b)$, де $a,b \in N$. Задане сімейство сполучень елементів $E=(a,b)$ вказує, які елементи графа є зв'язаними. Пара $E=(a,b)$ називається ребром, а елементи a,b – вершинами. Якщо порядок розташування кінців байдужий, то (a,b) – неорієнтоване ребро, а якщо цей порядок важливий, то (a,b) – орієнтоване ребро чи дуга. Відповідно графи, що складаються з ребер, називають неорієнтованими (рис.1.1,а), а з дуг (рис.1.1,б) – орієнтованими.

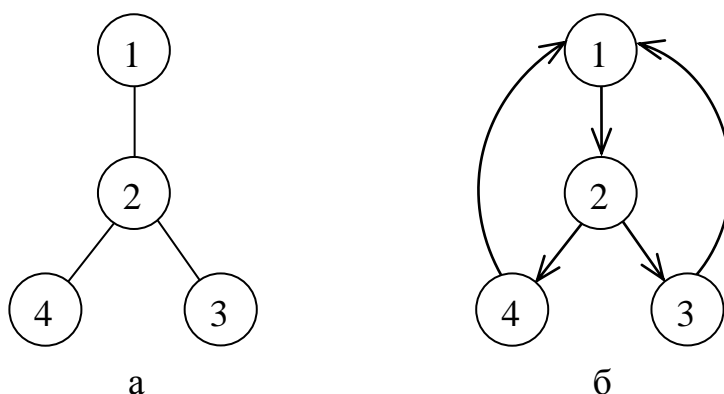


Рис.1.1. Опис структури системи у вигляді графа:
а – неорієнтованого; б – орієнтованого

Існує три способи завдання графа: графічний, матричний та множинний.

Графічний спосіб передбачає завдання графа у вигляді кіл (вершин) та ліній (ребер або дуг), що з'єднують кола у певній послідовності згідно із структурою системи (дивись рис.1.1). Цей спосіб найбільш наочний, але він не може бути використаний при аналізі структури системи на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ).

У випадку матричного завдання графа визначається матриця суміжності, елементи якої характеризують зв'язок між вершинами графа. Для неорієнтованого графа матриця суміжності формується за наступними правилами:

$$A = \|a_{i,j}\|,$$

де

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1 & - \text{при наявності зв'язку між вершинами } i,j; \\ 0 & - \text{при відсутності зв'язку між вершинами } i,j. \end{cases}$$

Наприклад, для графа, зображеного на рис.1.1,а, матриця суміжності буде мати такий вигляд:

$$A_n = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (1.1)$$

Для орієнтованого графа елементи матриці суміжності $a_{i,j}$ визначаються таким чином:

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1 & - \text{якщо з } i \text{ можна перейти в } j; \\ 0 & - \text{у протилежному випадку.} \end{cases}$$

Наприклад, для графа на рис.1,б матриця суміжності має вигляд:

$$A_o = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (1.2)$$

У випадку множинного способу завдання для графа $G(N)$ задається безліч вершин N та відповідність G , що показує, як вони між собою зв'язані. Відповідність $G(i)$ показує безліч вершин, у які можливо потрапити з i . Для графа на рис.1.1,б: $G(1)=(2)$; $G(2)=(3,4)$; $G(3)=(1)$; $G(4)=(1)$.

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

Якщо структура реальної транспортної системи описана моделлю у вигляді графа, можна кількісно оцінити основні структурні характеристики системи. При цьому досліджуваний об'єкт розглядається як інформаційна система. Нижче наведена інформація щодо основних структурно-топологічних характеристик інформаційних систем.

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

Для неорієнтованого графа зв'язність усіх елементів системи відповідає виконанню умови:

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{i,j} \geq n-1, \quad (1.3)$$

де n – кількість елементів системи (вершин графа).

2. Структурна надмірність – це параметр, що показує перевищення загального числа зв'язків над мінімально необхідним. За допомогою цієї характеристики оцінюється ступінь насиченості транспортних систем

дорожніми (маршрутними) зв'язками. Визначається структурна надмірність в такий спосіб:

$$R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{i,j} \right] \frac{1}{n-1} - 1. \quad (1.4)$$

Для систем з мінімальною надмірністю зв'язків $R=0$.

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

$$E = \sum_{i=1}^n p_i^2 - \frac{4m^2}{n}, \quad (1.5)$$

де p_i – кількість ребер, що виходять з i -ої вершини.

Показник E характеризує симетричність розподілу дорожніх (маршрутних) зв'язків між елементами транспортної системи. У випадку абсолютно рівномірного розподілу зв'язків показник $E=0$.

4. Структурна компактність – це параметр, який показує “близькість” елементів графа між собою з точки зору обміну інформацією між елементами. Показник структурної компактності розраховується наступним чином:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{i,j}, \quad (1.6)$$

де $d_{i,j}$ – мінімальна кількість зв'язків (ребер) графа, задіяних при передачі інформації з i -ої вершини до j -ої.

Часто структурна компактність характеризується відносним показником:

$$Q_{\text{від}} = \frac{Q}{n(n-1)} - 1. \quad (1.7)$$

Структурна компактність по відношенню до транспортних систем дозволяє отримати інформацію про ступінь використання дорожніх зв'язків при повному навантаженні на систему (одночасне перевезення вантажу з усіх елементів системи в усі напрямки). За умови максимально можливої структурної компактності показник $Q_{\text{від}}=0$.

5. Ступінь централізації в структурі графа характеризується індексом центральності:

$$S = (n-1)(2Z_{\text{max}} - n) \frac{1}{Z_{\text{max}}(n-2)}, \quad (1.8)$$

де

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

Для транспортних систем індекс центральності дозволяє оцінити рівень дорожніх зв'язків елементів в системі з іншими елементами. Цей показник змінюється в діапазоні від 0 до 1. Нуль відповідає абсолютно децентралізованій системі (всі елементи мають однакову кількість дорожніх зв'язків з іншими елементами), одиниця – абсолютно централізованій (присутні елементи, які мають дорожні зв'язки з усіма елементами системи).

6. Індекс центральності надає лише загальну інформацію про характер взаємозв'язків елементів системи, але є можливість визначити ранг кожного елемента системи та розподілити їх в порядку значимості. Значимість елемента залежить від числа його зв'язків з іншими елементами. Ранг елемента використовується при представленні структури системи у вигляді орієнтованого графа і може бути обчислений за формулою:

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{i,j}^{(n)}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{i,j}^{(n)}}, \quad (1.9)$$

де $a_{i,j}^{(n)}$ – елементи матриці суміжності A , що зведена до степеня n (A^n).

З формул, за якими знаходяться структурно-топологічні характеристики систем, можна зробити висновок, що неможливо отримати “ідеальну” структуру системи, коли усі структурно-топологічні показники мають оптимальні значення ($R=0$, $E=0$, $Q_{eid}=0$ і т.д.). Наприклад, якщо ми прибираємо зайві дорожні зв'язки щоб зменшити структурну надмірність, збільшується показник структурної компактності. Тому, зазвичай, розставляють пріоритети серед структурно-топологічних показників згідно із технологічними, технічними, функціональними та іншими вимогами, які формулюють розробники транспортної системи. Далі з усіх можливих структур транспортної системи вибирають структури із оптимальним значенням структурно-топологічного показника, який має найвищий пріоритет. Потім із обраних варіантів обирають структури транспортної системи із мінімальним значенням структурно-топологічного показника з другим пріоритетом і т.д.

Приклад виконання роботи

Завдання 1. Зробити порівняльний аналіз транспортної системи, структура якої зображена на рис.1.1,а та системи із послідовною структурою (рис.1.2) за наступними структурно-топологічними характеристиками:

- зв'язність структури;
- структурна надмірність;
- рівномірність розподілу зв'язків у структурі;

- структурна компактність;
- ступінь централізації в структурі.

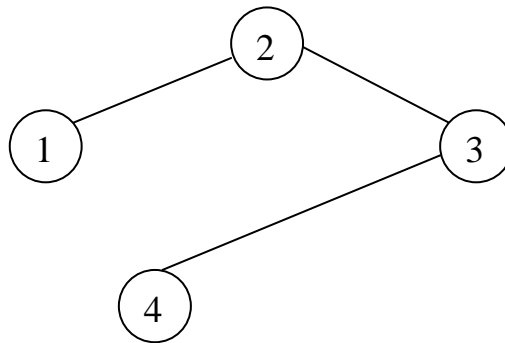


Рис.1.2. Система із послідовною структурою

Розв'язок. Здійснимо розрахунок заданих структурно-топологічних характеристик для кожної системи, користуючись математичним пакетом MathCad. Програма із коментарями в пакеті MathCad, що обчислює структурно-топологічні характеристики систем, наведена нижче (Програма 1.1).

Програма 1.1

Розрахунок в пакеті MathCad структурно-топологічних характеристик систем

Структурно-топологічний аналіз системи

Представимо структуру заданої системи у виді графа та введемо для нього матрицю суміжності згідно форм(1.1):

$$A1 := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Введемо також розмірність матриці суміжності: $n1 := 4$

Матриця суміжності для системи із послідовною структурою

$$A2 := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Введемо розмірність матриці суміжності $A2$: $n2 := 4$

1. Перевіримо умову зв'язності структури заданої системи за форм(1.3):

$$\frac{1}{2} \cdot \sum_{i=0}^{n1-1} \sum_{j=0}^{n1-1} A1_{i,j} = 3 \quad 3 \geq n1 - 1 = 4 - 1 - \text{умова зв'язності структури виконується.}$$

Перевіримо умову зв'язності послідовної структури:

$$\frac{1}{2} \cdot \sum_{i=0}^{n2-1} \sum_{j=0}^{n2-1} A2_{i,j} = 3 \quad 3 \geq n2 - 1 = 4 - 1 - \text{умова зв'язності структури виконується.}$$

2. Показник структурної надмірності для заданої системи (формула (1.4)):

$$R1 := \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=0}^{n1-1} \sum_{j=0}^{n1-1} A1_{i,j} \cdot \frac{1}{n1-1} - 1 \quad R1 = 0$$

Показник структурної надмірності для послідовної структури:

$$R2 := \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=0}^{n2-1} \sum_{j=0}^{n2-1} A2_{i,j} \cdot \frac{1}{n2-1} - 1 \quad R2 = 0$$

3. Показник рівномірності розподілу зв'язків для структури заданої системи (формула (1.5)):

Кількість ребер графа: $m1 := 3$

Кількість вершин графа: $n1 := 4$

Кількість ребер, які зв'язують відповідні вершини заданого графа з іншими вершинами:

$$p1_0 := 1 \quad p1_1 := 3 \quad p1_2 := 1 \quad p1_3 := 1$$

$$E1 := \sum_{i=0}^{n1-1} (p1_i)^2 - \frac{4 \cdot m1^2}{n1} \quad E1 = 3$$

Показник рівномірності розподілу зв'язків для послідовної структури:

Кількість ребер графа: $m2 := 3$

Кількість вершин графа: $n2 := 4$

Кількість ребер, які зв'язують відповідні вершини графа з послідовною структурою з іншими вершинами:

$$p2_0 := 1 \quad p2_1 := 2 \quad p2_2 := 2 \quad p2_3 := 1$$

$$E2 := \sum_{i=0}^{n2-1} (p2_i)^2 - \frac{4 \cdot m2^2}{n2} \quad E2 = 1$$

4. Показник структурної компактності заданої системи

Мінімальна кількість зв'язків (ребер) графа, що задіяні при передачі інформації з i -ої вершини до j -ої:

$$d1 := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

Абсолютний показник структурної компактності заданої системи (формула (1.6)):

$$Qa1 := \sum_{i=0}^{n1-1} \sum_{j=0}^{n1-1} d1_{i,j} \quad Qa1 = 18$$

Відносний показник структурної компактності заданої системи (формула (1.7)):

$$Qv1 := \frac{Qa1}{n1 \cdot (n1 - 1)} - 1 \quad Qv1 = 0.5$$

Показник структурної компактності графа з послідовною структурою

Мінімальна кількість зв'язків (ребер) графа, що задіяні при передачі інформації з i -ої вершини до j -ої:

$$d2 := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Абсолютний показник структурної компактності графа з послідовною структурою:

$$Qa2 := \sum_{i=0}^{n2-1} \sum_{j=0}^{n2-1} d2_{i,j} \quad Qa2 = 20$$

Відносний показник структурної компактності графа з послідовною структурою:

$$Qv2 := \frac{Qa2}{n2 \cdot (n2 - 1)} - 1 \quad Qv2 = 0.667$$

5. Ступінь централізації в структурі заданої системи

$$Z_{max1} := \max \left[\frac{Qa1}{2} \cdot \left(\sum_{j=0}^{n1-1} d1_{0,j} \right)^{-1}, \frac{Qa1}{2} \cdot \left(\sum_{j=0}^{n1-1} d1_{1,j} \right)^{-1}, \frac{Qa1}{2} \cdot \left(\sum_{j=0}^{n1-1} d1_{2,j} \right)^{-1}, \frac{Qa1}{2} \cdot \left(\sum_{j=0}^{n1-1} d1_{3,j} \right)^{-1} \right]$$

Індекс центральності для структури заданої системи (формула (1.8)):

$$S1 := (n1 - 1) \cdot (2 \cdot Z_{max1} - n1) \cdot \frac{1}{Z_{max1}(n1 - 2)} \quad S1 = 1$$

Ступінь централізації в послідовній структурі:

$$Z_{max2} := \max \left[\frac{Qa2}{2} \cdot \left(\sum_{j=0}^{n2-1} d2_{0,j} \right)^{-1}, \frac{Qa2}{2} \cdot \left(\sum_{j=0}^{n2-1} d2_{1,j} \right)^{-1}, \frac{Qa2}{2} \cdot \left(\sum_{j=0}^{n2-1} d2_{2,j} \right)^{-1}, \frac{Qa2}{2} \cdot \left(\sum_{j=0}^{n2-1} d2_{3,j} \right)^{-1} \right]$$

Індекс центральності для послідовної структури:

$$S2 := (n2 - 1) \cdot (2 \cdot Z_{max2} - n2) \cdot \frac{1}{Z_{max2}(n2 - 2)} \quad S2 = 0.6$$

Висновок зробимо на основі порівняльного аналізу структурних зв'язків заданої системи та системи із послідовною структурою за структурно-топологічними характеристиками:

1. Структури обох систем за підсумками перевірки умови зв'язності структур не мають висячих вершин.

2. Згідно із показником структурної надмірності, який для обох випадків дорівнює нулю, як задана система, так і система із послідовною структурою не мають надмірних дорожніх зв'язків.

3. Оскільки показник рівномірності розподілу зв'язків в структурі $E2 < E1$, дорожні зв'язки в системі із послідовною структурою розподілені між елементами більш рівномірно, ніж в заданій системі.

4. Оскільки відносний показник структурної компактності $Qv1 < Qv2$, структура заданої системи більш компактна, ніж послідовна структура.

5. Структура заданої системи володіє максимальним ступенем централізації (існує елемент, що має дорожні зв'язки з усіма елементами системи), оскільки індекс центральності $SI=1$. Система із послідовною структурою володіє меншим ступенем централізації.

Завдання 2. Розподілити елементи транспортної системи із заданою структурою (рис.1.1,б) за їхньою значимістю.

Розв'язок. Здійснимо розрахунок рангів елементів заданої системи, представивши її структуру у вигляді орієнтованого графа. Нижче наведена програма в математичному пакеті MathCad, за допомогою якої визначається ранг кожного елемента системи (Програма 1.2).

Програма 1.2

Розрахунок в пакеті MathCad рангів елементів системи

Визначення рангів елементів системи

Представимо структуру заданої системи у виді графа та введемо для нього матрицю суміжності згідно формул(1.2):

$$A_0 := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Введемо також розмірність матриці суміжності: $n := 4$

Зведемо матрицю суміжності до степеня n :

$$A_0^n = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Обчислимо ранг першого елемента системи:

$$r_0 := \frac{\sum_{j=0}^{n-1} (A_0^n)_{0,j}}{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (A_0^n)_{i,j}} \quad r_0 = 0.2$$

Обчислимо ранг другого елемента системи:

$$r_1 := \frac{\sum_{j=0}^{n-1} (A_0^n)_{1,j}}{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (A_0^n)_{i,j}} \quad r_1 = 0.4$$

Обчислимо ранг третього елемента системи:

$$r_2 := \frac{\sum_{j=0}^{n-1} (A_0^n)_{2,j}}{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (A_0^n)_{i,j}} \quad r_2 = 0.2$$

Обчислимо ранг четвертого елемента систем

$$r_3 := \frac{\sum_{j=0}^{n-1} (A_0^n)_{3,j}}{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (A_0^n)_{i,j}} \quad r_3 = 0.2$$

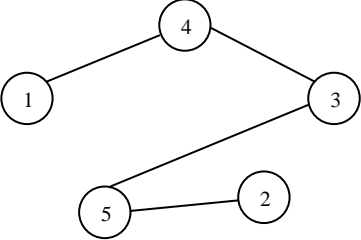
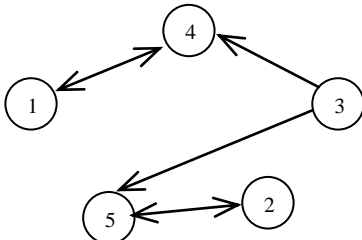
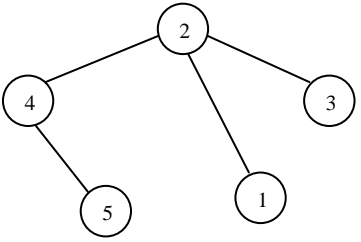
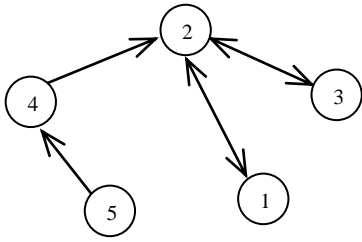
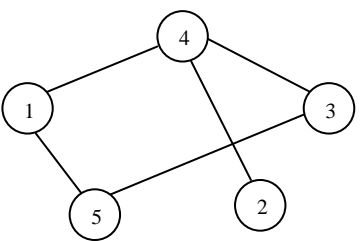
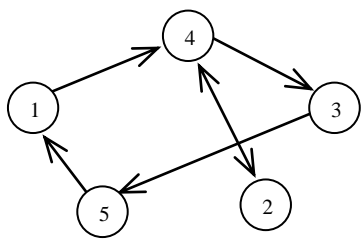
У якості висновку відмітимо, що другий елемент заданої системи має найвищий ранг $r_1=0,4$. Це підтверджує графічне зображення графа (рис.1.1,б) – другий елемент має найбільшу кількість дорожніх зв'язків з іншими елементами. Перший, третій та четвертий елементи мають однакові ранги та посідають друге місце за значимістю.

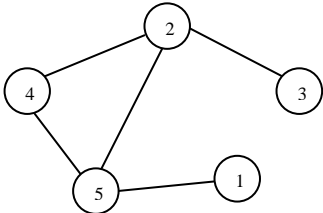
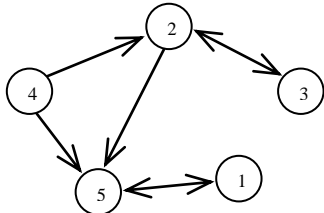
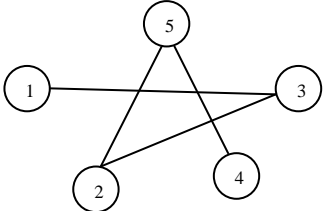
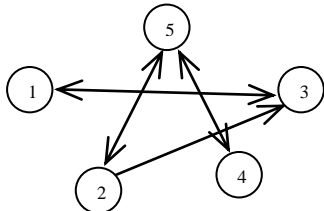
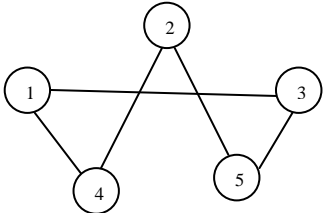
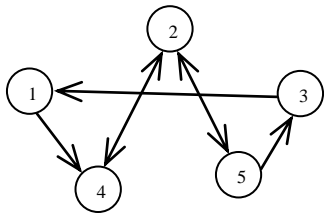
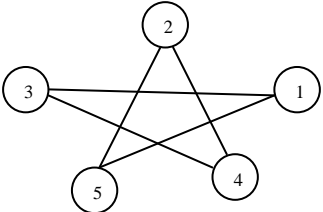
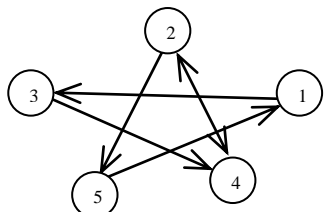
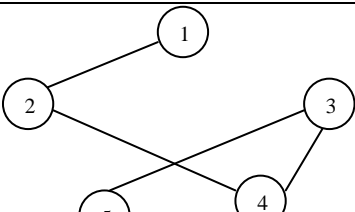
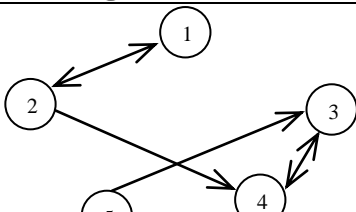
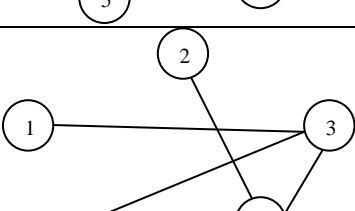
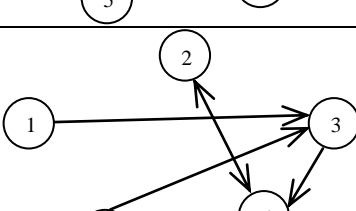
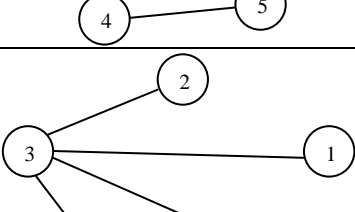
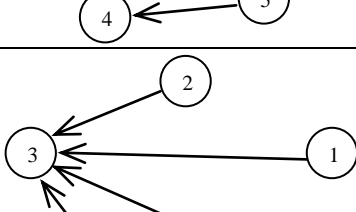
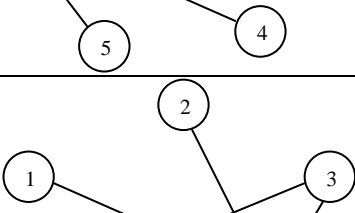
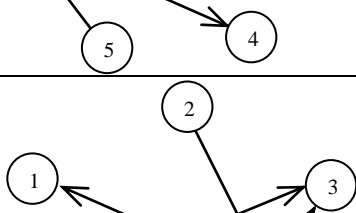
Варіанти завдань

Варіанти завдань представлені у табл.1.1.

Таблиця 1.1

Варіанти завдань до виконання практичної роботи №1

№ п/п	Неорієнтований граф	Орієнтований граф
1		
2		
3		

№ п/п	Неорієнтований граф	Орієнтований граф
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

№ п/п	Неорієнтований граф	Орієнтований граф
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

№ п/п	Неорієнтований граф	Орієнтований граф
20		
21		
22		
23		
24		
25		

Неорієнтований граф у табл.1.1 використовується для перевірки умови зв'язності структури та обчислення показників структурної надмірності, рівномірності розподілу зв'язків у структурі, структурної компактності й ступеня централізації в структурі. При цьому всі структурно-топологічні характеристики заданого згідно варіанту графа необхідно порівняти з структурно-топологічними характеристиками системи із повною структурою.

Орієнтований граф у табл.1.1 використовується для визначення рангів елементів заданого згідно варіанту графа.

Запитання для контролю

1. Дайте визначення системи та системного підходу в рамках теорії систем. Що розуміють під транспортною системою?
2. Умови застосування структурно-топологічного аналізу для дослідження транспортних систем.
3. Розкрийте способи завдання графа.
4. Як обчислюється показник структурної надмірності для неорієнтованого графа?
5. Що характеризує структурна компактність графа та як визначити відносний показник структурної компактності?
6. Порівняйте кільцеву та послідовну структури графа за показником структурної надмірності.
7. Приведіть формулу для розрахунку індексу центральності для структури графа. У яких випадках індекс центральності дорівнює нулю та одиниці?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2 АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МАРКОВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ

Мета роботи: Отримати практичні навички з математичного опису та аналізу поведінки транспортних систем за допомогою марковських випадкових процесів.

Постановка задачі

Використовуючи апарат марковських випадкових процесів, розробити математичну модель розвантажувального пункту, яка описує процес його функціонування.

На основі розробленої математичної моделі зробити аналіз ефективності роботи розвантажувального пункту за вказаним викладачем критерієм.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити, користуючись рекомендованою літературою, конспектом лекцій й методичними вказівками, наступні питання:
 - поняття марковських випадкових процесів;
 - застосування марковських випадкових процесів для опису складних систем;
 - визначення ймовірностей станів системи в граничному стаціонарному режимі.
2. Згідно із умовами роботи розвантажувального пункту, що вказані у табл.2.2, описати стани транспортної системи та розробити граф станів із зазначенням шляхів можливих переходів системи із стану в стан.
3. На основі графу станів системи скласти систему лінійних рівнянь для обчислення ймовірностей станів системи.

4. Згідно варіанту розрахувати за формулою (2.6) інтенсивності потоків подій у системі та визначити ймовірності станів системи за формулою (2.2).

5. За критерієм, що вказаний у табл.2.2, зробити висновок про ефективність роботи транспортної системи.

Зміст звіту

1. Назва, мета й завдання практичної роботи.
2. Опис станів заданої транспортної системи та граф станів із зазначенням шляхів можливих переходів системи із стану в стан.
4. Система лінійних рівнянь для обчислення ймовірностей станів системи.
3. Розрахунок ймовірностей станів заданої системи у вигляді програми, що скопійована із математичного пакета MathCad (коментарі в програмі обов'язкові).
4. Висновок про ефективність роботи транспортної системи.

Теоретичні відомості

Апарат марковських випадкових процесів широко використовується при аналізі складних систем для опису їхнього поведіння при наявності випадкових факторів [6].

Випадковий процес є марковським, якщо ймовірнісні характеристики його в майбутньому залежать тільки від того, в якому стані цей процес знаходиться в даний момент часу, і не залежать від того, яким чином цей процес протікав у минулому. Такий процес називають випадковим без післядії.

Марковський випадковий процес може бути з неперервним або дискретним у часі характером переходів із одного стану в інший. Наприклад, маємо випадковий процес, що протікає в системі з можливими станами Z_0, Z_1, \dots, Z_n (n – кількість станів). Позначимо умовну ймовірність того, що в момент $t=t_0+T$ система перейде у стан Z_j , якщо в момент t_0 вона знаходилась у стані Z_i через $P_{ij}(t_0, T)$. Марковський випадковий процес є дискретним, якщо ймовірність $P_{ij}(t_0, T)$ залежить тільки від i, j , t_0 та T , тобто тільки від того, у якому стані система була у момент t_0 і в який стан вона перейде через час T .

Марковським випадковим процесом з неперервним часом називається процес, у якого перехід із одного стану в інший можливий у будь який момент часу.

Для опису поведінки системи в класі марковських процесів з неперервним часом необхідно:

- вказати всі стани, у яких може знаходитись система;
- скласти граф станів, тобто вказати шляхи можливих безпосередніх переходів системи зі стану в стан;
- для розрахунку перехідних процесів у системі вказати, у якому стані знаходиться система в початковий момент часу;
- для кожного можливого переходу на графі вказати інтенсивність потоку подій $\lambda_{i,j}$, що переводять систему зі стану Z_i у стан Z_j . Звичайно інтенсивності $\lambda_{i,j}$ визначаються експериментально.

Вичерпною характеристикою марковського процесу є сукупність ймовірностей $P_j(t)$ того, що процес у момент часу t буде знаходитися в стані Z_j ($j = \overline{0, n}$). Ці ймовірності визначаються на основі розв'язку диференціальних рівнянь:

$$P'_j(t) = -\left(\sum_{i=1}^n \lambda_{j,i}\right)P_j(t) + \sum_{i=1}^n (P_i(t)\lambda_{i,j}). \quad (2.1)$$

Система визначає перехідний процес за умови припущення, що початковий стан – Z_0 .

Якщо кількість станів системи n – кінцева, і з кожного стану графа можливо перейти в будь-який інший стан, то така система буде мати граничний стаціонарний режим.

З практичної точки зору має інтерес визначення ймовірностей станів системи в граничному стаціонарному режимі. Для розрахунку ймовірностей використовується система алгебраїчних рівнянь, що виходить з (2.1) шляхом прирівнювання до нуля похідних за ймовірностями:

$$-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_{j,i}\right)P_j + \sum_{i=1}^n (P_i\lambda_{i,j}) = 0. \quad (2.2)$$

Система (2.2) є лінійно залежною, тому її варто доповнити умовою:

$$\sum_{i=0}^n P_i = 1. \quad (2.3)$$

Приклад виконання роботи

Завдання. Використовуючи апарат марковських випадкових процесів, розробити математичну модель розвантажувального пункту, яка описує процес його функціонування. Умови роботи розвантажувального пункту: кількість пунктів – 1; кількість вантажних машин – 2 (машина A та машина B); пріоритет розвантаження серед машин рівний ($A=B$).

На основі розробленої математичної моделі зробити аналіз ефективності роботи розвантажувального пункту. Роботу пункту можна вважати ефективною, якщо для обох машин витрати часу на чекання складають не більше 40% часу їх обслуговування.

Розв'язок. Опишемо стани транспортної системи, які визначаються станами вантажних машин A і B . Як машина A , так і машина B можуть перебувати у наступних станах: 0 – відсутність машини на розвантажувальному пункті; 1 – розвантаження машини на пункті; 2 – чекання машини на обслуговування.

З урахуванням комбінацій станів вантажних машин, які припустимі в заданих умовах роботи розвантажувального пункту, виділені наступні стани транспортної системи (табл.2.1).

Стани транспортної системи

Номер стану системи	Стани машин (A,B)	Опис стану системи
0	(0,0)	Відсутність вантажних машин на розвантажувальному пункті
1	(1,0)	Розвантаження машини A, машина B відсутня
2	(0,1)	Розвантаження машини B, машина A відсутня
3	(1,2)	Розвантаження машини A, машина B чекає
4	(2,1)	Розвантаження машини B, машина A чекає

Якщо всі можливі переходи системи із стану в стан згідно умовам роботи розвантажувального пункту описати графічно, отримаємо модель пункту у вигляді орієнтованого графу станів (рис.2.1), що описує “поводження” транспортної системи.

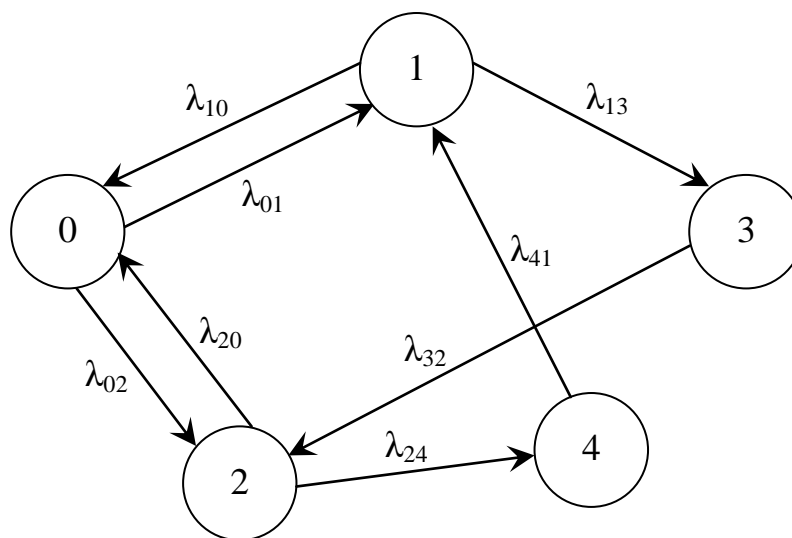


Рис.2.1. Граф станів транспортної системи

Слід зазначити, що при розробці графу станів системи нехтуємо ситуаціями, коли машини приїжджають одночасно, або коли одразу після розвантаження машини A прибуває машина B і т.п., із-за малої вірогідності цих подій.

Відповідно до (2.2) складемо систему алгебраїчних рівнянь для визначення ймовірностей станів системи.

$$\begin{cases} -(\lambda_{01} + \lambda_{02})P_0 + \lambda_{10}P_1 + \lambda_{20}P_2 = 0 \\ -(\lambda_{10} + \lambda_{13})P_1 + \lambda_{01}P_0 + \lambda_{41}P_4 = 0 \\ -(\lambda_{20} + \lambda_{24})P_2 + \lambda_{02}P_0 + \lambda_{32}P_3 = 0 \\ \quad -\lambda_{32}P_3 + \lambda_{13}P_1 = 0 \\ \quad -\lambda_{41}P_4 + \lambda_{24}P_2 = 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

Систему рівнянь для визначення ймовірностей станів системи також можна скласти безпосередньо за графом станів, користуючись правилом: для кожного i -го стану складається одне рівняння, причому зі знаком мінус береться добуток ймовірності P_i та суми інтенсивностей $\lambda_{i,j}$ (замість j підставляємо номери всіх станів системи, в які існує перехід із i -го стану). Далі зі знаком плюс перераховуються добутки інтенсивностей усіх переходів в i -ий стан та ймовірностей станів, звідки мав місце перехід.

Зробимо заміну першого рівняння системи (2.4) на рівняння (2.3):

$$\begin{cases} P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1 \\ -(\lambda_{10} + \lambda_{13})P_1 + \lambda_{01}P_0 + \lambda_{41}P_4 = 0 \\ -(\lambda_{20} + \lambda_{24})P_2 + \lambda_{02}P_0 + \lambda_{32}P_3 = 0 \\ \quad -\lambda_{32}P_3 + \lambda_{13}P_1 = 0 \\ \quad -\lambda_{41}P_4 + \lambda_{24}P_2 = 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Припустимо, що інтенсивності потоків подій мають наступні значення: $\lambda_{0,1}=1$; $\lambda_{0,2}=1,5$; $\lambda_{1,0}=3,5$; $\lambda_{1,3}=1,5$; $\lambda_{2,0}=0,5$; $\lambda_{2,4}=3$; $\lambda_{3,2}=2$; $\lambda_{4,1}=2,5$.

Для визначення ймовірностей станів системи із урахуванням заданих числових значень інтенсивностей потоків подій розроблена програма в математичному пакеті MathCad.

Програма 2.1

Розрахунок в пакеті MathCad ймовірностей станів системи

Розрахунок ймовірностей станів транспортної системи

Введемо числові значення інтенсивностей потоків подій:

$\lambda_{01}:=1$ $\lambda_{02}:=1.5$ $\lambda_{10}:=3.5$ $\lambda_{13}:=1.5$ $\lambda_{20}:=0.5$ $\lambda_{24}:=3$ $\lambda_{32}:=2$ $\lambda_{41}:=2.5$

Задамо початкові значення ймовірностей, з яких буде починатися пошук рішення системи алгебраїчних рівнянь:

$P_0:=0$ $P_1:=0$ $P_2:=0$ $P_3:=0$ $P_4:=0$

Введемо систему алгебраїчних рівнянь для обчислення ймовірностей станів системи:

Given

$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1$

$-(\lambda_{10} + \lambda_{13}) \cdot P_1 + \lambda_{01} \cdot P_0 + \lambda_{41} \cdot P_4 = 0$

$-(\lambda_{20} + \lambda_{24}) \cdot P_2 + \lambda_{02} \cdot P_0 + \lambda_{32} \cdot P_3 = 0$

$$-\lambda_{32}P_3 + \lambda_{13}P_1 = 0$$

$$-\lambda_{41}P_4 + \lambda_{24}P_2 = 0$$

Розв'яжемо систему алгебраїчних рівнянь за допомогою оператора Find:

$$P := \text{Find}(P_0, P_1, P_2, P_3, P_4)$$

Ймовірності станів транспортної системи:

$$P_0 = 0.278 \quad P_1 = 0.171 \quad P_2 = 0.192 \quad P_3 = 0.128 \quad P_4 = 0.231$$

Відношення часу чекання і часу обслуговування вантажних машин A та B визначається, відповідно, відношенням ймовірностей станів системи P_4/P_1 та P_3/P_2 :

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{0,231}{0,171} = 1,35; \quad \frac{P_3}{P_2} = \frac{0,128}{0,192} = 0,667.$$

Оскільки обидва відношення ймовірностей більше 0,4 (40%), то можна зробити висновок про неефективність роботи транспортної системи.

Варіанти завдань

Варіанти завдань представлені у табл.2.2.

Таблиця 2.2

Варіанти завдань до виконання практичної роботи №2

№ п/п	Умови роботи розвантажувального пункту		Критерій ефективності роботи транспортної системи
	Кількість вантажних машин, що обслуговуються	Пріоритет розвантаження серед машин	
1	3	$A > B > V$	витрати часу на чекання машини B повинні складати не більше 50% часу її обслуговування
2	3	$A > (B=V)$	витрати часу на чекання машин B та V повинні складати не більше 60% часу їх обслуговування
3	3	$A < (B=V)$	витрати часу на чекання машин B та V повинні складати не більше 50% часу їх обслуговування
4	3	$A=B=V$	витрати часу на чекання машини V повинні складати не більше 40% часу її обслуговування
5	3	$B > A > V$	витрати часу на чекання машини A повинні складати не більше 45% часу її обслуговування
6	3	$B > (B=A)$	витрати часу на чекання машин A та B повинні складати не більше 55% часу їх обслуговування
7	3	$B < (A=V)$	витрати часу на чекання машини B повинні складати не більше 50% часу її обслуговування

№ п/п	Умови роботи розвантажувального пункту		Критерій ефективності роботи транспортної системи
	Кількість вантажних машин, що обслуговуються	Пріоритет розвантаження серед машин	
8	3	$B > B > A$	витрати часу на чекання машини A повинні складати не більше 60% часу її обслуговування
9	3	$B > (A = B)$	витрати часу на чекання машини B повинні складати не більше 55% часу її обслуговування
10	3	$B < (A = B)$	витрати часу на чекання машин A та B повинні складати, відповідно, не більше 45% та 60% часу їх обслуговування
11	3	$A = B = B$	витрати часу на чекання машини B повинні складати не більше 45% часу її обслуговування
12	3	$B > A > B$	витрати часу на чекання машин A та B повинні складати, відповідно, не більше 40% та 55% часу їх обслуговування
13	3	$A > (B = B)$	витрати часу на чекання машини B повинні складати не більше 50% часу її обслуговування
14	3	$B < (B = A)$	витрати часу на чекання машин B та B повинні складати, відповідно, не більше 45% та 55% часу їх обслуговування
15	3	$A = B = B$	витрати часу на чекання машин A та B повинні складати не більше 55% часу їх обслуговування
16	3	$A > B > B$	витрати часу на чекання машини B повинні складати не більше 65% часу її обслуговування
17	3	$B > (A = B)$	витрати часу на чекання машини A повинні складати не більше 50% часу її обслуговування
18	3	$B < (B = A)$	витрати часу на чекання машин A та B повинні складати не більше 45% часу їх обслуговування
19	3	$A = B = B$	витрати часу на чекання машин A , B та B повинні складати не більше 60% часу їх обслуговування
20	3	$B > B > A$	витрати часу на чекання машин B та A повинні складати, відповідно, не більше 45% та 60% часу їх обслуговування
21	3	$B > (B = A)$	витрати часу на чекання машин B та A повинні складати, відповідно, не більше 50% та 55% часу їх обслуговування
22	3	$A < (B = B)$	витрати часу на чекання машини A повинні складати не більше 65% часу її обслуговування
23	3	$A = B = B$	витрати часу на чекання машин A та B повинні складати, відповідно, не більше 55% та 60% часу їх обслуговування
24	3	$(A = B) > B$	витрати часу на чекання машини B повинні складати не більше 40% часу її обслуговування

№ п/п	Умови роботи розвантажувального пункту		Критерій ефективності роботи транспортної системи
	Кількість вантажних машин, що обслуговуються	Пріоритет розвантаження серед машин	
25	3	$(B=B)>A$	витрати часу на чекання машин B та A повинні складати, відповідно, не більше 45% та 65% часу їх обслуговування

Інтенсивності потоків подій у заданій транспортній системі обчислити за формулою:

$$\lambda_{i,j} = 0,3i + 0,5j + 0,1n, \quad (2.6)$$

де n – номер варіанту.

Запитання для контролю

1. Які випадкові процеси називають марковськими?
2. Дайте визначення марковського процесу із неперервним або дискретним у часі характером переходів із одного стану в інший.
3. Яким чином описується поведінка системи в класі марковських процесів з неперервним часом?
4. У якому випадку система, що описується в класі марковських процесів, буде мати граничний стаціонарний режим?
5. Приведіть формулу для визначення ймовірностей станів системи в граничному стаціонарному режимі.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3 ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Мета роботи: Навчитися визначати статичні характеристики елементів транспортної системи в умовах дії збурюючих факторів за допомогою регресійного аналізу.

Постановка задачі

Встановити статистичну залежність між середньою просторовою швидкістю транспортного потоку Y та керуючим впливом автоматичної системи керування дорожнім рухом X (АСКДР).

Визначити із використанням лінійної регресії рівняння, яке найкраще відображає залежність між просторовою швидкістю транспортного потоку та керуючим впливом АСКДР на функціональному рівні.

Порядок виконання роботи

1. В математичному пакеті MathCad для заданої залежності (табл.3.2) знайти коефіцієнт кореляції Пірсона аналітичним способом та за допомогою оператора “corr” (порівняти результати). Зробити висновок про тісноту зв’язку

між середньою просторовою швидкістю транспортного потоку (величина Y) та керуючим впливом АСКДР (величина X).

2. За допомогою метода найменших квадратів визначити параметри рівняння регресії, яке встановлює зв'язок між середньою просторовою швидкістю транспортного потоку та керуючим впливом АСКДР на функціональному рівні (для цього використати пакет MathCad). Також параметри рівняння регресії знайти із застосуванням операторів пакета MathCad “intercept” та “slope” (порівняти результати).

3. Оцінити точність лінійної регресії заданої залежності (табл.3.2) через відносні похибки, які характеризують віддаленість значень просторової швидкості транспортного потоку від лінії регресії. Зробити висновки.

Зміст звіту

1. Назва, мета й завдання практичної роботи.

2. Програма в математичному пакеті MathCad (із коментарями) для розрахунку коефіцієнта кореляції Пірсона аналітичним способом та за допомогою оператора “corr”.

Висновок про тісноту зв'язку між середньою просторовою швидкістю транспортного потоку та керуючим впливом АСКДР.

3. Програма в пакеті MathCad (із коментарями) для визначення параметрів рівняння регресії заданої залежності аналітичним способом із використанням методу найменших квадратів та за допомогою операторів “intercept” і “slope”.

4. Графік в пакеті MathCad, що показує залежність між відносними похибками лінійної регресії та керуючим впливом АСКДР. Висновок про точність лінійної регресії заданої залежності за інтегральним показником відносних відхилень точок експериментальних замірів від лінії регресії.

Теоретичні відомості

Для дослідження транспортних систем з ціллю ефективного керування ними необхідно мати відповідний математичний опис процесів, які виникають як у самій системі, так і в її елементах, тобто необхідно мати математичну модель транспортної системи. Під математичною моделлю розуміють сукупність рівнянь та обмежених умов, які в кількісній формі встановлюють залежність між величинами, за допомогою яких визначається взаємодія елементів системи один з одним або із зовнішнім середовищем. При цьому розрізняють два види рівнянь: рівняння усталених режимів (рівняння статички) та рівняння перехідних режимів (рівняння динаміки) [7].

За усталений режим найчастіше приймають стан рівноваги (спокою) або зміну величин системи з постійною швидкістю. Рівняння статички відображають функціональний зв'язок між величинами системи в усталеному режимі. Рівняння статички визначає статичну характеристику елементів системи. Це залежність вихідної величини елемента від вхідної в усталеному режимі.

Для визначення статичної характеристики елемента реальної транспортної системи результат експерименту представляється у вигляді серії замірів двох (або більше) певних величин X та Y (наприклад, керуючого впливу

АСКДР та середньої просторової швидкості транспортного потоку). Причому, досить часто заміри величин X та Y проводяться попарно, тобто за один i -ий замір у конкретний момент часу отримується два значення – x_i та y_i . Таким чином отримується вибірка XY , яка складається з пар (x_i, y_i) .

Залежність між величинами X та Y може мати функціональний характер, тобто бути строгим функціональним відношенням, що зв'язує їх значення. Але із-за впливів збурюючих факторів при обробці експериментальних даних значно частіше зустрічаються залежності іншого роду: статистичні залежності. Розходження між двома видами залежностей полягає в тому, що функціональна залежність встановлює строгий взаємозв'язок між змінними, а статистична залежність лише говорить о том, що розподілення випадкової величини Y залежить від того, яке значення приймає величина X .

Якщо в якості прикладу взяти процес управління швидкістю транспортного потоку автоматичною системою керування дорожнім рухом, в ролі збурюючого фактору (вплив зовнішньої середовища на систему, який змінює регульовану величину) може виступати слизька поверхня дорожнього покриття, частково перекритий в результаті аварії поперечний переріз дороги, присутність в групі частково поломаного автомобіля, що переміщується із заниженою швидкістю, і т. д.

Для ідентифікації характеристик елементів транспортної системи за допомогою регресійного аналізу необхідно, щоб хоча б одна із величин, які замірюються, була незалежною (регресором або предиктором). Для прикладу, що ми розглядаємо, такою величиною є керуючий вплив АСКДР. В результаті регресивного аналізу досліджується залежність між незалежною величиною та залежною (критеріальною), якою для прикладу є швидкість транспортного потоку.

Одною з мір статистичної залежності між двома величинами є коефіцієнт кореляції [7]. Він показує, наскільки ярко виражена тенденція до збільшення одної величини за умови збільшення другої. Коефіцієнт кореляції змінюється в діапазоні $[-1, 1]$. Нульове значення коефіцієнта означає відсутність такої тенденції. Якщо тенденція ярко виражена, то коефіцієнт близький до $+1$ або -1 (дивлячись на знак залежності). Одиниця означає крайній випадок статистичної залежності – функціональну залежність. Проміжні значення коефіцієнта кореляції говорять о том, що тенденція присутня в якійсь мірі.

Існує декілька різних коефіцієнтів кореляції, але найбільш відомий коефіцієнт кореляції Пірсона, який характеризує ступінь лінійної залежності між величинами. Він визначається як:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3.1)$$

Шляхом рішення системи рівнянь знаходимо $m+1$ коефіцієнтів a_i , які є коефіцієнтами апроксимуючої функції (рівняння регресії) у вигляді степеневого ряду:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m.$$

За коефіцієнтом кореляції (3.1) можна передчасно судити про точність лінійної регресії: якщо лінійна залежність між двома величинами досить явно виражена (коефіцієнт кореляції більше 0,75), то точність лінійної регресії також буде достатньо високою. Але оцінити точність лінійної регресії також можливо за допомогою інтегрального показника відносних відхилень точок експериментальних замірів від лінії регресії:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n (100 \frac{|y_i - f(x_i)|}{y_i})^{n-1}. \quad (3.4)$$

Точність лінійної регресії є практично прийнятною, якщо інтегральний показник відносних відхилень експериментальних точок від лінії регресії складає менше 10%.

Приклад виконання роботи

Завдання. В таблиці 3.1 приведена знята експериментальним шляхом залежність між керуючим впливом АСКДР та середньою просторовою швидкістю транспортного потоку. У якості керуючого впливу від АСКДР задається рівень швидкості транспортного потоку у процентному відношенні від максимально можливої швидкості переміщення автомобілів згідно транспортним характеристикам конкретної дороги.

Таблиця 3.1

Залежність середньої просторової швидкості транспортного потоку від керуючого впливу АСКДР

Керуючий вплив від АСКДР, %	10	30	50	70	90
Швидкість транспортного потоку, км/год	8,1	25,5	47,1	66,4	78

Встановити статистичну залежність між швидкістю транспортного потоку та керуючим впливом АСКДР.

За допомогою метода найменших квадратів визначити параметри рівняння регресії для заданої залежності.

Оцінити точність лінійної регресії заданої залежності за інтегральним показником відносних відхилень точок експериментальних замірів від лінії регресії.

Розв'язок.

Нижче приведена програма в математичному пакеті MathCad, в якій реалізований розрахунок коефіцієнта кореляції Пірсона для встановлення

статистичної залежності між швидкістю транспортного потоку та керуючим впливом АСКДР.

Програма 3.1

Розрахунок в пакеті MathCad коефіцієнта кореляції Пірсона

Визначення коефіцієнта кореляції Пірсона для заданої залежності

Задамо значення експериментально заміряної швидкості транспортного потоку та керуючого впливу від АСКДР у вигляді векторів, відповідно, Y та X:

$$X := \begin{pmatrix} 10 \\ 30 \\ 50 \\ 70 \\ 90 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 8.1 \\ 25.5 \\ 47.1 \\ 66.4 \\ 78.0 \end{pmatrix}$$

Обчислимо середні арифметичні значення величин X та Y:

$$X_{sr} := \frac{\sum_{i=0}^4 X_i}{5} \quad Y_{sr} := \frac{\sum_{i=0}^4 Y_i}{5}$$

Коефіцієнт кореляції Пірсона для заданої залежності (d(3.1)): (16)):

$$r1 := \frac{\sum_{i=0}^4 (X_i - X_{sr}) \cdot (Y_i - Y_{sr})}{\sqrt{\sum_{i=0}^4 (X_i - X_{sr})^2 \cdot \sum_{i=0}^4 (Y_i - Y_{sr})^2}} \quad r1 = 0.996$$

Також коефіцієнт кореляції Пірсона визначимо за допомогою оператора "corr":

$$r2 := \text{corr}(X, Y) \quad r2 = 0.996$$

Коефіцієнти кореляції, що визначені аналітичним шляхом та машинним методом (за допомогою оператора "corr"), співпадають до третього знаку після коми. Це свідчить про правильність розрахунку коефіцієнта кореляції аналітичним шляхом. Також можна зробити висновок щодо високого ступеня лінійної залежності між швидкістю транспортного потоку та керуючим впливом АСКДР, оскільки коефіцієнт кореляції майже дорівнює одиниці.

Нижче представлена програма в математичному пакеті MathCad, в якій відбувається розрахунок параметрів рівняння регресії заданої залежності.

Програма 3.2

Розрахунок в пакеті MathCad параметрів рівняння регресії

Визначення параметрів рівняння регресії для заданої залежності

Задамо початкові значення параметрів, з яких буде починатися пошук рішення системи рівнянь (формується нижче):

$a_0 := 0 \quad a_1 := 0$

Сформуємо систему рівнянь для обчислення параметрів рівняння регресії згідно формул(3.3):

Given

$$\sum_{i=0}^4 Y_i - a_0 \cdot 5 - a_1 \cdot \sum_{i=0}^4 X_i = 0$$

$$\sum_{i=0}^4 X_i \cdot Y_i - a_0 \cdot \sum_{i=0}^4 X_i - a_1 \cdot \sum_{i=0}^4 (X_i)^2 = 0$$

Розв'яжемо систему рівнянь за допомогою оператора Find:

$a := \text{Find}(a_0, a_1)$

Параметри лінійного рівняння регресії для заданої залежності:

$$a_0 = -0.155 \quad a_1 = 0.903$$

Визначимо параметри рівняння регресії за допомогою операторів intercept та slope:

$a_0 := \text{intercept}(X, Y) \quad a_1 := \text{slope}(X, Y)$

$$a_0 = -0.155 \quad a_1 = 0.904$$

$$i := 0..100 \quad f(x) := a_1 \cdot x + a_0$$

Як видно з результатів розрахунку, параметри рівняння регресії для заданої залежності, які визначені аналітичним та машинним способами, практично співпали, що засвідчує про правильність розрахунку. Звернемо увагу на присутність похибки при визначенні константи рівняння регресії a_0 , оскільки відсутність керуючого впливу повинна відповідати нульовій швидкості транспортного потоку. Ця похибка пояснюється впливом збурюючих факторів, із-за чого рівняння регресії є лише приблизним відображенням функціональної залежності між величинами X та Y , а також малою кількістю замірів.

Побудуємо графік рівняння регресії в декартовій системі координат, де також зобразимо точки експериментальних замірів.

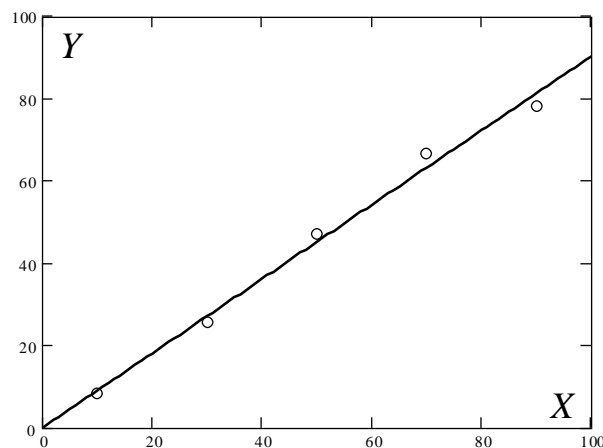


Рис.3.1. Графік рівняння регресії заданої залежності

Із рис.3.1 можна помітити, що точки експериментальних замірів лежать дуже близько від лінії регресії. Щоб точно оцінити відхилення точок від лінії регресії, побудуємо графік, що показує залежність між відносними похибками лінійної регресії та керуючим впливом, а також розрахуємо інтегральний показник відносних відхилень точок експериментальних замірів від лінії регресії.

Із рис.3.2 видно, що максимальна відносна похибка лінійної регресії має місце при керуючому впливові 10% і дорівнює 9,6%. Це свідчить про достатню точність лінійної регресії заданої залежності для більшості практичних задач.

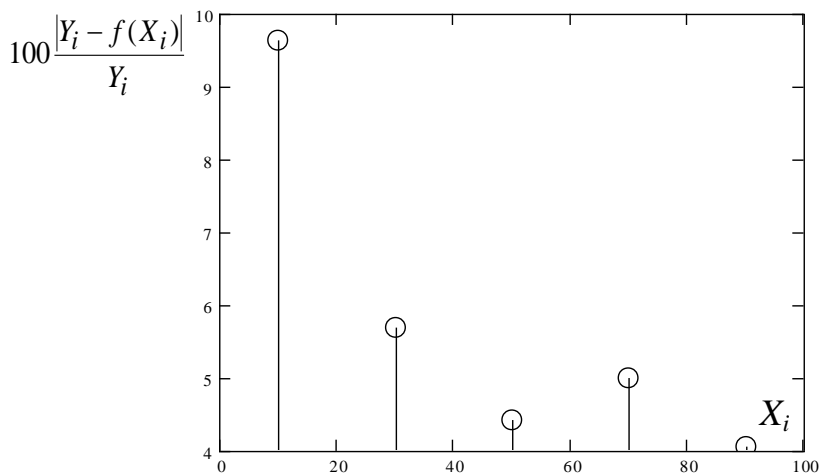


Рис.3.2. Графік залежності між відносними похибками лінійної регресії та керуючим впливом

Програма 3.3

Розрахунок в пакеті MathCad інтегрального показника відносних відхилень точок експериментальних замірів від лінії регресії

Розрахунок інтегрального показника відносних відхилень точок експериментальних замірів від лінії регресії

За формулою (3.4) визначимо інтегральний показник відносних відхилень точок експериментальних замірів від лінії регресії:

$$\Delta := \frac{\sum_{i=0}^4 \frac{|Y_i - f(X_i)|}{Y_i}}{5} \cdot 100$$

$$\Delta = 5.754$$

Оскільки показник відносних відхилень точок експериментальних замірів від лінії регресії менше 10%, можна зробити висновок про практичну прийнятність точності лінійної регресії.

Слід зазначити, що знайдена лінія регресії є статичною характеристикою елемента транспортної системи, який у даному випадку представляє собою окремий транспортний потік: групу автомобілів, що рухаються по певній частині вулиці.

Варіанти завдань

Варіанти завдань приведені в табл.3.2.

Таблиця 3.2

Варіанти завдань до виконання практичної роботи №3

Вар	X	8	20	28	37	53	64	71	84	97
1	Y	2,8	5,4	8	11,7	15	18,3	22,4	25,9	29,6
2	X	5	16	23	30	42	52	65	76	90
	Y	2,4	7,6	10,3	13,7	15,9	19,1	24,3	35,8	38
3	X	10	21	32	40	52	64	72	87	100
	Y	4,6	12,7	17,8	23,7	27,9	29	39,6	46,1	55,7
4	X	8	15	27	40	50	61	70	82	94
	Y	5,3	9,1	16,1	28,3	36,7	43,8	45,2	50	59,1
5	X	7	13	21	32	40	52	65	80	92
	Y	5	11,1	16,7	21,2	35	43,6	49,8	66,5	76,6
6	X	10	20	31	41	49	52	61	70	91
	Y	8,1	20,2	25,1	38,6	43,9	48,8	50,9	65,1	79
7	X	10	21	32	45	56	68	80	91	100
	Y	10,3	19	35,6	39,7	55,7	68,2	80,9	85,2	99,1
8	X	6	16	25	36	44	55	64	78	90
	Y	6,9	17,4	23,9	39,8	50,5	59,7	65	86,6	99,1
9	X	5	15	26	35	47	58	70	81	95
	Y	6,7	19,7	28,1	43,4	59,1	64,2	71,8	84,5	106,7
10	X	8	19	30	43	55	70	81	90	100
	Y	11,8	28,1	34	47,2	75,6	92,2	99	114,8	121,3
11	X	7	20	35	44	56	69	78	87	97
	Y	9,8	21,9	54,8	58,2	68	99,8	111,8	118,4	140,1
12	X	9	20	32	44	57	71	84	92	100
	Y	14,8	26,4	40,5	55,3	93,2	100,7	110,5	142,6	148,9
13	X	7	19	30	41	52	64	70	81	95
	Y	10,2	24,3	44,1	60,7	73,4	100,8	117,5	124	143,6
14	X	6	15	25	34	48	60	71	82	91
	Y	10	22,1	41,6	46,7	67,4	100	109,6	130,1	131,8
15	X	11	20	34	46	55	70	81	91	97
	Y	19,8	27,6	39,9	70,3	69,1	109,8	116,7	124,4	143,1
16	X	6	17	28	40	51	64	75	86	97
	Y	6,8	19,2	33,1	46,5	74,2	90	96,8	108,4	115,9
17	X	11	23	35	45	56	68	85	92	100
	Y	15,8	30,9	48,1	51,2	59,7	89,2	101	104,5	129,7
18	X	7	17	26	37	46	57	65	79	92
	Y	8,2	19,4	29,8	44,1	50	57,2	68,1	87,5	109,1
19	X	11	20	32	41	52	66	78	82	95

	Y	9,1	23,4	34,9	37,5	57,7	69,2	75,1	87,2	92,6
20	X	5	11	22	35	46	55	66	78	95
	Y	3,3	9	15,6	34,6	44,7	53,4	60,9	75,2	89,1
21	X	5	15	24	35	46	54	65	77	90
	Y	5	12,2	24,7	29,7	32,9	47,2	47,9	59,4	78,6
22	X	4	15	26	34	45	66	75	87	97
	Y	3	10	16	28,1	35,7	42,5	59,2	64	73,1
23	X	11	20	29	41	53	65	77	86	98
	Y	6,3	10,8	16	23,2	35,3	39,9	49,8	56	62,1
24	X	9	17	26	35	43	56	66	78	96
	Y	4,6	7,2	12,2	14,7	17,4	28	31,3	36,2	41,2
25	X	4	10	17	26	39	57	69	80	91
	Y	1,6	3,8	5,2	10,7	15,1	18	22,5	26,8	35,2

Запитання для контролю

1. В чому полягає різниця між функціональною залежністю двох величин та статистичною?
2. Що характеризує коефіцієнт кореляції Пірсона і як він обчислюється?
3. Дайте визначення регресійного аналізу.
4. Опишіть метод найменших квадратів.
5. Як оцінити точність лінійної регресії?
6. Сформууйте систему рівнянь для знаходження коефіцієнтів апроксимуючої функції у вигляді степеневого ряду другого порядку.
7. Для заданої залежності визначте рівняння регресії із нульовою константою a_0 . Зробіть порівняльний аналіз точності лінійної регресії заданої залежності двома застосованими способами (при $a_0=0$ та при $a_0 \neq 0$).

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ПЕРШОГО ПОРЯДКУ

Мета роботи: Отримати практичні навички з визначення динамічних характеристик елементів транспортної системи першого порядку за кривою перехідного процесу, що отримана експериментальним шляхом (кривою розгону).

Постановка задачі

За кривою розгону визначити параметри рівняння динаміки, що описує залежність між просторовою швидкістю транспортного потоку та керуючим впливом АСКДР в перехідному режимі.

Оцінити точність ідентифікації динамічних характеристик елемента реальної транспортної системи, який представляє собою транспортний потік.

Порядок виконання роботи

1. В математичному пакеті MathCad за координатами заданої кривої розгону (табл.4.2) визначити коефіцієнт підсилення та постійну часу

передаточної функції, яка представляє собою математичну модель процесу зміни просторової швидкості транспортного потоку у часі.

2. За допомогою оператора “invlaplace” отримати функцію, що описує зміну у часі середньої просторової швидкості транспортного потоку за умови різкої зміни керуючого впливу від АСКДР, та побудувати графік цієї функції (графік перехідного процесу). На цьому ж графіку відобразити точки експериментальних замірів кривої розгону.

3. Оцінити точність ідентифікації динамічних характеристик елемента транспортної системи через відносні похибки, які характеризують віддаленість точок кривої розгону від кривої перехідного процесу. Зробити висновки.

Зміст звіту

1. Назва, мета й завдання практичної роботи.

2. Програма в математичному пакеті MathCad (із коментарями) для розрахунку коефіцієнта підсилення та постійної часу передаточної функції, яка є математичною моделлю процесу зміни просторової швидкості транспортного потоку у часі.

3. Графік перехідного процесу, який є результатом моделювання процесу зміни у часі середньої просторової швидкості транспортного потоку за умови різкої зміни керуючого впливу від АСКДР (з точками експериментальних замірів кривої розгону).

4. Програма в математичному пакеті MathCad для розрахунку інтегрального показника відносних відхилень точок кривої розгону від кривої перехідного процесу. Висновок про точність ідентифікації динамічних характеристик елемента транспортної системи на основі даного показника.

Теоретичні відомості

Ефективне керування транспортними системами в перехідних режимах неможливе без дослідження перехідних процесів, що відбуваються при переході системи із одного усталеного режиму до іншого. Під перехідними процесами в системі розуміють зміни у часі певних величин, за допомогою яких визначається взаємодія елементів системи один з одним або із зовнішнім середовищем. Перехідні процеси виникають за умови надходження збурення чи керуючої дії із зовнішнього середовища, виникнення нових зв'язків між елементами, зміни структури деякого елемента, тощо.

Рівняння, яке описує зміну у часі вихідної величини Y елемента системи (рис.4.1,а) чи системи в цілому від зміни вхідної величини X , називають рівнянням динаміки. Воно характеризує динамічні властивості елемента системи й описує поведінку системи в перехідному режимі [7]. На практиці для визначення виду рівняння динаміки та його параметрів на вході реального елемента системи формують тестовий ступінчастий сигнал X (рис.4.1,а) з ціллю отримання кривої, що описує зміну у часі вихідної величини Y елемента системи в реальних умовах (кривої розгону, рис.4.1,б). Таким чином, отримуються вихідні данні для визначення виду рівняння динаміки та його параметрів у вигляді координат точок експериментальних замірів величини Y

(рис.4.1,б). Задача пошуку рівняння динаміки елемента системи (математичної моделі) вважається вирішеною, якщо графік рівняння відхиляється від точок експериментальних замірів із припустимою погрешністю.

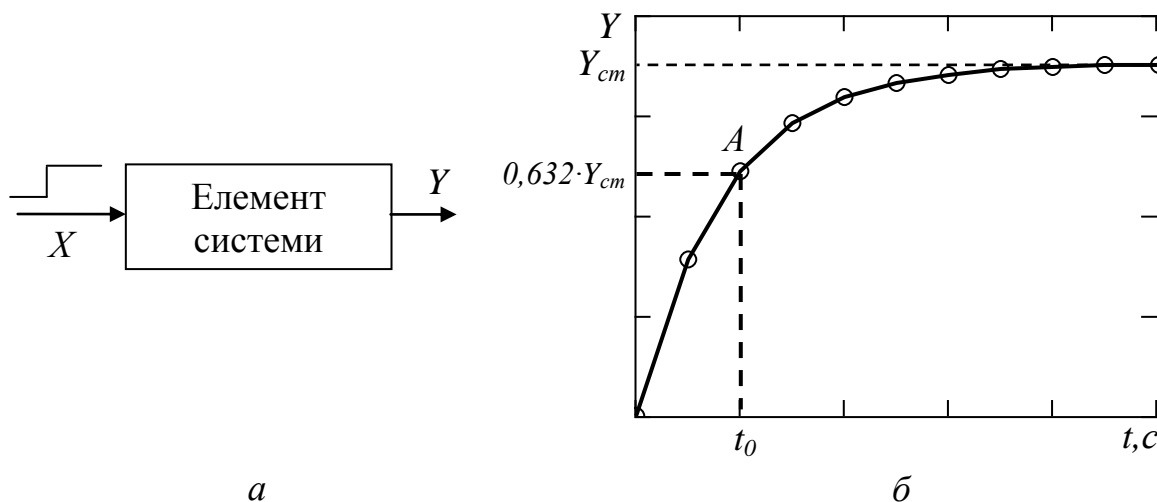


Рис.4.1. Дослідження динамічних властивостей елемента системи:
 a – структурна схема елемента; $б$ – крива розгону

У якості математичних моделей елементів систем при дослідженні перехідних процесів використовують диференційні рівняння як найбільш загальну й повну форму математичного опису динамічної залежності між вихідною та вхідною величинами. Загальний вид диференційного рівняння:

$$a_0 \left(\frac{dY}{dt} \right)^n + a_1 \left(\frac{dY}{dt} \right)^{n-1} + a_n Y = b_0 \left(\frac{dX}{dt} \right)^m + b_1 \left(\frac{dX}{dt} \right)^{m-1} + b_m X; \quad n \geq m,$$

де n та m – відповідно порядки лівої та правої частини диференційного рівняння; a та b – коефіцієнти, відповідно, лівої та правої частини диференційного рівняння, що визначають динамічні властивості елемента.

Для опису перехідних процесів в транспортних системах найчастіше використовують диференційні рівняння першого та другого порядків [3]. Наприклад, для опису процесу зміни у часі середньої просторової швидкості транспортного потоку використовується диференційне рівняння першого порядку із нульовим порядком правої частини:

$$a_0 \frac{dV}{dt} + a_1 V = b_0 U, \quad (4.1)$$

де V – середня просторова швидкість транспортного потоку, км/г; U – керуючий впливу від АСКДР (рівень швидкості транспортного потоку в процентному відношенні від максимально можливої швидкості переміщення автомобілів в конкретних дорожніх умовах).

При дослідженні перехідних процесів в системах більш прийнятною є друга форма запису диференційних рівнянь, коли вони розглядаються в операторній формі [7]. При цьому використовується співвідношення прямого перетворення Лапласа:

$$F(p) = L(Y(t)) = \int_0^{\infty} e^{-pt} Y(t) dt, \quad (4.2)$$

де p – оператор Лапласа; t – час, с; $L(Y(t))$ – операція прямого перетворення Лапласа часової функції $Y(t)$.

Після прямого перетворення Лапласа рівняння (4.1) запишеться у вигляді:

$$a_0 \bar{V} p + a_1 \bar{V} = b_0 \bar{U}. \quad (4.3)$$

У багатьох випадках математичну модель, що описує динамічні властивості елемента системи, подають у вигляді передаточної функції. Передаточна функція – це відношення зображення за Лапласом вихідної величини \bar{V} до зображення за Лапласом вхідної величини \bar{U} . Як приклад, можна отримати передаточну функцію $W(p)$ з рівняння (4.3), якщо це рівняння виразити відносно відношення \bar{V} до \bar{U} :

$$W(p) = \frac{\bar{V}}{\bar{U}} = \frac{b_0}{a_0 p + a_1}. \quad (4.4)$$

Після визначення виду рівняння динаміки далі вирішується задача обчислення його параметрів. Якщо рівняння динаміки має перший порядок, наприклад, як рівняння (4.1), його параметри a_0 , a_1 та b_0 можна визначити за кривою розгону. Але перед цим передаточну функцію $W(p)$ представляють у вигляді:

$$W(p) = \frac{b_0}{a_0 p + a_1} = \frac{K}{Tp + 1}, \quad (4.5)$$

де K та T – відповідно коефіцієнт підсилення та постійна часу елемента системи:

$$K = \frac{b_0}{a_1}, \quad T = \frac{a_0}{a_1}. \quad (4.6)$$

Коефіцієнт підсилення елемента системи K визначається у робочому діапазоні статичної характеристики як відношення вихідної величини Y до вхідної величини X у сталому режимі:

$$K = \frac{Y_{cm}}{X_{cm}}, \quad (4.7)$$

де Y_{cm} – стає значення вихідної величини елемента системи (рис.4.1,б); X_{cm} – стає значення вхідної величини елемента системи після подачі на вхід елемента ступінчастого сигналу.

Постійна часу елемента системи T дорівнює часу, за який вихідна величина Y досягає значення $0,632 Y_{cm}$. Щоб цей час визначити з кривої розгону, необхідно на рівні $0,632 Y_{cm}$ провести пряму лінію паралельно до осі абсцис

(пунктирна лінія на рис.4.1,б) до перетину з кривої розгону (точка A). Далі з точки перетину A на ось абсцис опускається перпендикуляр (пунктирна лінія на рис.4.1,б) та визначається час t_0 , за який вихідна величина Y досягає значення $0,632Y_{cm}$ ($T = t_0$).

Найпростішим способом оцінки точності ідентифікації динамічних характеристик елемента транспортної системи є обчислення інтегрального показника відносних відхилень точок кривої розгону від кривої перехідного процесу. Для цього можна використати формулу (3.4), в якій замість u_i підставляються координати точок кривої розгону по осі ординат, а замість $f(x_i)$ – координати точок теоретичної кривої перехідного процесу по осі ординат (для обох випадків беруться однакові координати по осі абсцис x_i). Точність ідентифікації динамічних характеристик елемента системи є практично прийнятною, якщо інтегральний показник відносних відхилень точок кривої розгону від кривої перехідного процесу складає менше 10%.

Приклад виконання роботи

Завдання. В таблиці 4.1 наведена отримана експериментальним шляхом інформація про зміну u часі t середньої просторової швидкості транспортного потоку V після різкої зміни керуючого впливу від АСКДР з 0% до 100%.

Таблиця 4.1

Координати точок кривої розгону

t, c	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$V, км/г$	0	30,1	49,8	57	62,8	66,5	68	68,6	69,5	69,8	69,8	69,9

Прийнявши за рівняння динаміки елемента транспортної системи, який представляє собою транспортний потік, диференційне рівняння першого порядку із нульовим порядком правої частини, розрахувати за кривою розгону коефіцієнт підсилення та постійну часу елемента (використати MathCad).

За допомогою оператора “invlaplace” отримати функцію, що описує зміну u часі середньої просторової швидкості транспортного потоку та побудувати графік цієї функції (графік функції перехідного процесу). На цьому ж графіку відобразити точки експериментальних замірів кривої розгону.

Оцінити точність ідентифікації динамічних характеристик елемента транспортної системи через відносні похибки, які характеризують віддаленість точок кривої розгону від кривої перехідного процесу. Зробити висновки.

Розв’язок. Нижче приведена програма в математичному пакеті MathCad, в якій реалізований розрахунок коефіцієнта підсилення та постійної часу

елемента системи, знайдена функція перехідного процесу та побудований її графік.

Програма 4.1

Ідентифікація динамічних характеристик елемента транспортної системи

Визначення коефіцієнта підсилення та постійної часу елемента системи

Введемо вхідні дані та координати точок заданої кривої розгону:

Керуючий сигнал від АСКДР: $X := 100$

Кількість точок кривої розгону: $n := 12$ $i := 0..n - 2$

Крок заміру швидкості транспортного потоку у часі: $\Delta t := 10$

Вектор часу: $tt_0 := 0$ $tt_{i+1} := tt_i + \Delta t$ $t := 0, 0.1..110$

Вектор середньої просторової швидкості транспортного потоку

$V := (0 \ 30.1 \ 49.8 \ 57 \ 62.8 \ 66.5 \ 68 \ 68.6 \ 69.5 \ 69.8 \ 69.8 \ 69.9)$

$V := V^T$

Розрахуємо коефіцієнт підсилення елемента системи:

$$K := \frac{V_{n-1}}{X} \quad K = 0.699$$

Розрахуємо постійну часу елемента системи (при цьому зміну швидкості транспортного потоку у часі між точками заміру апроксимуємо лінійними функціями):

$$0.632 V_{n-1} = 44.177$$

Значення швидкості транспортного потоку 44,2 км/г знаходиться між другим та третім замірами. Обчислимо катангенс кута нахилу цієї ділянки кривої розгону:

$$\operatorname{ctg} \alpha := \frac{tt_2 - tt_1}{V_2 - V_1} \quad \operatorname{ctg} \alpha = 0.508$$

Для визначення часу досягнення швидкістю значення 44,2 км/г необхідно до часу другого заміру прибавити добуток катангенса кута нахилу поточної ділянки кривої розгону та різниці значення швидкості 44,2 км/г і значення швидкості протягом другого заміру:

$$T := tt_1 + (0.632 V_{n-1} - V_1) \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad T = 17.146$$

Використовуючи оператор `invlaplace`, знайдемо функцію перехідного процесу та побудуємо її графік із точками експериментальних замірів швидкості транспортного потоку кривої розгону (при цьому врахуємо, що зображення по Лапласу східчастого сигналу X дорівнює X/p):

За формулою(4.5)) введемо передаточну функцію елемента системи:

$$W(p) := \frac{K}{T \cdot p + 1}$$

$$V_{\text{теор}}(t) := \frac{W(p) \cdot X}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow -69.9 \exp(-5.83 \cdot 10^{-2} \cdot t) + 69.9$$

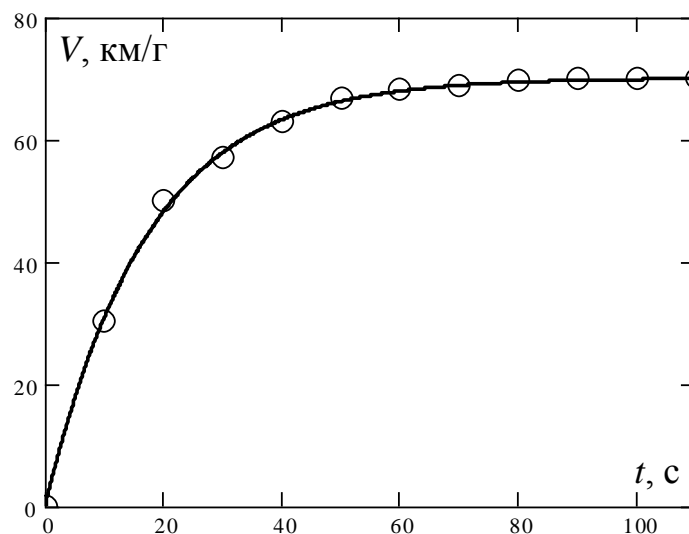


Рис.4.2. Графіки рівняння динаміки елемента системи (суцільна чорна лінія) та кривої розгону (маркери у вигляді кіл)

Як видно з рис.4.2, графік функції перехідного процесу (рівняння динаміки) проходить дуже близько від точок кривої розгону. Щоб кількісно оцінити точність ідентифікації динамічних характеристик елемента системи, розрахуємо в пакеті MathCad інтегральний показник відносних відхилень точок кривої розгону від кривої перехідного процесу.

Програма 4.2

Розрахунок в пакеті MathCad інтегрального показника відносних відхилень точок кривої розгону від кривої перехідного процесу

Розрахунок інтегрального показника відносних відхилень точок кривої розгону від кривої перехідного процесу (рівняння динаміки)

Використовуючи формулу ((3.4) визначимо інтегральний показник відносних відхилень точок кривої розгону від кривої перехідного процесу

$$\Delta := \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \frac{|V_i - V_{\text{теор}}(t_{t_i})|}{V_i}}{n} \cdot 100$$

$$\Delta = 0.826$$

З результатів розрахунку в пакеті MathCad можна бачити, що сумарна відносна похибка, яка характеризує віддаленість точок кривої розгону від

кривої перехідного процесу, менше 1%. Це дає підстави зробити висновок про високу точність визначення виду рівняння динаміки та його параметрів.

Похибка при ідентифікації динамічних характеристик елемента системи викликана, з однієї сторони, діями під час замірів збурень із зовнішнього середовища (зміна дорожніх умов із-за неврахованих автомобілів, пішоходів, тощо), з другої – зміною властивостей елементів системи або появою нових неврахованих зв'язків між ними (наприклад, поломка автомобіля чи аварія). Також похибка при ідентифікації виникла при апроксимації дискретної зміни у часі середньої просторової швидкості транспортного потоку прямими лініями, в той час, як між двома замірами швидкість могла змінюватись за іншим законом.

Варіанти завдань

Варіанти завдань наведені в табл.4.2. Для всіх варіантів значення керуючого впливу від АСКДР після його зміни прийняти рівним 100%.

Таблиця 4.2

Варіанти завдань до виконання лабораторної роботи №4

Вар	t	0	2	4	6	8	10	12	14	16
1	V	4	18	25	31	32,5	34	34,3	34,6	35
2	t	0	3	6	9	12	15	18	21	24
	V	7	24	32	36	39	40	41	41,7	42
3	t	0	4	8	12	16	20	24	28	32
	V	10	30	40	45	47	49	49,5	50	50
4	t	0	4	8	12	16	20	24	28	32
	V	12	33	44	50	54	55	56	56,5	57
5	t	0	6	12	18	24	30	36	42	48
	V	12	27	38	44	50	52	54	55	55,5
6	t	0	8	16	24	32	40	48	56	64
	V	15	52	75	90	100	107	110	111	114
7	t	0	6	12	18	24	30	36	42	48
	V	10	38	57	70	80	85	88	90	92
8	t	0	6	12	18	24	30	36	42	48
	V	20	40	56	67	75	80	83	86	89
9	t	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	V	40	46	51	54	56	57	58	58,5	59,2
10	t	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	V	30	34	37	40	42	44	44,7	45,5	46,5
11	t	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	V	50	60	68	73	76	77,5	78,5	79	79,5
12	t	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	V	70	81	89	95	100	102	105	106	108
13	t	0	3	6	9	12	15	18	21	24
	V	35	52	62	66	68	69	69,6	69,8	69,9
14	t	0	3	6	9	12	15	18	21	24
	V	25	36	42	46	48	49	49,5	49,7	49,8

15	t	0	3	6	9	12	15	18	21	24
	V	20	26	30	34	35,4	36,6	37,5	38	38,6
16	t	0	3	6	9	12	15	18	21	24
	V	10	21	29	35	39	42	44	45,3	47
17	t	0	4	8	12	16	20	24	28	32
	V	15	35	49	56	60	62	63	64	64,5
18	t	0	4	8	12	16	20	24	28	32
	V	25	43	55	63	68	72	75	76,1	77,5
19	t	0	4	8	12	16	20	24	28	32
	V	35	53	64	72	77	79	81	83	83,5
20	t	0	4	8	12	16	20	24	28	32
	V	30	54	68	77	82	85	87	88	89
21	t	0	5	10	15	20	25	30	35	40
	V	20	46	61	70	76	80	82	83	84
22	t	0	5	10	15	20	25	30	35	40
	V	25	50	67	77	84	88	90	92	93
23	t	0	5	10	15	20	25	30	35	40
	V	5	32	50	62	70	75	78	80,2	82
24	t	0	5	10	15	20	25	30	35	40
	V	10	35	50	58	63	66	68	69	69,5
25	t	0	5	10	15	20	25	30	35	40
	V	40	66	79	87	90	93	94	94,5	95

Запитання для контролю

1. Що називається рівнянням динаміки елемента системи?
2. Як визначається крива розгону елемента системи?
3. Який математичний апарат використовується для опису перехідних процесів в системі?
4. Як відбувається перехід до операторної форми запису диференціальних рівнянь?
5. Дайте визначення передаточної функції елемента системи.
6. Порядок обчислення параметрів рівняння динаміки елемента транспортної системи за кривою розгону.
7. За яких причин має місце похибка при ідентифікації динамічних характеристик елемента транспортної системи?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ТРАНСПОРТНІЙ СИСТЕМІ

Мета роботи: Провести дослідження перехідних процесів в транспортній системі за допомогою її динамічної моделі.

Постановка задачі

Використовуючи елемент транспортної системи, що описує процес зміни у часі середньої просторової швидкості транспортного потоку (взяти із практичної роботи №4), розробити динамічну модель автоматичної системи стабілізації швидкості транспортного потоку.

На основі створеної моделі транспортної системи дослідити вплив затримки реалізації керуючого впливу системи на перерегулювання швидкості транспортного потоку.

Порядок виконання роботи

1. З урахуванням динамічної моделі процесу зміни у часі середньої просторової швидкості транспортного потоку, що визначена в практичній роботі №4, розробити динамічну модель автоматичної системи стабілізації швидкості транспортного потоку у вигляді системи різницевих рівнянь. Реалізувати модель в математичному пакеті MathCad.

2. За допомогою динамічної моделі автоматичної системи стабілізації швидкості транспортного потоку визначити перерегулювання швидкості транспортного потоку для різних значень затримки реалізації керуючого впливу системи (діапазон зміни затримки взяти від 0 до 40 секунд із кроком 5 секунд).

3. Побудувати графічну залежність перерегулювання швидкості транспортного потоку від затримки реалізації керуючого впливу системи та зробити висновки.

Зміст звіту

1. Назва, мета й завдання практичної роботи.

2. Структурна схема автоматичної системи стабілізації швидкості транспортного потоку та опис алгоритму формування керуючого впливу системи.

3. Програма в математичному пакеті MathCad (із коментарями), в якій реалізована динамічна модель автоматичної системи стабілізації швидкості транспортного потоку у вигляді системи різницевих рівнянь. Графік перехідного процесу на виході транспортної системи із нульовою затримкою реалізації керуючого впливу та з затримкою 20 с (на графіку також показати перехідний процес на виході окремо взятого об'єкту керування).

4. Розрахунок в пакеті MathCad перерегулювання швидкості транспортного потоку для різних значень затримки реалізації керуючого впливу. Графічна залежність перерегулювання швидкості транспортного потоку від затримки реалізації керуючого впливу системи.

5. Висновок про вплив затримки реалізації керуючого впливу системи на перерегулювання швидкості транспортного потоку.

Теоретичні відомості

Побудова автоматичних систем керування технологічними процесами із-за значної складності об'єктів керування відбувається із використанням системного підходу. Для побудови систем автоматичного керування транспортними об'єктами активно використовують елементи теорії транспортних систем. Це дозволяє дослідити об'єкт керування на глибокому рівні, врахувати основні особливості його роботи та, за рахунок цього,

створити ефективну систему автоматичного керування транспортними процесами.

Якщо систему автоматичного керування транспортними процесами розглядати в рамках теорії систем, для неї будуть притаманні такі властивості, як ієрархічність структури, емерджентність та ін. [3]. Наприклад, в автоматичних системах керування дорожнім рухом за виконуючими функціями можна виділити системи верхнього рівня та низького. Задачею систем верхнього рівня є визначення оптимальної стратегії взаємозалежного керування транспортними засобами відразу на декількох перехрестях на великій території з урахуванням характеристик транспортних потоків. Такі системи формують завдання для систем низького рівня (локальних систем), які реалізують незалежне керування світлофорними об'єктами, електронними табло на окремих перехрестях, або групами автомобілів на окремих вулицях.

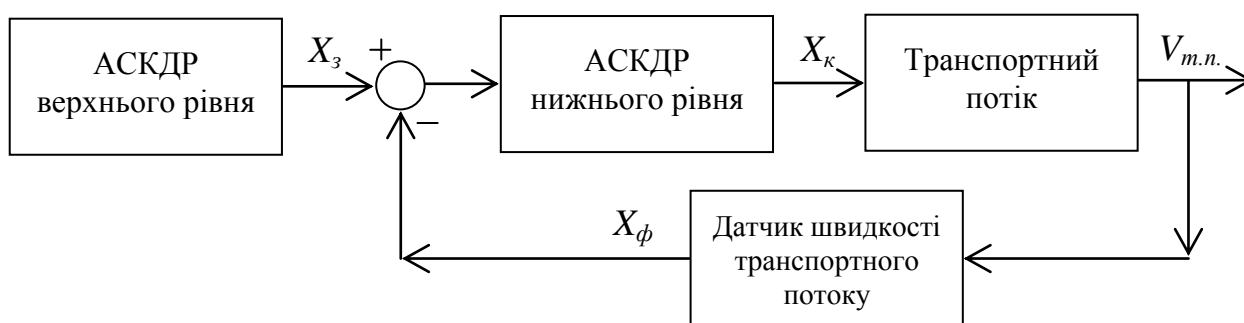


Рис.5.1. Структурна схема автоматичної системи керування дорожнім рухом нижнього рівня

На рис.5.1 зображена структурна схема АСКДР нижнього рівня, яка реалізує найбільш поширений вид автоматичного керування серед систем нижнього рівня – стабілізацію керованої величини (в даному випадку – стабілізацію середньої просторової швидкості транспортного потоку $V_{m.n.}$, км/г). На схемі X_z – керуючий сигнал від АСКДР верхнього рівня у вигляді заданої швидкості транспортного потоку, яка має підтримуватися АСКДР нижнього рівня (задається у процентному відношенні від максимально можливої швидкості переміщення автомобілів згідно транспортним характеристикам конкретної дороги), %; X_ϕ – фактична швидкість транспортного потоку, %; X_k – керуючий сигнал від АСКДР нижнього рівня на автомобілі транспортного потоку, %.

Розробимо динамічну модель АСКДР нижнього рівня. Як видно із рис.5.1, керуючий сигнал від АСКДР нижнього рівня на автомобілі транспортного потоку є функцією відхилення фактичної швидкості транспортного потоку від заданої:

$$X_k = f(X_z - X_\phi).$$

В практичній роботі при дослідженні перехідних процесів в системі приймається найпростіший (пропорційний) алгоритм формування керуючого сигналу X_k :

$$X_k = K_{рег} (X_3 - X_\phi),$$

де $K_{рег}$ – коефіцієнт підсилення регулятора (оскільки сигнал X_k змінюється в тому ж самому діапазоні і має таку саму розмірність, як і сигнали X_3 та X_ϕ , то коефіцієнт підсилення регулятора приймається рівним одиниці: $K_{рег}=1$).

В блок «Транспортний потік» закладається рівняння динаміки, що описує залежність між просторовою швидкістю транспортного потоку та керуючим впливом АСКДР нижнього рівня в перехідному режимі. Це рівняння визначене в лабораторній роботі №4 (формула (4.5)).

Приймаємо, що при обробці сигналу о фактичній швидкості транспортного потоку в АСКДР нижнього рівня та передачі керуючого радіосигналу на автомобілі відсутні перехідні процеси та інерційності, оскільки зміна електричного та радіосигналу у часі відбувається набагато швидше, ніж зміна швидкості переміщення автомобіля. За тією ж причиною нехтуємо перехідним процесом у датчику, що вимірює швидкість автомобілів транспортного потоку. Тому блок «Датчик швидкості транспортного потоку», як і блок «АСКДР нижнього рівня», представляємо у вигляді підсилювача з коефіцієнтом підсилення:

$$K_D = \frac{X_\phi}{V_{m.n.}}, \frac{\% \cdot \text{с}}{\text{км}}. \quad (5.1)$$

Отже, структурна схема динамічної моделі АСКДР нижнього рівня буде виглядати таким чином:

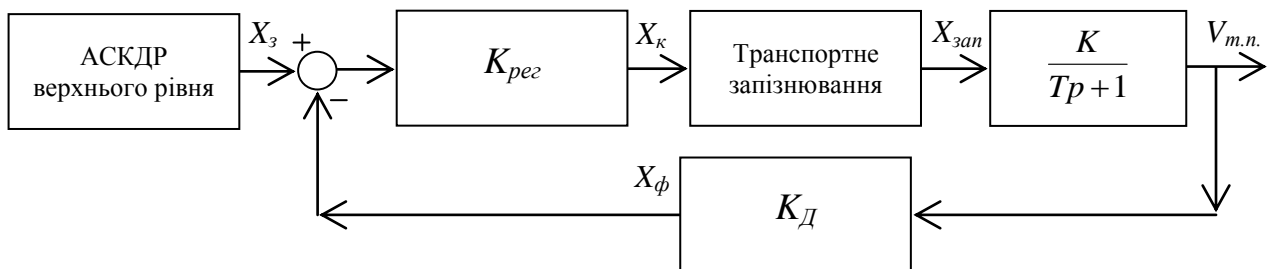


Рис.5.2. Структурна схема динамічної моделі автоматичної системи керування дорожнім рухом нижнього рівня

На рис.5.2 блок «Транспортний потік» (рис.5.1) представлений двома ланками: блоком «Транспортне запізнювання» та рівнянням динаміки (4.5). Транспортне запізнювання викликано сукупністю заходів, які необхідно провести для синхронного та небезпечного початку зміни швидкості групи автомобілів. По перше, всі водії автомобілів повинні бути сповіщені про команду із АСКДР нижнього рівня щодо зміни швидкості автомобіля. Вони повинні дати згоду на перевід автомобіля в автоматичний режим керування швидкістю переміщення із передачею відповідного сигналу до АСКДР нижнього рівня. Після отримання контролю над усіма автомобілями в групі АСКДР нижнього рівня віддає команду всім бортовим автоматичним системам автомобілів у групі на стабілізацію відстаней між автомобілями на безпечному

рівні. Тільки після того, як всі бортові автоматичні системи автомобілів в потоці сповістять про безпечну відстань між автомобілями, починається синхронна зміна швидкостей переміщення всіх автомобілів в потоці.

В блок «Транспортне запізнювання» закладено систему рівнянь, в яких описаний аналітичний зв'язок між сигналами X_k та X_{zan} :

$$X_{zan}(t) = \begin{cases} X_{noch}, & \text{якщо } t \leq \tau; \\ X_k(t - \tau), & \text{якщо } t > \tau, \end{cases} \quad (5.2)$$

де X_{noch} – керуючий сигнал від АСКДР нижнього рівня X_k на момент надходження сигналу від АСКДР верхнього рівня про зміну швидкості транспортного потоку, %; τ – час транспортного запізнювання, с; t – час моделювання, с.

Сформуємо систему рівнянь для розрахунку перехідних процесів в досліджуваній системі. Для цього використаємо наближення:

$$\frac{dV_{m.n.}}{dt} \approx \frac{\Delta V_{m.n.}}{\Delta t} = \frac{V_{m.n.}(i+1) - V_{m.n.}(i)}{\Delta t},$$

де Δt – крок дискретизації безперервного сигналу $V_{m.n.}$ у часі (приймається рівним $0,01 \cdot T$), с; $V_{m.n.}(i+1)$ та $V_{m.n.}(i)$ – швидкість транспортного потоку, відповідно, на наступному кроці моделювання та на поточному, км/г; i – номер кроку моделювання.

Після застосування вищенаведеного наближення по відношенню до рівняння динаміки (4.5) згідно із структурною схемою динамічної моделі системи на рис.5.2 отримуємо різницеве рівняння для визначення швидкості транспортного потоку на наступному кроці моделювання:

$$\begin{aligned} T \frac{dV_{m.n.}}{dt} + V_{m.n.} &= K \cdot X_{zan}; & T \frac{V_{m.n.}(i+1) - V_{m.n.}(i)}{\Delta t} + V_{m.n.}(i) &= K \cdot X_{zan}(i); \\ V_{m.n.}(i+1) &= \left(\frac{K}{T} X_{zan}(i) - \frac{1}{T} V_{m.n.}(i) \right) \Delta t + V_{m.n.}(i). \end{aligned} \quad (5.3)$$

З урахуванням рівнянь (5.2) та (5.3) за структурною схемою динамічної моделі системи на рис.5.2 сформуємо систему рівнянь для розрахунку значень сигналів в системі на наступному кроці моделювання:

$$\left\{ \begin{aligned} X_k(i+1) &= K_{pez} (X_z(i+1) - X_\phi(i)); \\ X_{zan}(i+1) &= \begin{cases} X_k(0), & \text{якщо } i \leq \tau; \\ X_k(i - \tau), & \text{якщо } i > \tau; \end{cases} \\ V_{m.n.}(i+1) &= \left(\frac{K}{T} X_{zan}(i) - \frac{1}{T} V_{m.n.}(i) \right) \Delta t + V_{m.n.}(i); \\ X_\phi(i+1) &= K_D \cdot V_{m.n.}(i+1). \end{aligned} \right. \quad (5.4)$$

У результаті розрахунку швидкості транспортного потоку за системою рівнянь (5.4) отримуємо перехідну характеристику на виході системи – зміну керованої величини у часі в перехідному режимі (рис.5.3).

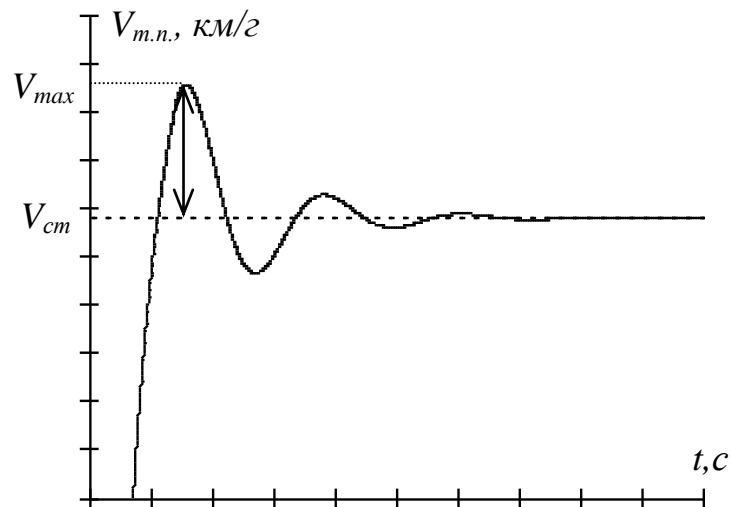


Рис.5.3. Перехідний процес на виході транспортної системи

Одним із важливих показників якості перехідних процесів на виході систем є перерегулювання керованої величини – різниця між максимальним значенням керованої величини V_{max} та її сталим значенням V_{cm} (див. рис.5.3). Перерегулювання керованої величини є небажаним явищем в технічних системах. Воно характеризується відносним показником σ , який знаходиться за формулою:

$$\sigma = \frac{V_{max} - V_{cm}}{V_{cm}} 100, \%. \quad (5.5)$$

Для більшості технологічних процесів допускається перерегулювання керованої величини в межах 5%.

Приклад виконання роботи

Завдання. В прикладі практичної роботи №4 отримано рівняння динаміки, що описує залежність між просторовою швидкістю транспортного потоку та керуючим впливом АСКДР нижнього рівня в перехідному режимі. На основі цього рівняння розробити динамічну модель автоматичної системи стабілізації швидкості транспортного потоку у вигляді системи різницевих рівнянь. Реалізувати модель в математичному пакеті MathCad.

За допомогою динамічної моделі автоматичної системи стабілізації швидкості транспортного потоку визначити перерегулювання швидкості транспортного потоку для різних значень затримки реалізації керуючого впливу системи (діапазон зміни затримки взяти від 0 до 40 секунд із кроком 5 секунд).

Побудувати графічну залежність перерегулювання швидкості транспортного потоку від затримки реалізації керуючого впливу системи та зробити висновки.

Дослідження в пакеті MathCad перехідного процесу на виході автоматичної системи стабілізації швидкості транспортного потоку

Параметри рівняння динаміки, що описує процес зміни у часі середньої просторової швидкості транспортного потоку (об'єкт керування):

$$K := 0.699 \quad T := 17.146 \quad n := 0..2000 \quad \Delta t := 0.01 \cdot T$$

Коефіцієнт підсилення АСКДР нижнього рівня:

$$K_{\text{reg}} := \frac{100}{100} \quad K_{\text{reg}} = 1$$

За формулою(5.1)) розрахуємо коефіцієнт підсилення датчика швидкості транспортного потоку:

$$K_D := \frac{100}{69.9} \quad K_D = 1.431$$

За допомогою системи рівнян(5.4)6) проведемо моделювання АСКДР нижнього рівня з ціллю отримання перехідного процесу на виході системи для нульової затримки реалізації керуючого сигналу від АСКДР (нульового транспортного запізнювання).

$$V_0(n) := \begin{cases} V1 \leftarrow 0 \\ V1_{\text{old}} \leftarrow 0 \\ Xz \leftarrow 100 \\ \text{for } i \in 0..n \\ \quad \begin{cases} V1 \leftarrow \frac{K \cdot K_{\text{reg}} \cdot \Delta t}{T} \cdot Xz - \frac{K \cdot K_{\text{reg}} \cdot K_D \cdot \Delta t}{T} \cdot V1_{\text{old}} - \frac{\Delta t}{T} \cdot V1_{\text{old}} + V1_{\text{old}} \\ V \leftarrow V1_{\text{old}} \\ V1_{\text{old}} \leftarrow V1 \end{cases} \\ V \end{cases}$$

За допомогою системи рівнян(5.4)6) проведемо моделювання АСКДР нижнього рівня з ціллю отримання перехідного процесу на виході системи для затримки реалізації керуючого сигналу від АСКДР, що дорівнює 20 с.

Час затримкиреалізації керуючого сигналу

$$\tau := 20 \quad \frac{20}{\Delta t} = 116.645$$

$$V_20(n) := \begin{cases} Xz_{\text{ap}} \leftarrow 0 \\ V1 \leftarrow 0 \\ Xz_{\text{ap_old}} \leftarrow 0 \\ V1_{\text{old}} \leftarrow 0 \\ Xz \leftarrow 100 \\ \text{for } i \in 0..n \\ \quad \begin{cases} Xk_i \leftarrow K_{\text{reg}} \cdot (Xz - V1_{\text{old}} + K_D) \\ Xz_{\text{ap}} \leftarrow \begin{cases} 0 & \text{if } i < 117 \\ Xk_{i-117} & \text{if } i \geq 117 \end{cases} \\ V1 \leftarrow \frac{K \cdot \Delta t}{T} \cdot Xz_{\text{ap_old}} - \frac{\Delta t}{T} \cdot V1_{\text{old}} + V1_{\text{old}} \\ V \leftarrow V1_{\text{old}} \\ Xz_{\text{ap_old}} \leftarrow Xz_{\text{ap}} \\ V1_{\text{old}} \leftarrow V1 \end{cases} \\ V \end{cases}$$

Для різних значень часу затримки реалізації керуючого сигналу від АСКДР нижнього рівня визначимо відносний показник перерегулювання швидкості транспортного потоку, який характеризує коливальність перехідного процесу на виході системи

Затримка реалізації
керуючого сигналу, с

Перерегулювання
швидкості транспортного
потoku, км/г

$$Zat_0 := 5$$

$$Per_0 := 0$$

$$Zat_1 := 10$$

$$Per_1 := 15.559$$

$$Zat_2 := 15$$

$$Per_2 := 33.352$$

$$Zat_3 := 20$$

$$Per_3 := 47.794$$

$$Zat_4 := 25$$

$$Per_4 := 59.599$$

$$Zat_5 := 30$$

$$Per_5 := 69.026$$

$$Zat_6 := 35$$

$$Per_6 := 76.447$$

$$Zat_7 := 40$$

$$Per_7 := 82.178$$

Результати виконання Програми 5.1:

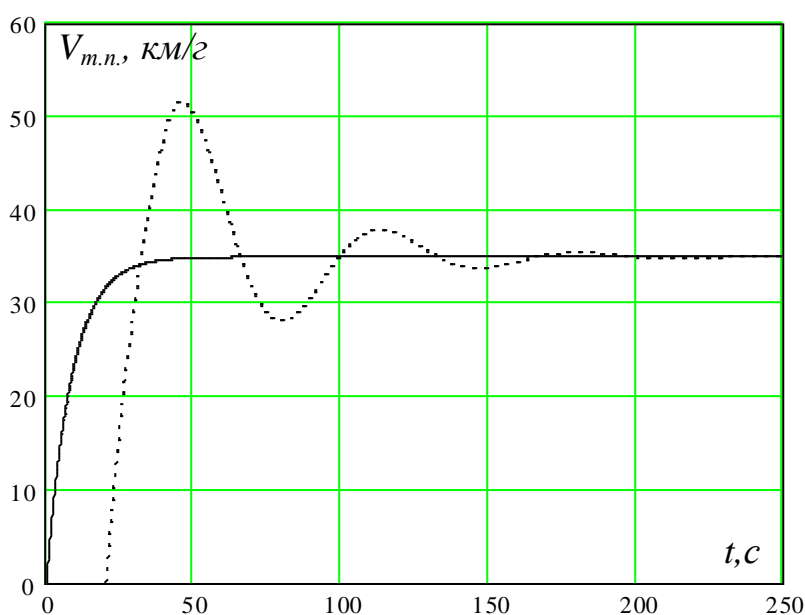


Рис.5.4. Перехідний процес на виході АСКДР нижнього рівня за умови нульової затримки реалізації керуючого сигналу (суцільна лінія) та затримки, що дорівнює 20 с (пунктирна лінія)

Як видно із рис.5.4, за умови нульового транспортного запізнювання перерегулювання керованої величини на виході системи відсутнє – середня просторова швидкість транспортного потоку змінюється у часі за експоненціальним законом, що є бажаним для технічних систем. При затримці реалізації керуючого сигналу від АСКДР нижнього рівня на 20 с спостерігається значне погіршення перехідного процесу – з'являється перерегулювання швидкості транспортного потоку та істотно збільшується коливання керованої величини у часі при її виході на нове задане значення.

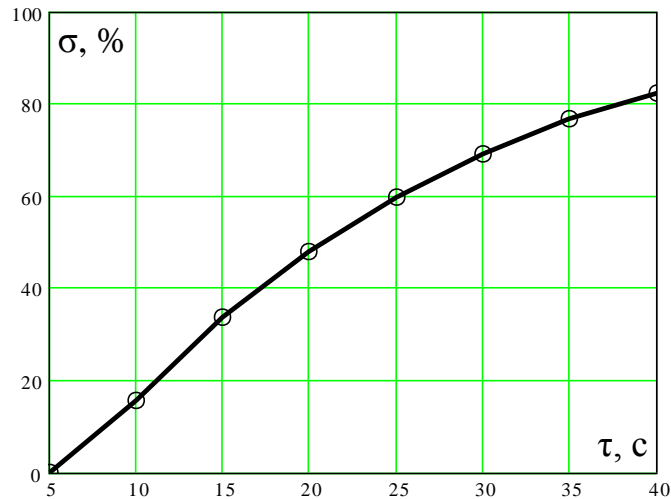


Рис.5.5. Залежність перерегулювання швидкості транспортного потоку від часу транспортного запізнювання

Із рис.5.5 можна зробити наступні висновки:

- до 5 с запізнювання реалізації керуючого сигналу від АСКДР нижнього рівня не викликає перерегулювання швидкості транспортного потоку;
- до 25 с запізнювання реалізації керуючого сигналу спостерігається практично лінійна залежність перерегулювання швидкості транспортного потоку від часу транспортного запізнювання. Далі відбувається поступова стабілізація перерегулювання швидкості транспортного потоку на рівні 85%.

Варіанти завдань

Вхідними даними для виконання практичної роботи №5 є параметри рівняння динаміки елемента транспортної системи, які визначені в практичній роботі №4.

Запитання для контролю

1. Які задачі виконують системи верхнього та нижнього рівнів в автоматичних системах керування дорожнім рухом?
2. Опишіть принцип роботи АСКДР нижнього рівня за її структурною схемою.
3. Опишіть алгоритм формування керуючого сигналу від АСКДР нижнього рівня.
4. Чим викликане транспортне запізнювання в автоматичній системі стабілізації середньої просторової швидкості транспортного потоку?
5. Яким чином формується система різницевих рівнянь для визначення швидкості транспортного потоку на наступному кроці моделювання?
6. За якою формулою обчислюється відносний показник перерегулювання керованої величини?
7. Використовуючи динамічну модель АСКДР нижнього рівня визначте перерегулювання швидкості транспортного потоку для часу транспортного запізнювання 50 с.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 3008-98. Документація, звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – К. : Держстандарт, 1998. – 37 с.
2. СВО НГУ НМЗ-05. Нормативно-методичне забезпечення навчального процесу / Упоряд. : В.О. Салов, Т.В. Журавльова, О.М. Кузьменко та ін. – Д. : Національний гірничий університет, 2005. – 138 с.
3. Основы теории транспортных систем / Учебное пособие П. Ф. Горбачев, И. А. Дмитриев. – Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2002. – 202 с.
4. Очков В. Ф. Mathcad 14 для студентов и инженеров. – С.-Пб. : БХВ – Петербург, 2007. – 368 с.
5. Татт У. Теория графов : Пер. с англ. – М. : Мир, 1988. – 424 с.
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Системний аналіз” / Уклад. І. В. Новицький, М. М. Одновол. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. – 46 с.
7. Шаруда В.Г., Ткачов В.В., Фількін М.П. Методи аналізу і синтезу систем автоматичного керування : Навч. посіб. – Д., Нац. гірнич. ун-т, 2008. – 543 с.

Таран Ігор Олександрович
Бубліков Андрій Вікторович
Клименко Ірина Юріївна

ОСНОВИ ТЕОРІЇ СИСТЕМ ТА УПРАВЛІННЯ.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ
ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ
НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ 0701 ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Підписано до друку 16.05.2012. Формат 30х42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк..
Обл.-вид. арк. Тираж прим. Зам. №

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.