

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до курсового проекту з дисципліни

***«Міські транспортні системи»***

для студентів денної та заочної форм навчання

спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)»,  
спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному  
транспорті)»

Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Міські транспортні системи» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)», спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» / Укл.: Кузькін О.Ф., Райда І.М. - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024 – 28 с.

Укладачі: Кузькін О.Ф. д-р техн. наук, проф.,  
Райда І.М., ст. викл.

Рецензент: Турпак С.М., д-р техн. наук, проф.

Відповідальний  
за випуск: Михайленко Н.А., зав. навч. лаб.

Затверджено на засіданні  
кафедри «Транспортні технології»  
протокол № 2  
від 08 серпня 2024 р.

Рекомендовано до видання  
НМК Транспортного факультету  
протокол № 2  
від 22 серпня 2024 р.

## ЗМІСТ

	с.
1. Мета і задачі курсового проектування.....	4
2. Вихідні дані до курсового проекту.....	5
3. Зміст курсового проекту.....	6
3.1 Розрахунок матриці міжрайонних пасажирських кореспонденцій.....	6
3.1.1 Визначення найкоротших відстаней та шляхів між вершинами транспортної мережі.....	7
3.1.2 Розрахунок значення функції тяжіння для транспортних зв'язків.....	7
3.1.3 Розрахунок пасажирських кореспонденцій за прибуттями.....	8
3.2 Встановлення початкової маршрутної схеми.....	13
3.3 Перевірка дільничних маршрутів.....	15
3.4 Розрахунок витрат часу на рух та пересадки.....	16
3.5 Визначення доцільності призначення додаткових наскрізних маршрутів.....	17
4. Вимоги до оформлення проекту.....	20
Перелік рекомендованої літератури.....	22
Додаток А. Вихідні дані до проекту.....	23

## 1 МЕТА І ЗАДАЧІ КУРСОВОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Мета курсового проектування з дисципліни «Міські транспортні системи» – закріпити теоретичні знання з проектування міських транспортних систем, отримати практичні навички самостійного рішення питань в галузі проектування міських систем пасажирського автомобільного транспорту.

Курсовий проєкт полягає у послідовному проектуванні елементів пасажирської автомобільної міської системи, починаючи з визначення міжрайонних пасажирських кореспонденцій і закінчуючи отриманням оптимальної системи міських автобусних маршрутів. У проєкті розглядаються питання розробки та оптимізації маршрутної схеми, визначаються витрати часу на рух та пересадки пасажирами.

Для виконання курсового проєкту студент повинен мати знання з дисциплін спеціальності 275 «Транспортні технології», вміти користуватися довідковою та нормативною літературою, володіти на певному рівні комп'ютерною технікою для виконання відповідних розрахунків.

У курсовому проєкті передбачається вирішення наступних задач:

- складання матриці найкоротших відстаней;
- розрахунок функції тяжіння для транспортних зав'язків;
- розрахунок міжрайонних пасажирських кореспонденцій за прибуттям;
- встановлення початкової маршрутної схеми;
- перевірка дільничних маршрутів на відповідність заданому інтервалові руху;
- розрахунок витрат часу на рух та пересадки для вихідної схеми маршрутів;
- визначення доцільності призначення додаткових наскрізних маршрутів;
- отримання оптимального варіанту автобусної маршрутної мережі.

## 2 ВИХІДНІ ДАНІ ДО КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Вихідними даними до курсового проекту виступають:

- довжина ланок транспортної мережі;
- варіанти схем транспортної мережі;
- ємності транспортних районів за відправленнями;
- ємності транспортних районів за прибуттями;
- середня відстань внутрішньорайонних пересувань;
- тип та вид функції тяжіння;
- тривалості пересадження пасажирів у пунктах мережі;
- місткість транспортних засобів на маршрутах;
- максимальний інтервал руху на маршрутах;
- технічна швидкість руху транспортних засобів.

Вихідні дані наведені в додатку А. Варіант завдання до курсового проекту вибирається відповідно номеру студента в обліковому журналі групи.

### 3 ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

#### 3.1 Розрахунок матриці міжрайонних пасажирських кореспонденцій

Для обраної за варіантом схеми маршрутної мережі, вершини якої відповідають центрам  $n = 7$  транспортних районів (рис. 3.1) потрібно розрахувати матрицю міжрайонних пасажирських кореспонденцій за прибуттями. Відстані між центрами транспортних районів на рис. 3.1 вказані у кілометрах.

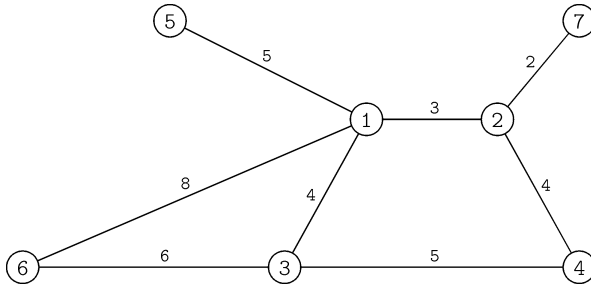


Рисунок 3.1 – Схема транспортної мережі (приклад)

Приклади ємностей транспортних районів за відправленнями  $H_i^B$  та прибуттями  $H_j^П$  (у кількості поїздок за розрахункову годину «пік») наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Ємності транспортних районів за прибуттями та відправленнями

Ємності районів, поїздок/год	Номери транспортних районів						
	1	2	3	4	5	6	7
за відправленнями $H_i^B$	210 0	600	300	175 0	50	100 0	110 0
за прибуттями $H_j^П$	450	700	200 0	250	150 0	125 0	750

Для всіх районів відстані внутрішньорайонних кореспонденцій дорівнюють  $l_{ii} = 1,0$  км. Функція тяжіння кореспонденцій - гіперболічна  $d_{ij} = 1/l_{ij}$ , де  $l_{ij}$  - найкоротша відстань між транспортними районами, км.

### 3.1.1 Визначення найкоротших відстаней та шляхів між вершинами транспортної мережі

Найкоротші відстані та шляхи визначаються будь-яким чином (наприклад, з використанням алгоритму Дейкстри). Результати розрахунку потрібно надати у вигляді матриці найкоротших відстаней (табл. 3.2). У верхньому лівому куті кожної клітинки зазначити номери проміжних вершин на найкоротшому шляху, у центрі - найкоротшу відстань між відповідними вершинами у кілометрах.

Таблиця 3.2 - Найкоротші відстані та шляхи між транспортними районами, км

Транспортні райони	Транспортні райони						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	3	4	<sup>2</sup> 7	5	8	<sup>2</sup> 5
2	3	1	<sup>1</sup> 7	4	<sup>1</sup> 8	<sup>1</sup> 11	2
3	4	<sup>1</sup> 7	1	5	<sup>1</sup> 9	6	<sup>1,2</sup> 9
4	<sup>2</sup> 7	4	5	1	<sup>1,2</sup> 12	<sup>3</sup> 11	<sup>2</sup> 6
5	5	<sup>1</sup> 8	<sup>1</sup> 9	<sup>1,2</sup> 12	1	<sup>1</sup> 13	<sup>1,2</sup> 10
6	8	<sup>1</sup> 11	6	<sup>3</sup> 11	<sup>1</sup> 13	1	<sup>1,2</sup> 13
7	<sup>2</sup> 5	2	<sup>1,2</sup> 9	<sup>2</sup> 6	<sup>1,2</sup> 10	<sup>1,2</sup> 13	1

### 3.1.2 Розрахунок значення функції тяжіння для транспортних зв'язків

Значення функції тяжіння  $d_{ij} = 1/l_{ij}$  для транспортних зв'язків між всіма парами транспортних районів для прикладу з пункту 3.1.1 наведені в табл. 3.3. По головній діагоналі матриці значення функції тяжіння розраховані виходячи з заданої відстані внутрішньорайонних

кореспонденцій  $l_{ii} = 1,0$  км. Зауважимо, що матриці найкоротших відстаней і значень функцій тяжіння є симетричними відносно головної діагоналі.

Таблиця 3.3 — Значення функції тяжіння між транспортними районами

Транспортні райони	Транспортні райони						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,33	0,25	0,14	0,20	0,13	0,20
2	0,33	1	0,14	0,25	0,13	0,09	0,50
3	0,25	0,14	1	0,20	0,11	0,17	0,11
4	0,14	0,25	0,20	1	0,08	0,09	0,17
5	0,20	0,13	0,11	0,08	1	0,08	0,10
6	0,13	0,09	0,17	0,09	0,08	1	0,08
7	0,20	0,50	0,11	0,17	0,10	0,08	1

### 3.1.3 Розрахунок пасажирських кореспонденцій за прибуттями

Кореспонденції за прибуттями розраховуються за формулою

$$H_{ij(n)} = H_j \times \frac{k_{i(n)} H_i d_{ij}}{\sum_k k_{i(n)} H_i d_{ij}}, \quad (3.1)$$

де  $H_{ij(n)}$  - пересування, які беруть участь у кореспонденціях між транспортними районами  $i$  та  $j$  (за розрахунками на  $n$ -й ітерації);

$H_j$  - задана ємність транспортного району  $j$  за прибуттям;

$k_{i(n)}$  - нормувальні множники на  $n$ -й ітерації;

$k$  - загальна кількість транспортних районів.

**Нульова ітерація.** Результати розрахунків для нульової ітерації наведені в табл. 3.4. При цьому покладені всі нормувальні множники  $k_{i(0)} = 1$  ( $i = 1 \dots 7$ ).

Наприклад, як обчислювалася кореспонденція між районом відправлення  $i = 3$  та районом прибуття  $j = 6$ . Для зручності спочатку розраховується знаменник формули (3.1) для рядка 6:

$$\sum_i k_{i(0)} H_i d_{ij} = 1 \cdot 2100 \cdot 0,13 + 1 \cdot 600 \cdot 0,09 + 1 \cdot 300 \cdot 0,17 + \\ + 1 \cdot 1750 \cdot 0,09 + 1 \cdot 50 \cdot 0,08 + 1 \cdot 1000 \cdot 1 + 1 \cdot 1100 \cdot 0,08 = 1627,5.$$

Шукана кореспонденція за формулою (3.1) складе

$$H_{36} = \frac{1250 \cdot 1 \cdot 300 \cdot 0,17}{1627,5} = 39,2 \approx 39.$$

Таблиця 3.4 - Розрахункові кореспонденції на нульовій ітерації

Райони прибуття $j$	Райони відправлення $i$							$\sum_i H_{ij}$	$H_j^p$
	1	2	3	4	5	6	7		
1	317	30	11	37	2	20	33	450	450
2	201	174	12	127	2	26	159	700	700
3	675	108	386	450	7	219	156	2000	2000
4	29	15	6	173	0	9	18	250	250
5	692	128	54	231	82	132	181	1500	1500
6	210	41	39	121	3	768	68	1250	1250
7	141	101	11	100	2	27	369	750	750
$\sum_j H_{ij}$	2265	597	519	1239	98	1201	984		
$H_i^p$	2100	600	300	1750	50	1000	1100		

Як можна бачити з табл. 3.4, підсумкові кореспонденції за прибуттями (сума розрахованих кореспонденцій по рядках) повинні збігатися з ємностями транспортних районів за прибуттями. При цьому підсумкові кореспонденції по відправленню (сума кореспонденцій по стовпчиках) не дорівнюють ємностям транспортних районів по відправленню. Для усунення останнього необхідно виконати балансування кореспонденцій методом

Шацького. Згідно цього методу нормувальні множники  $k_i$  на всіх ітераціях, окрім нульової, розраховують за формулою

$$k_{i(n+1)} = \frac{H_j}{\sum_i H_{ij(n)}}. \quad (3.2)$$

Балансування ведуть до заданої точності  $\varepsilon$  з вирівнюванням матриці кореспонденцій до виконання наступних умов (для всіх  $i$  та  $j$ ):

$$\left| 1 - \frac{H_i}{\sum_j H_{ij}} \right| \leq \varepsilon; \quad \left| 1 - \frac{H_j}{\sum_i H_{ij}} \right| \leq \varepsilon. \quad (3.3)$$

**Перша ітерація.** Потрібно розрахувати нормувальні множники для кожного стовпчика матриці кореспонденцій за формулою (3.2):

$$k_{1(1)} = \frac{2100}{2265} = 0,927;$$

$$k_{2(1)} = \frac{600}{597} = 1,005;$$

$$k_{3(1)} = \frac{300}{519} = 0,578;$$

$$k_{4(1)} = \frac{1750}{1239} = 1,412;$$

$$k_{5(1)} = \frac{50}{98} = 0,51;$$

$$k_{6(1)} = \frac{1000}{1201} = 0,833;$$

$$k_{7(1)} = \frac{1100}{984} = 1,118.$$

Величини пасажирських кореспонденцій між транспортними районами після першої ітерації, розраховані за формулою (3.1) наведені у табл. 3.5. Наприклад, для розрахунку обсягу кореспонденцій між районом відправлення  $i = 2$  та районом прибуття  $j = 5$  спочатку розраховувався знаменник формули (3.1) з урахуванням нових значень нормувальних множників для першої ітерації:

$$\sum_i k_{i(0)} H_i d_{ij} = 0,927 \cdot 2100 \cdot 0,20 + 1,005 \cdot 600 \cdot 0,13 +$$

$$+ 0,578 \cdot 300 \cdot 0,11 + 1,412 \cdot 1750 \cdot 0,08 + 0,51 \cdot 50 \cdot 1 +$$

$$+ 0,833 \cdot 1000 \cdot 0,08 + 1,118 \cdot 1100 \cdot 0,10 = 899,6.$$

Після чого розраховувалося значення кореспонденції

$$H_{36} = \frac{1500 \cdot 1,005 \cdot 600 \cdot 0,13}{899,6} = 130,7 \approx 131.$$

Таблиця 3.5 - Розрахункові кореспонденції на першій ітерації

Райони прибуття $j$	Райони відправлення $i$							$\sum_i H_{ij}$	$H_j^B$
	1	2	3	4	5	6	7		
1	303	31	7	54	1	17	38	450	450
2	174	164	7	168	1	20	167	700	700
3	641	111	228	652	4	187	178	2000	2000
4	21	12	3	192	0	6	16	250	250
5	649	131	32	330	43	111	205	1500	1500
6	212	45	25	186	2	698	82	1250	1250
7	120	93	6	130	1	21	380	750	750
$\sum_j H_{ij}$	2120	587	308	1712	52	1060	1066		
$H_i^B$	2100	600	300	1750	50	1000	1100		

Далі потрібно розрахувати точність балансування за формулою (3.3). При цьому, очевидно, розрахунок слід виконувати тільки за стовпчиками матриці. Маємо:

$$\begin{array}{l} \text{стовпчик 1:} \\ \text{стовпчик 2:} \\ \text{стовпчик 3:} \end{array} \left| 1 - \frac{2100}{2120} \right| = 0,0094 = 0,94\%;$$

$$\left| 1 - \frac{600}{587} \right| = 0,022 = 2,2\%;$$

$$\left| 1 - \frac{300}{308} \right| = 0,026 = 2,6\%;$$

$$\begin{aligned} \text{стовпчик 4:} & \quad \left| 1 - \frac{1750}{1712} \right| = 0,022 = 2,2\%; \\ \text{стовпчик 5:} & \quad \left| 1 - \frac{50}{52} \right| = 0,038 = 3,8\%; \\ \text{стовпчик 6:} & \quad \left| 1 - \frac{1000}{1060} \right| = 0,057 = 5,7\%; \\ \text{стовпчик 7:} & \quad \left| 1 - \frac{1100}{1066} \right| = 0,032 = 3,2\%. \end{aligned}$$

Таким чином, після першої ітерації отримана матриця міжрайонних кореспонденцій з точністю близько 5%.

Подальші розрахунки матриці міжрайонних пасажирських кореспонденцій пропонується виконати за допомогою комп'ютерної програми `log_pas.exe`. Програма дозволяє виконувати розрахунки для різної кількості районів, з різною точністю та різною кількістю ітерацій.

В результаті обчислення на певній ітерації буде отримана матриця міжрайонних пасажирських кореспонденцій з найбільшою точністю (менше 0,1 %). Її значення повинні бути використані для розрахунків в наступних пунктах курсового проекту.

Для отриманої матриці міжрайонних пасажирських кореспонденцій та відповідної схеми транспортної мережі необхідно розробити раціональну схему руху автобусів.

Раціональну маршрутну схему потрібно скласти для обраної вище транспортної мережі та матриці міжрайонних пасажирських кореспонденцій. В якості прикладу далі розглянуті транспортна мережа (рис. 3.1) та матриця міжрайонних кореспонденцій (табл. 3.5). Місткість рухомого складу  $q = 40$  пасажирів, тривалості  $t_{\text{пер}}$  пересадження у пунктах транспортної мережі наведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Тривалість пересадження пасажирів

№ пункта	1	2	3	4	5	6	7
$t_{\text{пер}}, \text{хв.}$	5	6	3	3	2	4	5

Максимальний інтервал руху прийнятий рівним  $I_{\text{max}} = 12 \text{ хв.}$

Складання раціональної маршрутної схеми полягає у виконанні декількох наступних етапів.

### 3.2 Встановлення початкової маршрутної схеми

У якості початкової маршрутної схеми приймається така, до якої входять маршрути, що задовольняють достатній умові призначення безпересадочних наскрізних маршрутів, а також дільничних маршрутів, які не співпадають з жодним наскрізним маршрутом.

Наскрізним називається маршрут, який з'єднує центри трьох і більше районів за найкоротшою виходячи з витрат часу на прямування відстанню. Достатньою умовою для призначення наскрізного маршруту є те, щоб тривалість очікування пасажиром автобуса у початковому пункті маршруту була б меншою чи дорівнювала тривалості, які пасажир повинен витратити у пункті пересадки, якщо такого маршруту не буде

$$\frac{C q T_p}{\rho} \cdot \frac{1}{P_{ij}} \leq t_{\text{пер}l}, \quad (3.4)$$

де  $C$  - коефіцієнт нерівномірності підходу пасажирів до зупинки, приймається рівним  $C = 0,5$ ;

$q$  - використувана місткість автобуса, пас.;

$T_p$  - тривалість розрахункового періоду доби, хв. У нашому випадку  $T_p = 1 \text{ год} = 60 \text{ хв}$ ;

$\rho$  - коефіцієнт внутрішньогодинної нерівномірності пасажиропотоку, приймається рівним  $\rho = 1,1$ ;

$P_{ij}$  - кількість пасажирів, що проїжджають між кінцевими пунктами призначуваного маршруту у напрямі максимального пасажиропотоку, пас;

$t_{\text{пер}l}$  - витрати часу одного пасажира на пересадження у пункті  $l$ , що має мінімальну тривалість пересадки у порівнянні з іншими проміжними пунктами на шляху прямування між початковим пунктом  $i$  та кінцевим пунктом  $j$  призначуваного

наскрізного маршруту у напрямі максимального пасажиропотоку.

Маршрути, які задовольняють цій умові потрібно включити до вихідного варіанту маршрутної схеми.

У нашому прикладі наскрізними маршрутами-кандидатами для призначення є: 1–4, 1–7, 2–3, 2–5, 2–6, 3–5, 3–7, 4–5, 4–6, 4–7, 5–6, 5–7 та 6–7.

Перевіримо, наприклад, доцільність призначення наскрізного маршруту 1–4. За ним у напрямі найбільшого пасажиропотоку прямують  $P_{14} = 54$  пасажери. Маємо

$$\frac{0,5 \cdot 40 \cdot 60}{1,1} \times \frac{1}{54} = 20,2 > 6.$$

Тут права частина нерівності є тривалістю пересадки у пункті 2, який лежить на найкоротшому шляху між пунктами 1 та 4. Оскільки нерівність не виконується, наскрізний маршрут 1–4 не призначається.

Аналогічним чином перевіряємо доцільність призначення інших наскрізних маршрутів.

Для наскрізного маршруту 5–7 матимемо:

$$\frac{0,5 \cdot 40 \cdot 60}{1,1} \times \frac{1}{205} = 5,32 \leq 6.$$

Таким чином, наскрізний маршрут 5–7 призначається.

Проаналізувавши всі маршрути-кандидати були призначені наскрізні маршрути 4–5 та 5–7. З цими маршрутами не співпадають дільничні маршрути 1–3, 1–6, 3–4 та 3–6, які також повинні бути включені до початкової схеми маршрутів (рис. 3.2).

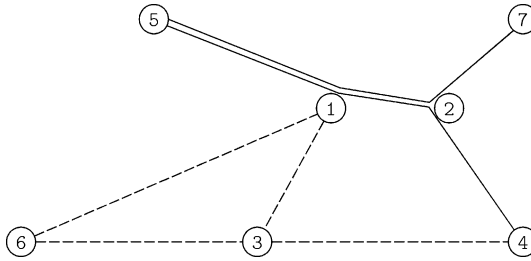


Рисунок 3.2 - Початкова система маршрутів  
**3.3 Перевірка дільничних маршрутів**

Необхідно виконати перевірку дільничних маршрутів на відповідність заданому інтервалові руху.

Інтервал руху на кожному з дільничних маршрутів визначається за формулою

$$I_{ij} = \frac{q T_p}{P_{ij}}. \quad (3.5)$$

Якщо інтервал на деякому дільничному маршруті перевищує максимально допустимий (у нашому прикладі  $I_{\max} = 12$  хв.), то він виключається зі схеми маршрутів.

При виключенні дільничних маршрутів зі схеми необхідно стежити за зв'язністю маршрутної мережі, тобто з будь-якого пункту повинен бути забезпечений зв'язок з усіма іншими пунктами (можливо, з пересадженнями). Якщо ж кандидатів на виключення декілька, у схемі залишають маршрут з меншим інтервалом руху.

Для нашого прикладу була виконана перевірка дільничних маршрутів:

$$\text{маршрут 1-3:} \quad I_{13} = \frac{40 \cdot 60}{641} = 3,74 < 12, \text{ залишаємо;}$$

$$\text{маршрут 1-6:} \quad I_{16} = \frac{40 \cdot 60}{212} = 11,32 < 12, \text{ залишаємо;}$$

$$\text{маршрут 3-4:} \quad I_{34} = \frac{40 \cdot 60}{652} = 3,68 < 12, \text{ залишаємо;}$$

маршрут 3–6:  $I_{36} = \frac{40 \cdot 60}{187} = 12,83 > 12$ , виключаємо.

Таким чином, вихідним варіантом маршрутної схеми є варіант з п'ятьма маршрутами: 1–3, 1–6, 3–4, 4–5 та 4–7.

### 3.4 Розрахунок витрат часу на рух та пересадки

Для всіх пасажиропотоків вибирається для поїздки шлях з урахуванням призначених маршрутів та найкоротший за часом на рух та пересадки.

Спочатку, виходячи з технічної швидкості руху 20 км/год необхідно перейти до часу руху на кожній ланці маршрутної схеми у хвилинах (дробові результати округляємо до цілих значень). Потім необхідно знайти найкоротші шляхи прямування пасажиропотоків з урахуванням тривалості пересадок.

Результати розрахунків для нашого прикладу наведені в табл. 3.7. У лівому верхньому куті відповідної клітинки зазначений пункт, у якому виконується пересадка, у центрі клітинки - тривалість руху з врахуванням тривалості пересадок.

Таблиця 3.7 - Час руху між пунктами маршрутної мережі, хв.

Транспортні райони	Транспортні райони						
	1	2	3	4	5	6	7
1	–	9	12	21	15	24	15
2	9	–	<sup>1</sup> 26	12	24	<sup>1</sup> 38	6
3	12	<sup>1</sup> 26	–	15	<sup>1</sup> 33	<sup>1</sup> 41	<sup>1</sup> 32
4	21	12	15	–	36	<sup>1</sup> 50	<sup>2</sup> 24
5	15	24	<sup>1</sup> 33	36	–	<sup>1</sup> 44	30
6	24	<sup>1</sup> 38	<sup>1</sup> 41	<sup>1</sup> 50	<sup>1</sup> 44	–	<sup>1</sup> 44
7	15	6	<sup>1</sup> 32	<sup>2</sup> 24	30	<sup>1</sup> 44	–

Сумарні витрати часу пасажирами на пересування визначається як сума добутоків пасажиропотоків (табл. 3.5) на відповідні їм

тривалості руху між пунктами з врахуванням тривалості пересаджень (табл. 3.7). У нашому прикладі це значення дорівнює  $T_{\text{рух}} = 107499$  пас-хв. = 1791,65 пас-год.

Таким чином, в середньому кожний пасажир витрачає на поїздку

$$\bar{t}_p = \frac{107499}{4897} = 21,9 \text{ хв.}$$

У знаменнику наведеного вище розрахунку стоїть обсяг пасажироперевезень, який визначається підсумовуванням кореспонденцій (всіх, окрім внутрішньорайонних) табл. 3.5.

Для визначення витрат часу на очікування пасажирами посадки на зупинках необхідно визначити максимальні і мінімальні пасажиропотоки по кожній парі пунктів табл. 3.5. Після цього потрібно знайти суму максимальних  $\sum P_{ij}^{\max}$  та мінімальних  $\sum P_{ij}^{\min}$  пасажиропотоків. У нашому прикладі  $\sum P_{ij}^{\max} = 4565$  пас.,  $\sum P_{ij}^{\min} = 332$  пас.

Середньозважена величина тривалості очікування всіма пасажирами транспорту визначається за формулою

$$T_{\text{оч}} = c q T_p N_M \left( 1 + \frac{\sum P_{ij}^{\min}}{P_{ij}^{\max}} \right) \text{ пас-год.}, \quad (3.6)$$

де  $N_M$  - кількість маршрутів у маршрутній схемі.

Таким чином, маємо

$$T_{\text{оч}} = 0,5 \cdot 40 \cdot 60 \cdot 5 \left( 1 + \frac{332}{4565} \right) = 6436,36 \text{ пас-хв} = 107,27 \text{ пас-год.}$$

Сумарні витрати всіма пасажирами за початковою маршрутною схемою в нашому прикладі складають  $1791,65 + 107,27 = 1898,92$  пас-год.

### 3.5 Визначення доцільності призначення додаткових наскрізних маршрутів

Додатковими маршрутами можуть бути всі непризначені наскрізні маршрути. У нашому прикладі це маршрути 1–4, 1–7, 2–3, 2–5, 2–6, 3–5, 3–7, 4–6, 5–6, 5–7 та 6–7. Для кожного з них необхідно спочатку перевірити можливість забезпечення інтервалу не більше заданого  $I_{\max} = 12$  хв.

При розрахунку цього інтервалу слід враховувати не тільки власний пасажиропотік між кінцевими пунктами цього маршруту, а й пасажирів, які можуть обслуговуватися цим маршрутом за відсутності інших маршрутів. Для розрахунку інтервалу приймається напрямок з максимальним сумарним пасажиропотоком.

Для прикладу був перевірений маршрут 1–4. Для нього у прямому напрямі окрім пасажиропотоку з пункту 1 до пункту 4, рівного 54 пасажиром, враховуються ще 168 пасажирів, які прямують з пункту 2 до пункту 4, оскільки вони можуть скористатися маршрутом 1–4. У зворотному напрямі маршрут 4–1 може обслуговувати окрім кореспонденції 4–1, яка дорівнює 21 пасажиру, ще й кореспонденцію 2–1, яка дорівнює 174 пасажиром.

Таким чином, за цим маршрутом у прямому напрямі пасажиропотік дорівнює 222 пасажиром, а у зворотному - 195 пасажиром. Інтервал руху на маршруті визначається аналогічно дільничним маршрутам і складає

$$I_{14} = \frac{40 \cdot 60}{222} = 10,81 < 12 \text{ хв.}$$

Таким чином, маршрут 1–4 залишаємо для подальшого розгляду. Результати розрахунку інтервалу руху на всіх можливих додаткових наскрізних маршрутах нашого прикладу наведені у табл. 3.8.

Для того, щоб визначити можливість додавання того чи іншого маршруту до маршрутної мережі, потрібно перерахувати загальний час руху пасажирів мережею в нових умовах (з додаванням певного маршруту) та порівняти його з вже розрахованим в п. 3.4. Якщо отриманий час менше ніж існуючий вже, маршрут, який розглядався,

додають до маршрутної мережі. Якщо ж час руху пасажирів стає більшим, такий маршрут не додають до мережі.

Таким чином потрібно перевірити усі вище наведені маршрути, починаючи з маршруту з найменшим розрахунковим інтервалом руху.

Таблиця 3.8 - Розрахунок інтервалу руху на додаткових наскрізних маршрутах

Додатковий маршрут	Пасажиропотік, <i>пас.</i>	Розрахунковий інтервал руху, <i>хв.</i>	Висновок
1–4	222	10,81	залишаємо
1–7	294	8,16	залишаємо
2–3	752	3,19	залишаємо

Кінець таблиці 3.8

Додатковий маршрут	Пасажиропотік, <i>пас.</i>	Розрахунковий інтервал руху, <i>хв.</i>	Висновок
2–5	780	3,08	залишаємо
2–6	257	9,34	залишаємо
3–5	39	61,5	виключаємо
3–7	383	6,27	залишаємо
4–6	838	2,86	залишаємо
5–6	128	18,8	виключаємо
5–7	410	5,85	залишаємо
6–7	287	8,36	залишаємо

Наприкінці цієї роботи буде отримано оптимальну маршрутну мережу.

## **4 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПРОЄКТУ**

Пояснювальна записка до курсового проекту оформлюється відповідно стандарту 3008:2015 на листах формату А4.

Графічна частина складається з чотирьох креслень: схема транспортної мережі, оптимальна матриця міжрайонних пасажирських кореспонденцій, схема маршрутної мережі та картограма пасажиропотоків.

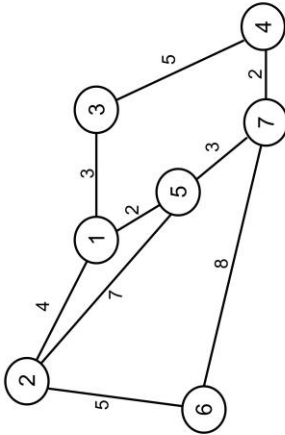
Креслення повинні бути виконані за допомогою спеціалізованих комп'ютерних програм. Креслення розташовуються та роздруковуються на папері формату А1 або А2. З дозволу викладача креслення можуть бути виконані вручну на ватмані формату А1.

Приклад аркуша графічної частини наведений на рисунку 4.1.

На період військового стану через складності роздруківки формату А1, означенні вище креслення можуть бути виконані як рисунки в тексті пояснювальної записки до курсового проекту.

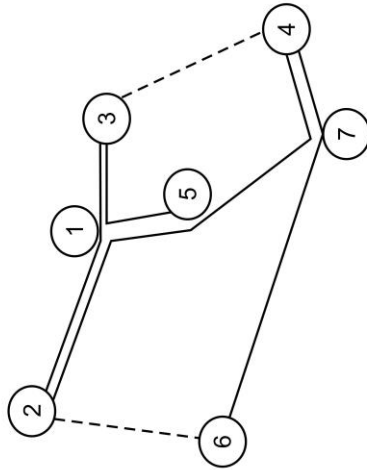
Оптимальна матриця міжрайонних пасажирських кореспонденцій

Схема транспортної мережі

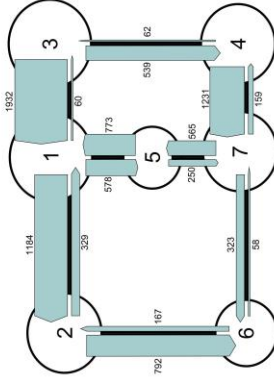


Райони прибуття $j$	Райони відправлення $i$							$\sum H_{ij}$	$H_j^*$
	1	2	3	4	5	6	7		
1	213	127	813	185	240	47	36	1660	1660
2	54	516	355	110	70	86	18	1210	1210
3	15	16	529	56	21	8	6	650	650
4	23	32	370	983	72	32	67	1580	1580
5	72	49	331	176	326	26	40	1020	1020
6	51	215	433	276	93	905	47	2020	2020
7	21	24	169	315	78	26	87	720	720
$\sum H_{ij}$	449,93	979,52	2999,8	2100,9	899,98	1129,7	300,09		
$H_j^*$	450	980	3000	2100	900	1130	300		

Схема маршрутної мережі



Картограма пасажиропотоків



КУРСОВИЙ ПРОЕКТ									
Назва		№ семестру		Підписи		Датум		Листів	
Рациональна схема автобусних маршрутів								Листів 1	
Варіант № N								Т - XXXX м	

Рисунок 4.1 – Приклад аркуша графічної частини курсового проекту

## ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ceder A. Public Transit Planning and Operations. – London : CRC Press. – 2007, 640 p.
2. Grava, S. Urban Transportation Systems. Choices for Communities. – New York : McGraw-Hill Inc. – 840 p.
3. Босняк М. Г. Пасажирські автомобільні перевезення : навч. посібник. – К. : Видавничий дім «Слово», 2009. – 272 с.
4. Доля В. К. Пасажирські перевезення : підручник. – Х. : Форт, 2011. – 504 с.
5. Ігнатенко О. С., Маруніч В. С. Організація автобусних перевезень у містах. – К. : УТУ, 1998. – 146 с.

**Додаток А**  
**Вихідні дані до проєкту**

Таблиця А.1 – Ємності транспортних районів за відправленнями

Варіант	Ємності транспортних районів						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1050	2250	680	380	380	3300	2700
2	450	980	3000	2100	900	1130	300
3	2250	410	600	1950	420	900	680
4	570	330	2250	2250	1880	600	380
5	1500	1500	2400	300	2220	3000	2700
6	830	3450	1800	3450	900	570	1130
7	3000	2100	1800	1200	1200	980	2850
8	720	350	3150	3300	750	680	900
9	2850	2550	450	530	900	1430	1950
10	750	2400	2700	410	570	1500	1500
11	1000	1450	1150	2490	1700	2790	2850
12	2340	520	1950	3200	2450	1400	1970
13	1690	2560	2640	2260	2830	1070	820
14	380	1230	2410	1000	2010	750	310
15	1580	1970	350	1890	2390	2590	940
16	1540	3400	2510	1330	1470	1470	2140
17	2980	1350	2880	580	2640	1590	470
18	2010	1720	960	2630	2780	1880	1700
19	1370	1990	2040	2660	2390	910	2430
20	2480	1030	1660	1350	3080	530	1210
21	1730	1560	2080	1590	2730	2150	1830
22	1940	1890	1660	610	2160	2250	2220
23	760	2100	2350	2930	810	2100	1720
24	2770	3010	540	1320	1530	1250	2450
25	1410	2770	2120	2070	680	2420	2180
26	1180	2280	2540	2410	1550	1160	1010
27	2660	1810	1200	2380	2270	960	1180
28	1120	650	2470	1060	2530	1270	1510
29	3160	2110	3080	360	1330	2830	490

Кінець таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8
30	2370	1180	1220	1710	710	750	1570
31	1020	2110	1910	2550	740	2610	2190
32	1630	3070	2170	830	2310	1590	1450
33	1130	2950	2260	2260	1080	2420	610
34	2360	2510	1460	1570	1170	2030	2110
35	1890	1230	980	1310	2150	3000	1630

Таблиця А.2 – Ємності транспортних районів за прибуттями

Варіант	Ємності транспортних районів						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1200	2020	810	2100	2160	1520	930
2	1660	1210	650	1580	1020	2020	720
3	1740	560	540	730	1880	960	800
4	1080	770	1340	1100	920	1560	1490
5	2940	500	1890	2040	2330	700	3220
6	3210	2070	1970	1680	1920	460	820
7	3220	410	2540	1320	1810	3490	340
8	550	1280	2700	1600	550	2150	1020
9	1060	1370	1890	1010	2970	780	1580
10	1520	2330	1500	1770	1350	1000	360
11	1680	1450	780	2420	2830	2590	1680
12	840	3360	1070	2170	3130	380	2880
13	2340	1200	2220	2480	1340	2870	1420
14	1140	3020	520	320	500	2030	560
15	3040	500	1670	1500	1190	1470	2340
16	3170	1610	1430	2640	3050	1450	510
17	2370	1460	1330	340	2770	2040	2180
18	1480	1660	320	2420	2030	3420	2350
19	2620	1660	850	2970	2870	1820	1000
20	1160	2630	1610	1320	800	2580	1240
21	450	2030	1810	1670	2400	3070	2240
22	2670	2210	2300	1430	780	2790	550

23	1100	1340	2770	1780	2730	1890	1160
----	------	------	------	------	------	------	------

Кінець таблиці А.2

1	2	3	4	5	6	7	8
24	1980	2480	1440	510	2850	2370	1240
25	990	3400	610	860	1120	3450	3220
26	1870	1230	2070	1770	1870	2760	560
27	970	1820	1620	1420	2490	2130	2010
28	1790	1780	1510	480	1470	2470	1110
29	1960	1660	3000	3140	1630	1480	490
30	1310	1710	1010	630	1320	2790	740
31	790	3380	1200	810	670	2780	3500
32	1050	1280	2380	2960	2380	1550	1450
33	380	3060	2060	3280	2030	750	1150
34	1430	3060	2770	450	380	1890	3230
35	2260	2750	1250	1330	2230	360	2010

Ємності транспортних районів за прибуттям та відправленням подані у кількості поїздок за розрахункову ранкову годину «пік» (тривалість розрахункового періоду  $T = 1 \text{ год.}$ ).

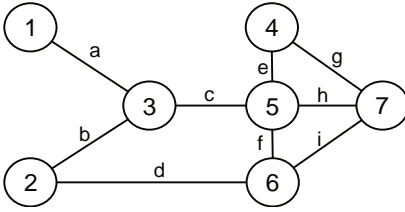
Таблиця А.3 – Довжина ланок транспортної мережі

Варіант	Схема	Довжина ланок транспортної мережі, км								
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	<i>a</i>	4	2	6	6	3	5	7	3	2
2	<i>б</i>	3	4	2	7	5	5	2	3	8
3	<i>в</i>	3	6	4	7	8	3	6	6	3
4	<i>г</i>	2	5	6	2	5	3	7	2	4
5	<i>д</i>	7	8	7	2	5	3	5	7	4
6	<i>e</i>	3	6	3	7	2	2	7	3	6
7	<i>ж</i>	5	3	5	7	3	4	3	3	5
8	<i>a</i>	7	2	2	4	3	7	4	7	5
9	<i>б</i>	2	5	7	8	6	6	3	2	4
10	<i>в</i>	2	4	6	5	3	5	2	2	8
11	<i>г</i>	6	4	2	8	3	5	4	2	4

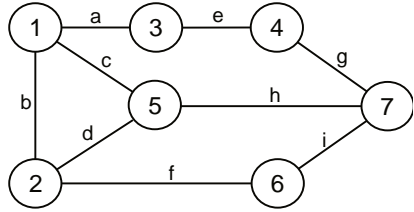
12	д	3	2	6	7	8	2	2	5	2
13	е	7	8	4	8	4	4	4	3	4

Кінець таблиці А.3

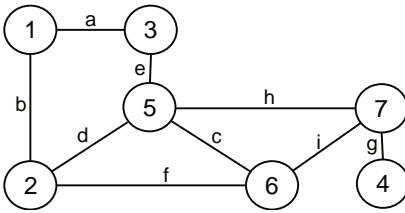
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	ж	5	4	6	6	6	8	4	8	8
15	а	7	8	2	5	8	6	6	4	3
16	б	7	2	6	8	8	7	3	8	6
17	в	3	2	8	7	3	4	2	6	8
18	г	2	7	6	2	4	7	5	6	3
19	д	4	5	2	8	6	2	8	7	4
20	е	2	2	7	4	5	5	7	7	5
21	ж	2	5	3	7	4	5	7	4	8
22	а	8	3	5	7	5	5	4	5	6
23	б	5	2	6	5	2	8	4	3	8
24	в	3	2	6	8	6	4	6	6	7
25	г	6	7	8	5	3	6	5	8	2
26	д	4	3	5	5	2	2	3	3	4
27	е	4	6	7	4	2	2	7	8	8
28	ж	3	3	8	8	3	6	6	2	3
29	а	5	5	5	4	4	5	7	2	8
30	б	3	4	8	8	8	3	5	7	2
31	в	5	3	5	7	6	4	2	8	2
32	г	6	8	6	3	2	2	8	2	8
33	д	6	6	2	7	3	7	3	6	2
34	е	2	5	7	3	3	6	7	3	4
35	ж	3	2	6	7	5	2	8	5	2



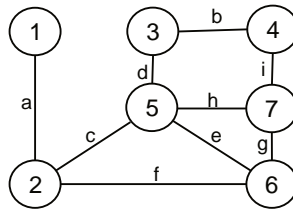
a)



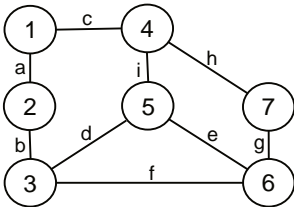
б)



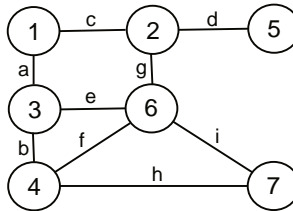
в)



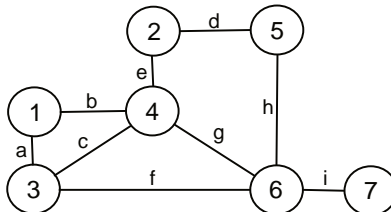
г)



д)



е)



ж)

Рисунок А.1 - Варіанти схем транспортної мережі

Відстань внутрішньорайонних пересувань - 1 км.  
 Функція тяжіння - гіперболічна  $d_{ij} = 1/l_{ij}$ .

Тривалості пересадження у вершинах транспортної мережі вважати постійними та прийняти з табл. А.4.

Місткість автобуса для всіх маршрутів  $q = 40$  пасажирів.

Максимальний інтервал руху на маршрутах  $I_{\max} = 12$  хв.

Технічна швидкість руху автобусів  $v_T = 20$  км/год.

Таблиця А.4 - Тривалості пересадження у пунктах мережі

Варіант	Тривалість пересадження у пункті мережі, хв						
	1	2	3	4	5	6	7
1	3	2	4	4	5	6	3
2	4	2	3	3	5	4	4
3	2	6	5	5	7	3	4
4	7	4	5	5	6	2	3
5	5	2	6	6	4	3	4
6	4	4	6	6	3	6	2
7	5	3	3	6	5	3	3
8	5	3	2	2	6	5	3
9	4	2	5	3	6	4	3
10	4	3	3	5	4	2	2
11	6	3	3	7	2	3	4
12	4	5	5	4	4	7	6
13	5	2	7	5	3	3	5
14	6	5	7	6	4	6	4
15	4	5	5	2	5	3	3
16	2	6	4	3	6	6	5
17	3	6	6	2	6	4	2
18	3	5	4	2	6	5	4
19	2	3	3	2	2	2	3
20	6	4	5	3	2	6	6
21	7	4	5	3	3	5	6
22	2	2	3	3	5	2	2
23	2	2	3	4	7	3	5
24	2	2	7	3	3	4	5
25	5	7	7	4	5	4	7
26	4	6	4	4	7	4	6

27	2	2	4	5	3	2	3
28	2	7	5	2	7	6	6
29	3	3	5	2	7	2	5
30	7	7	2	3	4	5	3
31	5	6	6	3	4	7	2
32	4	4	5	6	7	6	5
33	6	3	5	3	5	4	3
34	5	2	6	6	6	5	7
35	2	2	2	6	5	3	5