

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ОСНОВИ АЛГОРИТМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАДАЧ

ЗБІРНИК ЗАДАЧ ДО ВИКОНАННЯ МОДУЛЬНОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра,
які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» освітньою програмою «Управління, захист та
автоматизація енергосистем»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Основи алгоритмізації електроенергетичних задач: збірник задач до виконання модульної контрольної роботи [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Управління, захист та автоматизація енергосистем» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Д.Б. Банін, М.Д. Банін, А.Б.Нестерко, Г.О.Труніна. - Електронні текстові данні (1 файл: 1,33 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 22 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 3 від 02.12.2022 р.)
за поданням Вченої ради факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол №10
від 20.06.2022 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

ОСНОВИ АЛГОРИТМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАДАЧ ЗБІРНИК ЗАДАЧ ДО ВИКОНАННЯ МОДУЛЬНОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Укладачі: *Банін Дмитро Борисович, канд. техн. наук, доц.
Банін Максим Дмитрович
Нестерко Артем Борисович, канд. техн. наук, доц.
Труніна Ганна Олексіївна, канд.техн.наук*

Відповідальний
редактор *Яндульський О.С., д.т.н., проф.*

Рецензент: *Чижевський В.В., к.т.н., доц.*

В збірнику наведено індивідуальні завдання, що виносяться на модульний контроль. Наведено приклад вирішення задач. Завдання базуються на знаннях студентів, отриманих при вивченні лекційного курсу «Основи алгоритмізації електроенергетичних задач», що включають в себе принципи розробки алгоритмів вирішення електроенергетичних задач з використанням математичного апарату та сучасного програмного забезпечення.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.

Основні теоретичні відомості

Завдання, які виносяться на модульну контрольну роботу в повному обсязі відповідають темам, розглянутим в лекційному курсі:

- Складання квадратної матриці провідностей Y .
- Формування індексної моделі та індексно-циркулярної моделі графу
- Трикутна факторизація квадратної матриці: перемноження матриць $L*U=A$ та визначення нових заповнень.
- Графічна інтерпретація подвійної факторизації для графу з вихідною нумерацією, визначення кількості нових заповнень.
- Графічна оптимальна нумерацію графу та визначення кількості нових заповнень.

Зміст

Приклад вирішення задач.....	5
1. Складання індексно-циркулярної моделі графа мережі	5
2. Графічна інтерпретація подвійної факторизації. Оптимальна нумерація графу.....	7
Індивідуальні завдання	17

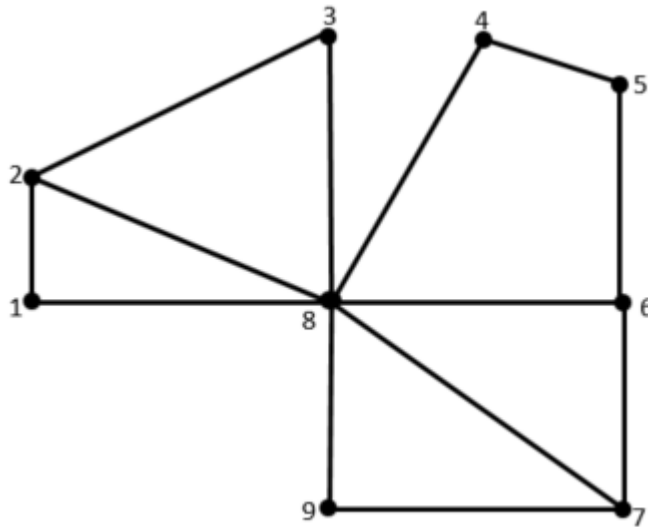
Приклад вирішення задач

1. Складання індексно-циркулярної моделі графа мережі

Завдання:

Для заданої схеми скласти індексно-циркулярну модель.

Виконання



Складено квадратну матрицю провідностей Y .

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3	1.2						1.8	
2	2.1	7.2	2.3					2.8	
3		3.2	7					3.8	
4				9.3	4.5			4.8	
5				5.4	11	5.6			
6					6.5	20	6.7	6.8	
7						7.6	23.3	7.8	7.9
8	8.1	8.2	8.3	8.4		8.6	8.7	59.2	8.9
9							9.7	9.8	19.5

Матриця – несиметрична.

Сформовано індексну модель графу:

IN – індекс початку гілок; JK – індекс кінця гілок; IN < JK; D,V,H-одновимірні масиви, що містять в собі дані про діагональ, верхню та нижню трикутну матрицю;

KP-кількість пунктів або вузлів. Для даного випадку KP=9;

KL-кількість гілок, або кількість ненульових елементів у верхній трикутній або у нижній трикутній матриці. Для даного випадку KL=13 .

	IN	JK	D	V	H
1	1	2	3	1,2	2,1
2	1	8	7.2	1,8	8,1
3	2	3	7	2,3	3,2
4	2	8	9.3	2,8	8,2
5	3	8	11	3,8	8,3
6	4	5	20	4,5	5,4
7	4	8	23.3	4,8	8,4
8	5	6	59.2	5,6	6,5
9	6	7	19.5	6,7	7,6
10	6	8		6,8	8,6
11	7	8		7,8	8,7
12	7	9		7,9	9,7
13	8	9		8,9	9,8

1. Сформовано індексно-циркулярну модель графу:

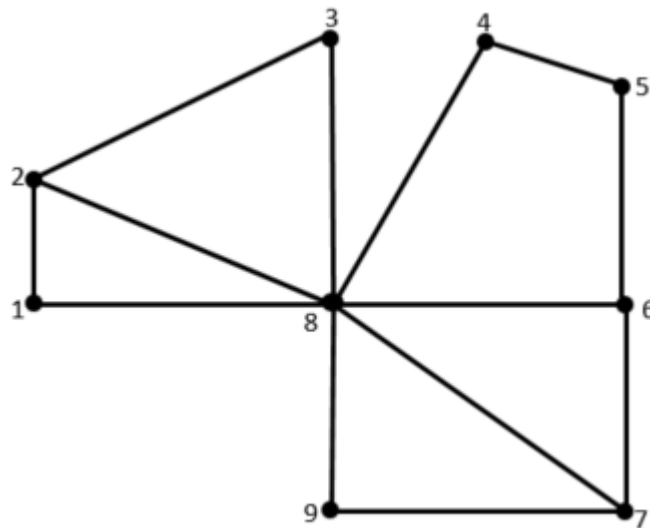
	IN	JK	INS	KI
1	1	2	2	1
2	1	8	0	3
3	2	3	4	5
4	2	8	0	6
5	3	8	0	8
6	4	5	7	9
7	4	8	0	11
8	5	6	0	13
9	6	7	10	0
10	6	8	0	
11	7	8	12	
12	7	9	0	
13	8	9	0	

2. Графічна інтерпретація подвійної факторизації. Оптимальна нумерація графу

Завдання:

Провести оптимальну нумерацію вузлів, визначити нові заповнення.

Виконання:



Виконання:

Складено квадратну матрицю провідностей Y .

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3	1.2						1.8	
2	2.1	7.2	2.3					2.8	
3		3.2	7					3.8	
4				9.3	4.5			4.8	
5				5.4	11	5.6			
6					6.5	20	6.7	6.8	
7						7.6	23.3	7.8	7.9
8	8.1	8.2	8.3	8.4		8.6	8.7	59.2	8.9
9							9.7	9.8	19.5

Матриця – несиметрична.

Рис. 1 – Вихідна схема та матриця

- Перше перетворення. Виключено 1 вузол. Нові заповнення відсутні.

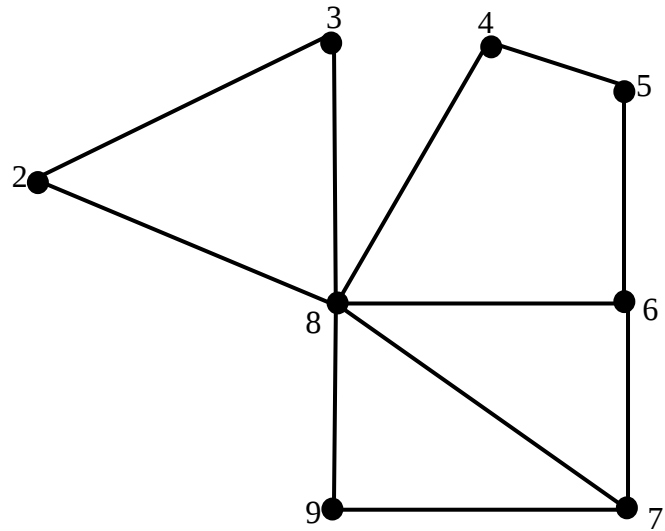


Рис. 2 – Відображення графу після 1 кроку факторизації

- Виконано друге перетворення. Виключено 2 вузол. Нові заповнення відсутні.

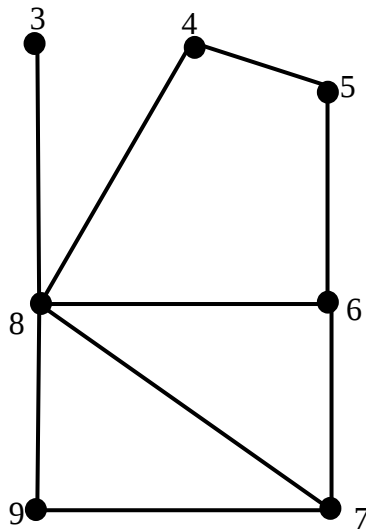


Рис. 3 – Відображення графу після 2 кроку факторизації

- Третє перетворення. Виключено 3 вузол. Нові заповнення відсутні.

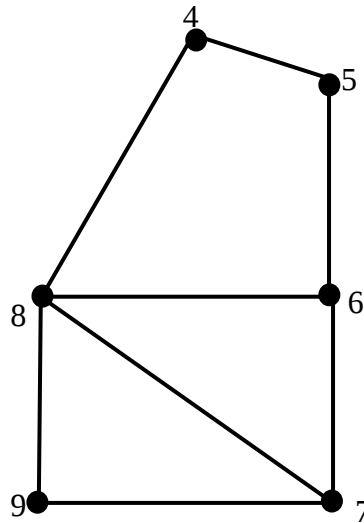


Рис. 4 – Відображення графу після 3 кроку факторизації

- Четверте перетворення. Виключено 4 вузол. Маємо нове заповнення 5-8.

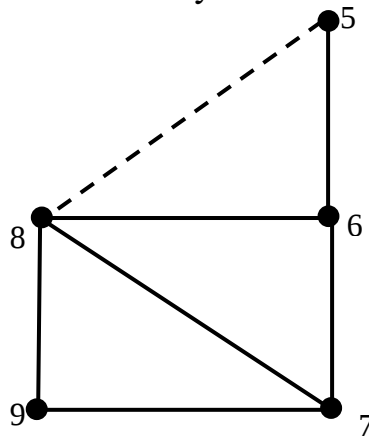


Рис. 5 – Відображення графу після 4 кроку факторизації

- П'яте перетворення. Виключено 5 вузол. Нові заповнення відсутні.

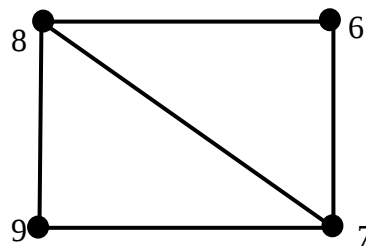


Рис. 6 – Відображення графу після 5 кроку факторизації

- Шосте перетворення. Виключено 6 вузол. Нові заповнення відсутні.

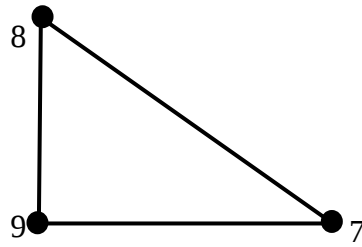


Рис. 7 – Відображення графу після 6 кроку факторизації

- Сьоме перетворення. Виключено 7 вузол. Нові заповнення відсутні.



Рис. 8 – Відображення графу після 7 кроку факторизації

Відмічено нові заповнення на вихідній матриці (взята з к. р. 1). Нові заповнення позначені сірим кольором.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3	1.2						1.8	
2	2.1	7.2	2.3					2.8	
3		3.2	7					3.8	
4				9.3	4.5			4.8	
5				5.4	11	5.6			
6					6.5	20	6.7	6.8	
7						7.6	23.3	7.8	7.9
8	8.1	8.2	8.3	8.4		8.6	8.7	59,2	8.9
9							9.7	9.8	19.5

Сформовано ІСМ для отриманої матриці з врахуванням нових заповнень:

	JN	JK	INS	V	H	D	KI
1	1	2	2	1,2	2,1	3	1
2	1	8	0	1,8	8,1	7,2	3
3	2	3	4	2,3	3,2	7	5
4	2	8	0	2,8	8,2	9,3	6
5	3	8	0	3,8	8,3	11	8
6	4	5	7	4,5	5,4	20	10
7	4	8	0	4,8	8,4	23,3	12
8	5	6	9	5,6	6,5	59,2	14
9	5	8	0	0	0	19,5	0
10	6	7	11	6,7	7,6		
11	6	8	0	6,8	8,6		
12	7	8	13	7,8	8,7		
13	7	9	0	7,9	9,7		
14	8	9	0	8,9	9,8		

1. Виконано графічну оптимальну нумерацію:

$$\gamma = (K \cdot (K - 1) / 2) - \alpha,$$

де γ – дійсна кількість нових заповнень;

K – кількість гілок першого ярусу поточного вузла;

α – кількість вже існуючих гілок ярусу другого порядку

Розраховано кількість нових заповнень, щоб визначити, який вузол потрібно відключити першим.

$$\gamma_1 = (2(2-1)/2) - 1 = 0$$

$$\gamma_2 = (3(3-1)/2) - 2 = 1$$

$$\gamma_3 = (2(2-1)/2) - 1 = 0$$

$$\gamma_4 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_5 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_6 = (3(3-1)/2) - 1 = 2$$

$$\gamma_7 = (3(3-1)/2) - 2 = 1$$

$$\gamma_8 = (7(7-1)/2) - 4 = 17$$

$$\gamma_9 = (2(2-1)/2) - 1 = 0$$

За результатами розрахунку вибрано 1 вузол для відключення.

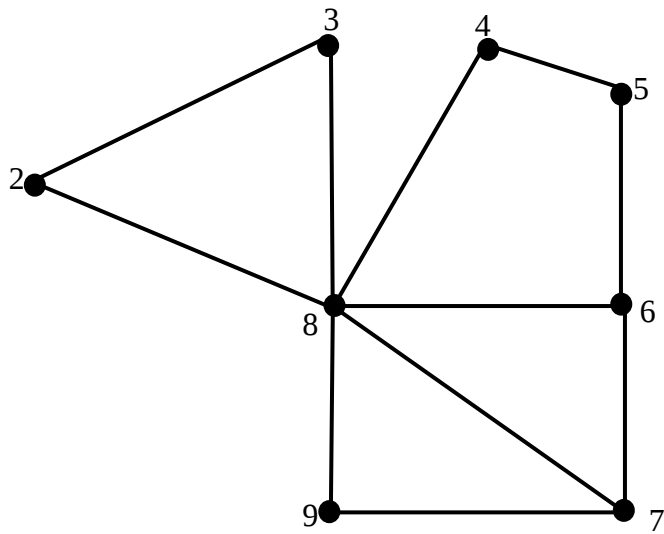


Рис. 9 – Відображення графу після відключення 1 вузла

Нових заповнень немає.

Повторено цикл розрахунків для нового графу:

$$\gamma_2 = (2(2-1)/2) - 1 = 0$$

$$\gamma_3 = (2(2-1)/2) - 1 = 0$$

$$\gamma_4 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_5 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_6 = (3(3-1)/2) - 1 = 2$$

$$\gamma_7 = (3(3-1)/2) - 2 = 1$$

$$\gamma_8 = (6(6-1)/2) - 3 = 12$$

$$\gamma_9 = (2(2-1)/2) - 1 = 0$$

Відключено 2 вузол:

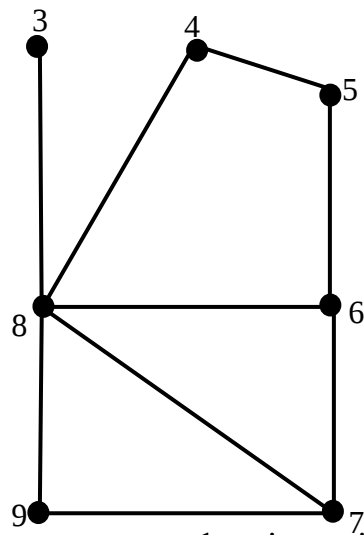


Рис. 10 – Відображення графу після відключення 2 вузла

Нових заповнень немає.

Виконано розрахунки для нового графу:

$$\gamma_3 = (1(1-1)/2) - 0 = 0$$

$$\gamma_4 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_5 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_6 = (3(3-1)/2) - 1 = 2$$

$$\gamma_7 = (3(3-1)/2) - 2 = 1$$

$$\gamma_8 = (5(5-1)/2) - 2 = 8$$

$$\gamma_9 = (2(2-1)/2) - 1 = 0$$

Відключено 3 вузол:

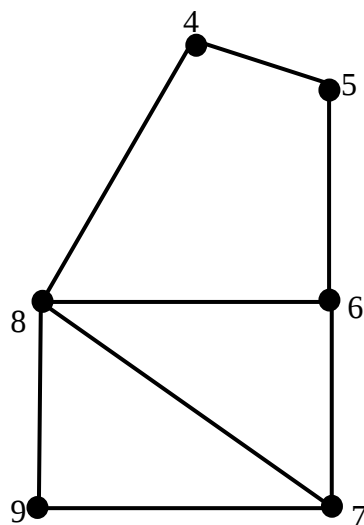


Рис. 11 – Відображення графу після відключення 3 вузла

Нових заповнень немає.

Виконано розрахунки для отриманого графу:

$$\gamma_4 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_5 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_6 = (3(3-1)/2) - 1 = 2$$

$$\gamma_7 = (3(3-1)/2) - 2 = 1$$

$$\gamma_8 = (4(4-1)/2) - 2 = 4$$

$$\gamma_9 = (2(2-1)/2) - 1 = 0 \text{ Відключено 9 вузол:}$$

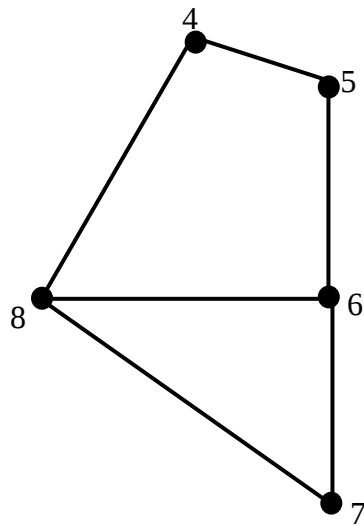


Рис. 12 – Відображення графу після відключення 9 вузла

Нових заповнень немає.

Виконано розрахунки для отриманого графу:

$$\gamma_4 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_5 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_6 = (3(3-1)/2) - 1 = 2$$

$$\gamma_7 = (2(2-1)/2) - 1 = 0$$

$$\gamma_8 = (3(3-1)/2) - 1 = 2$$

Відключено 7 вузол:

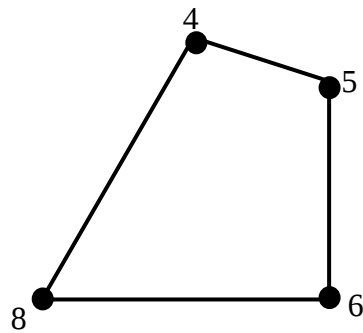


Рис. 13 – Відображення графу після відключення 7 вузла

Нових заповнень немає.

Виконано розрахунки для отриманого графу:

$$\gamma_4 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_5 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_6 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

$$\gamma_8 = (2(2-1)/2) - 0 = 1$$

У всіх попередніх випадках нових заповнень не було. Так як неможливо уникнути нового заповнення, то наступним відключено вузол 4:

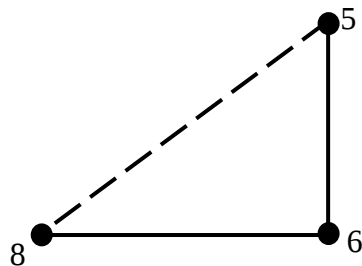


Рис. 14 – Відображення графу після відключення 4 вузла

Отримано нове заповнення 5-8. Далі відключено вузол 5:

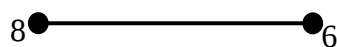
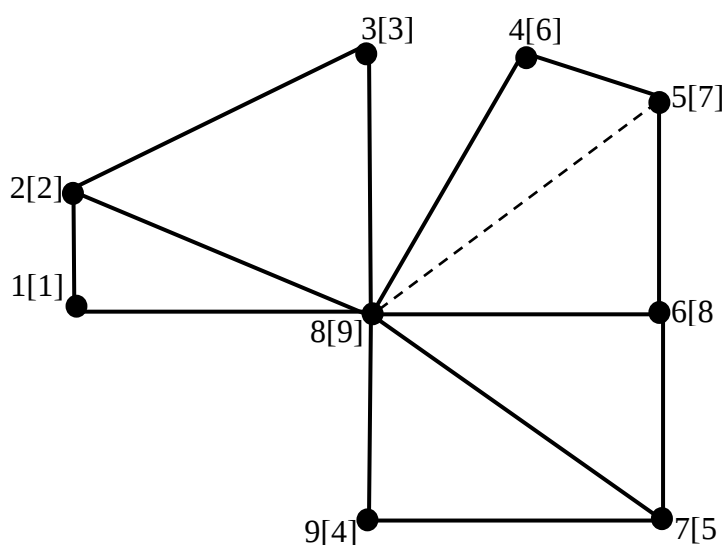


Рис. 15 – Відображення графу після відключення 5 вузла

Нових заповнень немає.

Отже, зроблено висновок, що кількість нових заповнень = 1, що співпадає з п.1.

2. Отримано в результаті:



	ON	NO
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	6	9
5	7	7
6	8	4
7	5	5
8	9	6
9	4	8

Рис. 16 – Схема з оптимальною нумерацією

Відмічено нові заповнення на вихідній матриці (взята з к. р. 1). Нові заповнення позначені сірим кольором.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3	1.2						1.8	
2	2.1	7.2	2.3					2.8	
3		3.2	7					3.8	
4				9.3	4.5			4.8	
5				5.4	11	5.6			
6					6.5	20	6.7	6.8	
7						7.6	23.3	7.8	7.9
8	8.1	8.2	8.3	8.4		8.6	8.7	59.2	8.9
9							9.7	9.8	19.5

Індивідуальні завдання

Номер варіанту характеристик та параметрів відповідає номеру студента у списку групи.

Номер схеми обирається по останній цифрі номера студента в списку групи.

Таблиця 1.1 – Варіанти даних навантажень і опорів до схем

№	Варіант 1/6/11/16/21				Варіант 2/7/12/17/22				Варіант 3/8/13/18/23				Варіант 4/9/14/19/24				Варіант 5/10/15/20/25			
	U _{бп}	I _S	R		U _{бп}	I _S	R		U _{бп}	I _S	R		U _{бп}	I _S	R		U _{бп}	I _S	R	
<u>1-5</u>	110	<u>10</u>	0.2	1.2	111	<u>10</u>	0.4	4	112	<u>10</u>	0.6	4	113	<u>10</u>	0.5	5	115	<u>10</u>	0.7	4.6
		<u>3</u>	0.5	4		<u>3</u>	0.6	7		<u>3</u>	0.4	7		<u>3</u>	0.7	7		<u>3</u>	0.3	8
		<u>4</u>	0.8	6		<u>4</u>	0.3	3		<u>4</u>	0.8	3		<u>4</u>	0.3	4		<u>4</u>	0.5	3
		<u>18</u>	1.0	3.7		<u>18</u>	0.8	5		<u>18</u>	0.6	6		<u>18</u>	0.8	6		<u>18</u>	0.1	6
		<u>21</u>	0.7	8		<u>21</u>	0.5	6		<u>21</u>	0.3	7		<u>21</u>	0.5	3		<u>21</u>	0.7	7
		<u>41</u>	0.3	2		<u>41</u>	0.2	2		<u>41</u>	0.9	3		<u>41</u>	0.7	7		<u>41</u>	0.5	10
		<u>50</u>	0.9	5		<u>50</u>	0.9	5		<u>50</u>	0.6	2.5		<u>50</u>	0.8	9		<u>50</u>	0.3	7
		<u>60</u>	0.4	3		<u>60</u>	1.2	3		<u>60</u>	0.4	4		<u>60</u>	0.4	6		<u>60</u>	0.7	9
<u>70</u>	0.4	7	<u>70</u>	1.0	5	<u>70</u>	0.3	8	<u>70</u>	0.9	2	<u>70</u>	0.1	8						
<u>6-10</u>	110	<u>10</u>	0.7	4.6	111	<u>10</u>	0.6	4	112	<u>10</u>	0.5	1	113	<u>10</u>	0.6	3	115	<u>10</u>	0.3	1.5
		<u>3</u>	0.3	8		<u>3</u>	0.4	7		<u>3</u>	0.2	5		<u>3</u>	0.3	5		<u>3</u>	0.6	4
		<u>4</u>	0.5	3		<u>4</u>	0.8	3		<u>4</u>	0.9	3		<u>4</u>	0.8	6		<u>4</u>	0.9	3
		<u>18</u>	0.1	6		<u>18</u>	0.6	6		<u>18</u>	0.6	8		<u>18</u>	0.5	8		<u>18</u>	0.5	6
		<u>21</u>	0.7	7		<u>21</u>	0.3	7		<u>21</u>	0.8	5		<u>21</u>	0.3	5.6		<u>21</u>	0.2	2
		<u>41</u>	0.5	10		<u>41</u>	0.9	3		<u>41</u>	0.4	3		<u>41</u>	0.5	7		<u>41</u>	0.7	3.4
		<u>50</u>	0.3	7		<u>50</u>	0.6	2.5		<u>50</u>	1.1	8		<u>50</u>	0.9	2.5		<u>50</u>	0.3	6
		<u>60</u>	0.7	9		<u>60</u>	0.4	4		<u>60</u>	0.5	4		<u>60</u>	0.4	5		<u>60</u>	0.8	4
<u>70</u>	0.4	2	<u>70</u>	0.3	7	<u>70</u>	0.3	2	<u>70</u>	0.5	2	<u>70</u>	0.7	4						
<u>11-15</u>	110	<u>10</u>	0.7	4.6	111	<u>10</u>	0.6	4	112	<u>10</u>	0.5	1	113	<u>10</u>	0.6	3	115	<u>10</u>	0.3	1.5
		<u>3</u>	0.3	8		<u>3</u>	0.4	7		<u>3</u>	0.2	5		<u>3</u>	0.3	5		<u>3</u>	0.6	4
		<u>4</u>	0.5	3		<u>4</u>	0.8	3		<u>4</u>	0.9	3		<u>4</u>	0.8	6		<u>4</u>	0.9	3
		<u>18</u>	0.1	6		<u>18</u>	0.6	6		<u>18</u>	0.6	8		<u>18</u>	0.5	8		<u>18</u>	0.5	6
		<u>21</u>	0.7	7		<u>21</u>	0.3	7		<u>21</u>	0.8	5		<u>21</u>	0.3	5.6		<u>21</u>	0.2	2
		<u>41</u>	0.5	10		<u>41</u>	0.9	3		<u>41</u>	0.4	3		<u>41</u>	0.5	7		<u>41</u>	0.7	3.4
		<u>50</u>	0.3	7		<u>50</u>	0.6	2.5		<u>50</u>	1.1	8		<u>50</u>	0.9	2.5		<u>50</u>	0.3	6
		<u>60</u>	0.7	9		<u>60</u>	0.4	4		<u>60</u>	0.5	4		<u>60</u>	0.4	5		<u>60</u>	0.8	4
<u>70</u>	0.4	2	<u>70</u>	0.3	7	<u>70</u>	0.3	2	<u>70</u>	0.5	2	<u>70</u>	0.7	4						
<u>16-20</u>	110	<u>10</u>	0.2	1.2	111	<u>10</u>	0.4	4	112	<u>10</u>	0.6	4	113	<u>10</u>	0.5	5	115	<u>10</u>	0.7	4.6
		<u>3</u>	0.5	4		<u>3</u>	0.6	7		<u>3</u>	0.4	7		<u>3</u>	0.7	7		<u>3</u>	0.3	8
		<u>4</u>	0.8	6		<u>4</u>	0.3	3		<u>4</u>	0.8	3		<u>4</u>	0.3	4		<u>4</u>	0.5	3
		<u>18</u>	1.0	3.7		<u>18</u>	0.8	5		<u>18</u>	0.6	6		<u>18</u>	0.8	6		<u>18</u>	0.1	6
		<u>21</u>	0.7	8		<u>21</u>	0.5	6		<u>21</u>	0.3	7		<u>21</u>	0.5	3		<u>21</u>	0.7	7
		<u>41</u>	0.3	2		<u>41</u>	0.2	2		<u>41</u>	0.9	3		<u>41</u>	0.7	7		<u>41</u>	0.5	10
		<u>50</u>	0.9	5		<u>50</u>	0.9	5		<u>50</u>	0.6	2.5		<u>50</u>	0.8	9		<u>50</u>	0.3	7
		<u>60</u>	0.4	3		<u>60</u>	1.2	3		<u>60</u>	0.4	4		<u>60</u>	0.4	6		<u>60</u>	0.7	9
<u>70</u>	0.4	7	<u>70</u>	1.0	5	<u>70</u>	0.3	8	<u>70</u>	0.9	2	<u>70</u>	0.1	8						
<u>21-25</u>	110	<u>10</u>	0.7	4.6	111	<u>10</u>	0.6	4	112	<u>10</u>	0.5	1	113	<u>10</u>	0.6	3	115	<u>10</u>	0.3	1.5
		<u>3</u>	0.3	8		<u>3</u>	0.4	7		<u>3</u>	0.2	5		<u>3</u>	0.3	5		<u>3</u>	0.6	4
		<u>4</u>	0.5	3		<u>4</u>	0.8	3		<u>4</u>	0.9	3		<u>4</u>	0.8	6		<u>4</u>	0.9	3
		<u>18</u>	0.1	6		<u>18</u>	0.6	6		<u>18</u>	0.6	8		<u>18</u>	0.5	8		<u>18</u>	0.5	6
		<u>21</u>	0.7	7		<u>21</u>	0.3	7		<u>21</u>	0.8	5		<u>21</u>	0.3	5.6		<u>21</u>	0.2	2
		<u>41</u>	0.5	10		<u>41</u>	0.9	3		<u>41</u>	0.4	3		<u>41</u>	0.5	7		<u>41</u>	0.7	3.4
		<u>50</u>	0.3	7		<u>50</u>	0.6	2.5		<u>50</u>	1.1	8		<u>50</u>	0.9	2.5		<u>50</u>	0.3	6
		<u>60</u>	0.7	9		<u>60</u>	0.4	4		<u>60</u>	0.5	4		<u>60</u>	0.4	5		<u>60</u>	0.8	4
<u>70</u>	0.4	2	<u>70</u>	0.3	7	<u>70</u>	0.3	2	<u>70</u>	0.5	2	<u>70</u>	0.7	4						

ЗАВДАННЯ

- 1) Скласти індексно-циркулярну модель
- 2) Провести оптимальну нумерацію вузлів, визначити нові заповнення

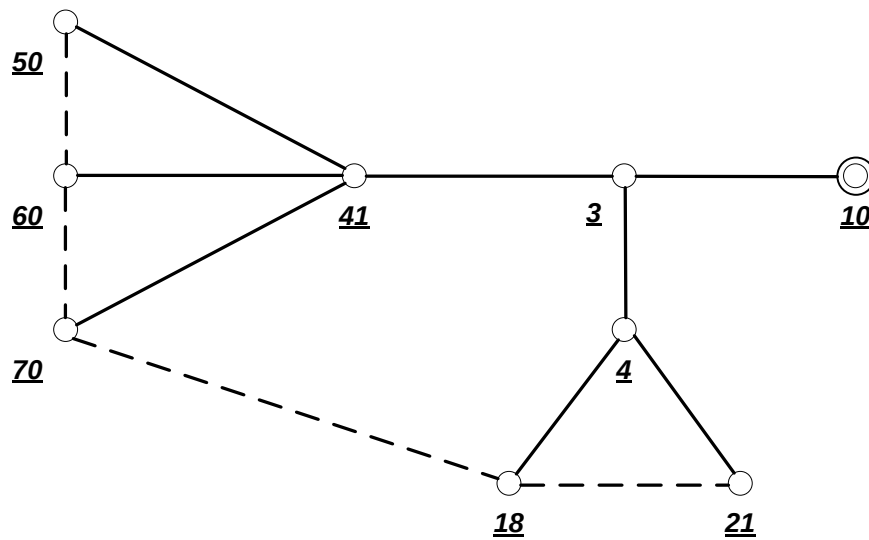


Схема №0

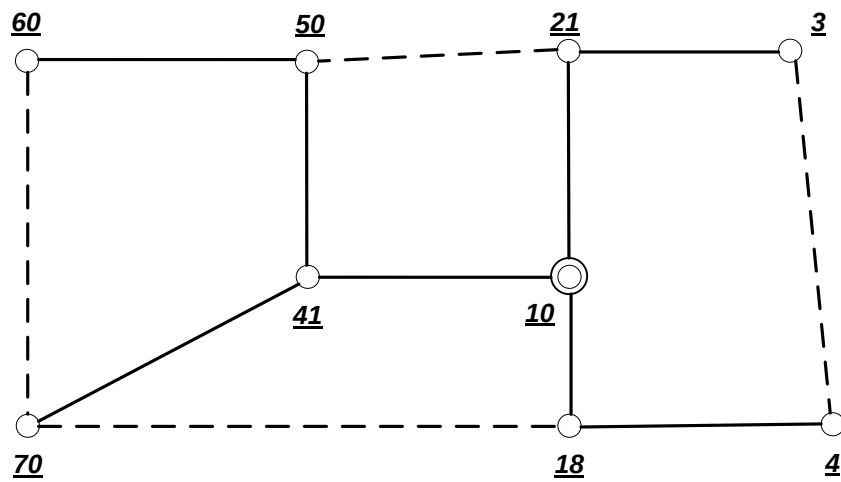


Схема №1

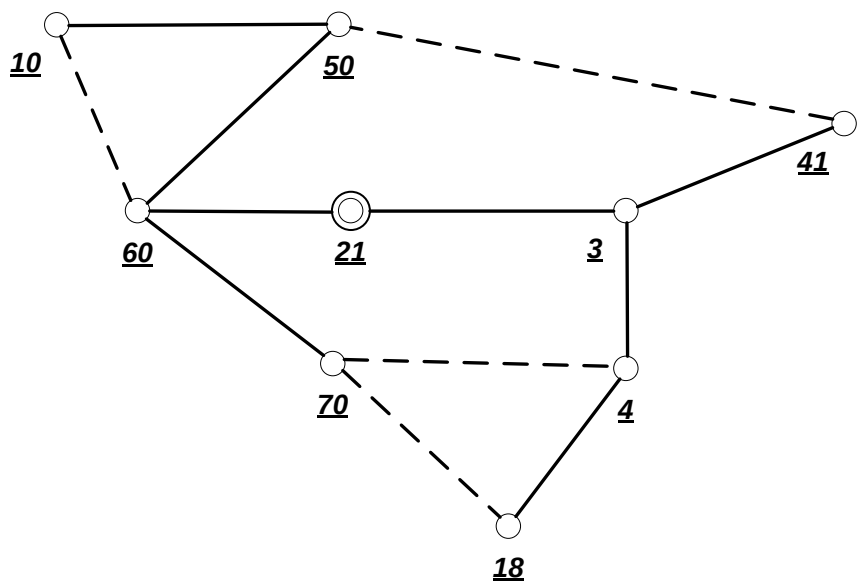


Схема №2

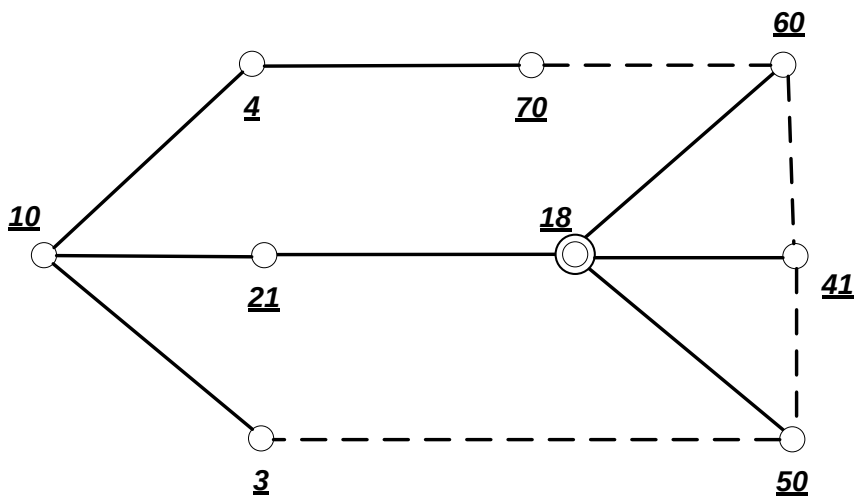


Схема №3

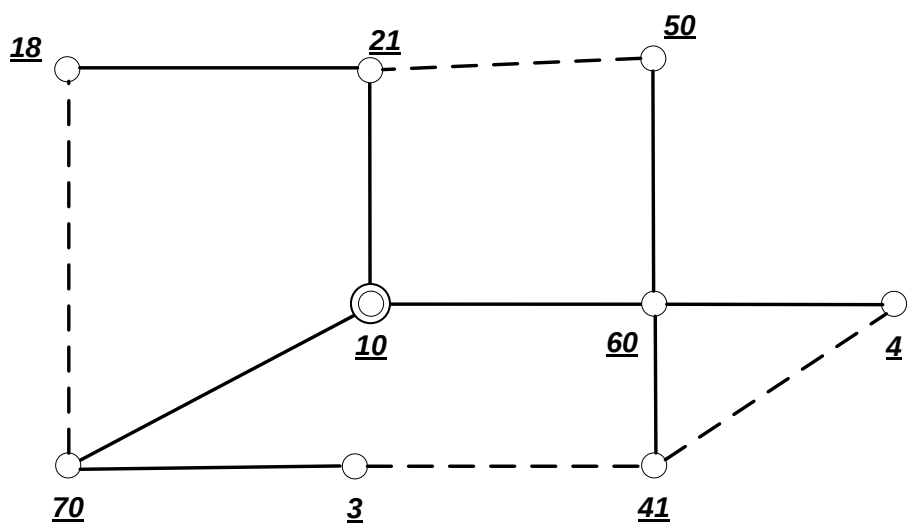


Схема №4

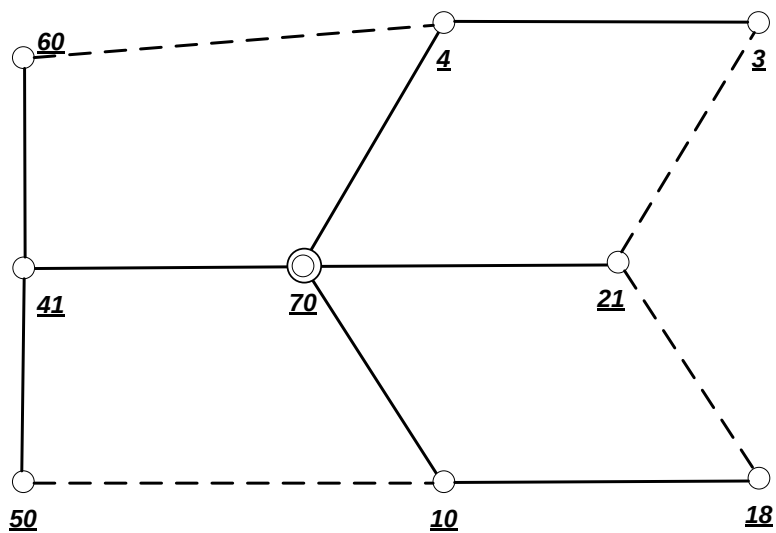


Схема №5

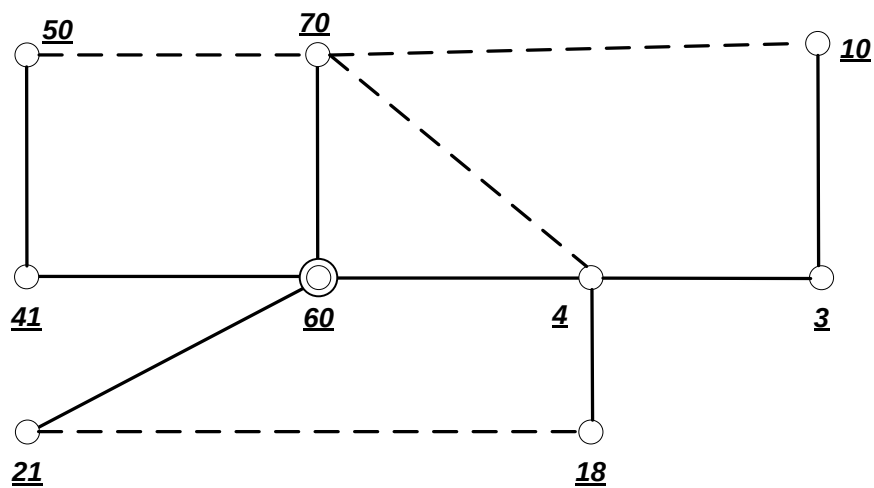


Схема №6

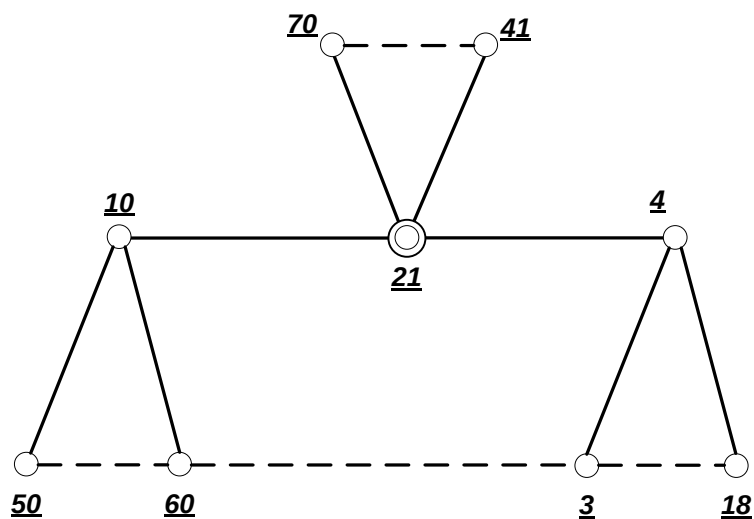


Схема №7

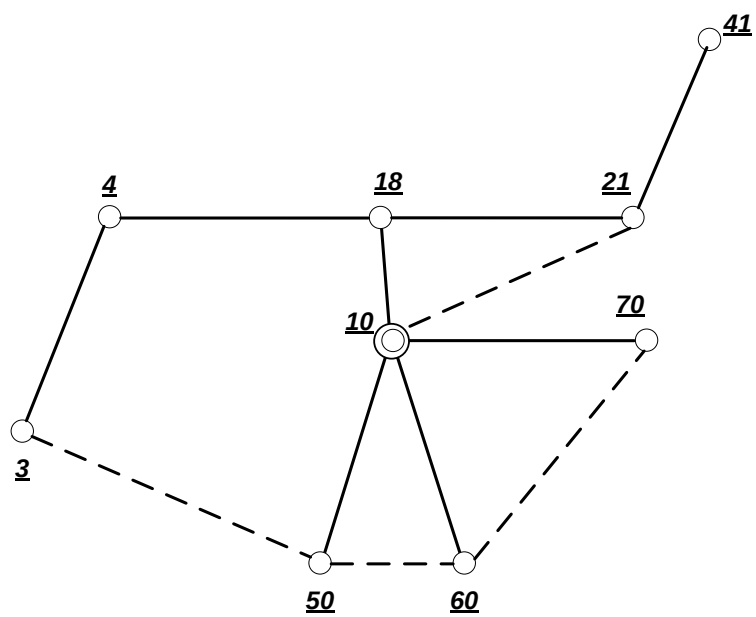


Схема №8

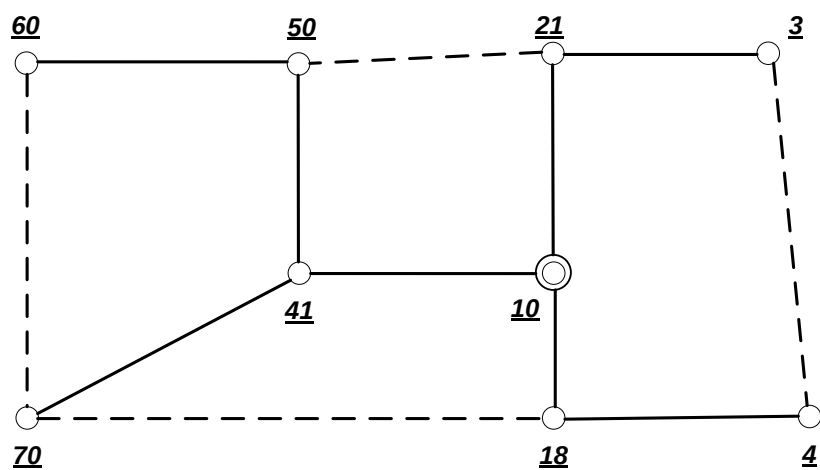


Схема №9

Список літератури

1. Алгоритмізація та програмування електроенергетичних задач. Моделі, методи, алгоритми і програми для промислових комп'ютерних комплексів [Електронне видання]: навч. посіб. / Д. Б. Банін, М. Д. Банін, А. В. Гнатовський. – К.: НТУУ "КПІ", 2016. – 104 с.
2. Конспект лекцій з дисципліни "Алгоритмізація та програмування електроенергетичних задач" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : http://ae.fea.kpi.ua/doc/subjects/APEZ/Konspekt_APEZ.doc.
3. Д.В. Настенко, А. Б. Нестерко. Об'єктно-орієнтоване програмування. Частина 1. Основи об'єктно-орієнтованого програмування на мові C#. Навчальний посібник /– К.: НТУУ «КПІ», 2016. - 76с.
4. Добролюбова, М. В. Обчислювальна техніка, основи алгоритмізації та програмування. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інформаційні вимірювальні технології» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / М. В. Добролюбова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 17,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 417 с.
5. Сегеда М.С. Математичне моделювання в електроенергетиці: Навч.посібник/ Мін. Освіти і науки України. Львів: Вид.-во нац. ун.-ту «Львівська політехніка»; 2002. — 300 с.