

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної
та транспортної інфраструктури

Кафедра транспортних систем і логістики

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему **Проектування організації перевезень на
міському автобусному маршруті з добовим обсягом
перевезень 4629 пасажирів**

Виконав: студент 3 курсу, групи ТТ 2023-1у
спеціальності 275 Транспортні
технології (за видами)

Рубан Р. Р.

Керівник Понкратов Д. П.

Рецензент Воронько В. В.

Харків – 2026 року

**Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова**

Факультет Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури

Кафедра Транспортних систем і логістики

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 275 Транспортні технології (за видами)
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

к.т.н., проф. Кущ Є. І.

“___”_____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Рубану Роману Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Проектування організації перевезень на міському автобусному маршруті з добовим обсягом перевезень 4629 пасажирів

керівник кваліфікаційної роботи Понкратов Денис Павлович, д.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.05.2026 року № 440-03

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 10.06.26

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи у додатку до завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вибір параметрів організації перевезень 2. Розробка розкладу руху

3. Організація дорожнього руху на перехресті маршруту

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Епюра пасажиропотоку. Діаграма зміни обсягу перевезень. Діаграма зміни кількості автобусів. Графік руху автобусів. Схема організації дорожнього руху на перехресті. Схема пофазного роз'їзду

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Перевірка роботи на наявність ознак академічного плагіату	інженер каф. ТСЛ Толмачов І. О.		

7. Дата видачі завдання 22.05.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Вибір параметрів організації перевезень	22.05.26 – 30.05.26	
2.	Розробка розкладу руху	31.05.26 – 5.06.26	
3.	Організація дорожнього руху на перехресті маршруту	6.06.26 – 10.06.26	

Студент

(підпис)

Рубан Р. Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Понкратов Д. П.

(прізвище та ініціали)

Додаток
до завдання на кваліфікаційну роботу

Таблиця 1 – Пасажирообмін зупинних пунктів у годину «пік»

Номер зупинного пункту	Прямий напрямок		Номер зупинного пункту	Зворотний напрямок	
	Кількість пасажирів, що увійшло у транспортний засіб, пас.	Кількість пасажирів, що вийшло з транспортного засобу, пас.		Кількість пасажирів, що увійшло у транспортний засіб, пас.	Кількість пасажирів, що вийшло з транспортного засобу, пас.
1	218	0	10	153	0
2	55	5	9	26	6
3	43	13	8	29	9
4	28	19	7	19	17
5	36	23	6	34	23
6	18	38	5	17	20
7	23	44	4	11	29
8	12	40	3	4	24
9	7	52	2	2	31
10	0	206	1	0	136

Таблиця 2 – Довжина перегонів маршруту

Номер перегону	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Довжина перегону, км	0,76	0,89	0,93	0,91	0,78	1,03	1,07	0,82	1,01

Таблиця 3 - Параметри маршруту

Показники	Значення
Експлуатаційна швидкість, км/год	20
Технічна швидкість, км/год	28
Відстань нульового пробігу, км	4,1
Максимально допустимий інтервал руху, хв.	20
Коефіцієнт дефіциту транспортних засобів	1

Таблиця 4 - Зміна обсягу перевезень пасажирів на маршруті

Місяць	Зміна обсягу перевезень пасажирів на маршруті, пас.		
	2023	2024	2025
Січень	150236	167210	189077
Лютий	150528	142350	147890
Березень	143096	160304	171790
Квітень	156211	152107	168305
Травень	158542	163933	162005
Червень	154754	174972	188617
Липень	143970	146173	151244
Серпень	133479	142734	161851
Вересень	156502	177762	174921
Жовтень	156502	148536	155572
Листопад	149508	164069	165431
Грудень	159708	156010	166529

Таблиця 5 - Коефіцієнти добової нерівномірності пасажиропотоку

Години доби	6 ⁰⁰ -7 ⁰⁰	7 ⁰⁰ -8 ⁰⁰	8 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	9 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	10 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	11 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	12 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	14 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	15 ⁰⁰ -16 ⁰⁰	16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	19 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	20 ⁰⁰ -21 ⁰⁰	21 ⁰⁰ -22 ⁰⁰	22 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	23 ⁰⁰ -00 ⁰⁰
Коефіцієнт нерівномірності	0,34	0,94	1	0,82	0,61	0,41	0,39	0,35	0,57	0,69	0,91	0,84	0,71	0,5	0,41	0,36	0,28	0,15

Таблиця 6 – Характеристики дорожнього руху на перехресті

Номер підходу до перехрестя	1			2		
Кількість смуг руху, од.	2			2		
Ширина першої смуги руху (другої), м	3,4 (3,2)			3,4 (3,2)		
Напрямок руху	1-2	1-3	1-4	2-1	2-4	2-3
Інтенсивність руху, авт./год	811	105	349	928	112	308
Інтенсивність пішохідних потоків, пас./год	336			352		
Номер підходу до перехрестя	3			4		
Кількість смуг руху, од.	2			2		
Ширина першої смуги руху (другої), м	3,4 (3,2)			3,4 (3,2)		
Напрямок руху	3-4	3-2	3-1	4-3	4-1	4-2
Інтенсивність руху, авт./год	537	99	123	704	84	151
Інтенсивність пішохідних потоків, пас./год	224			227		

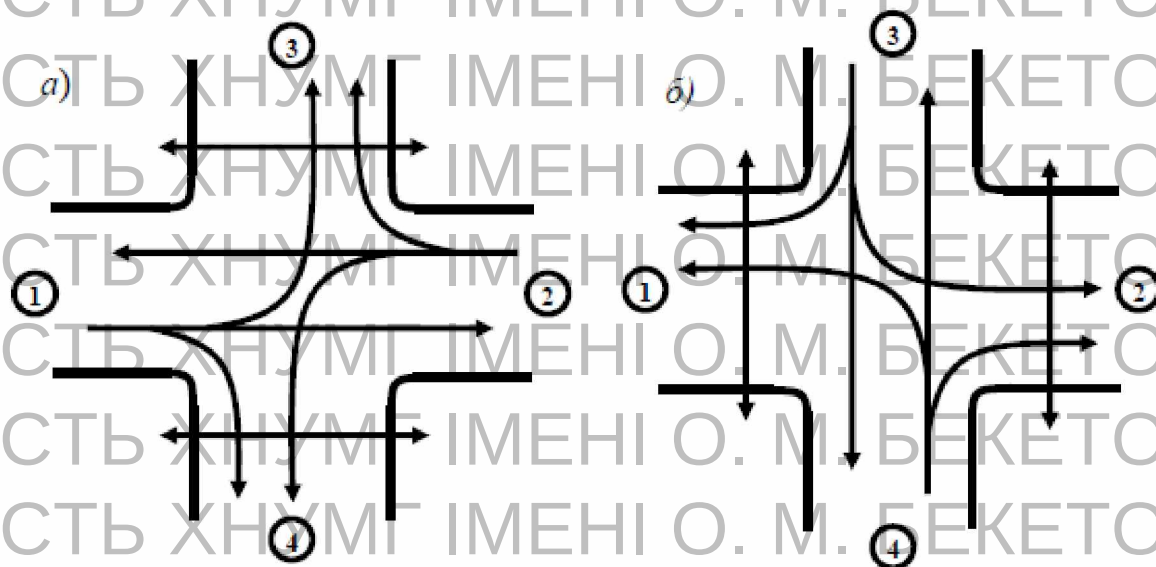


Рисунок 1 – Існуюча схема пофазного розізду:

а) I фаза; б) II фаза.

Таблиця 7 – Характеристики існуючого циклу світлофорного регулювання

Номер фази	1	2
Час основного такту, с	36	26
Час проміжного такту, с	4	4
Час циклу, с	70	

Студент _____

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота налічує 71 сторінку пояснювальної записки, 10 ілюстрацій, 12 таблиць, 11 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: міський автобусний маршрут.

Метою роботи є проектування організації перевезень на міському автобусному маршруті з добовим обсягом перевезень 4629 пасажирів.

Метод дослідження: аналітичний.

У роботі на основі розрахунків пасажиропотоків визначено параметри роботи маршруту, обґрунтовано використання автобусів малого класу пасажиромісткістю 43 пасажирів, встановлено потребу у 7 автобусах із плановим інтервалом руху 7,0 хв, виконано прогнозування обсягів перевезень та сформовано раціональний режим роботи маршруту залежно від добової нерівномірності транспортного попиту. Розроблено графік роботи водіїв і транспортних засобів, маршрутний розклад руху автобусів, що забезпечує раціональне використання рухомого складу, ефективну організацію праці водіїв і стабільне транспортне обслуговування пасажирів протягом усього періоду роботи маршруту. Запропоновано заходи з удосконалення організації дорожнього руху на перехресті, обґрунтовано двофазну схему світлофорного регулювання з оптимальною тривалістю циклу 64 с, що дозволило зменшити середньозважену затримку транспортних засобів на 7,2 %.

Рекомендації щодо впровадження: отримані результати можуть бути використані під час організації перевезень пасажирів.

АВТОБУСНИЙ МАРШРУТ, ПАСАЖИРОПОТІК НА ПЕРЕГОНІ
МАРШРУТУ, ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ, МАРШРУТНИЙ РОЗКЛАД,
ОРГАНІЗАЦІЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
Розділ 1 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.....	10
1.1 Аналіз методів організації та управління перевезеннями пасажирів у містах.....	10
1.2 Визначення пасажиропотоків та транспортної роботи.....	25
1.3 Вибір моделі автобусу.....	29
1.4 Розрахунок експлуатаційних показників перевізного процесу.....	35
1.5 Прогноз обсягу перевезень на маршруті.....	40
1.6 Висновки по розділу.....	41
Розділ 2 РОЗРОБКА РОЗКЛАДУ РУХУ.....	43
2.1 Визначення потрібної кількості автобусів за годинами роботи.....	43
2.2 Розробка графіку роботи водіїв і автобусів.....	47
2.3 Розробка маршрутного розкладу.....	47
2.4 Висновки по розділу.....	54
Розділ 3 ОРГАНІЗАЦІЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ МАРШРУТУ.....	55
3.1 Розроблення схеми організації дорожнього руху.....	55
3.2 Розроблення схеми пофазного роз'їзду.....	56
3.3 Оптимізація світлофорного циклу.....	59
3.4 Висновки по розділу.....	66
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	71

ННІЕІТІ ТСЛ ТТ 2023-1у ТТ XXX...ХПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка		
Розроб.		Рубан Р.Р.					
Перевір.		Понкратов Д.П.					
Н. контр.		Бурко Д.Л.					
Затв.		Куш Є.І.					
					Літера	Аркуш	Аркушів
					д н у	8	71
					ХНУМГ		

ВСТУП

Сучасне місто є складною урбаністичною системою, стабільне функціонування якої безпосередньо залежить від ефективності його транспортної інфраструктури. Серед усіх елементів міської транспортної системи пасажирський транспорт відіграє критично важливу роль, забезпечуючи щоденну мобільність населення, доступ до робочих місць, освітніх закладів, соціальних об'єктів тощо. На сьогодні міські автобусні перевезення залишаються найбільш масовим, гнучким та доступним видом громадського транспорту, який здатний швидко адаптуватися до територіальних змін і коливань пасажиропотоків.

Проте стрімкі процеси урбанізації, різке зростання кількості приватних автомобілів, тривалі затори на дорогах та зношеність рухомого складу створюють серйозні виклики для розвитку цього виду сполучення. Нерегулярність руху, неефективне дублювання маршрутів та низький рівень комфорту призводять до того, що міський транспорт втрачає свою привабливість для мешканців. У зв'язку з цим виникає гостра потреба в оптимізації та науково обґрунтованій організації міських автобусних перевезень. Рациональне управління цим процесом, що включає вивчення пасажиропотоків, розробку раціональних графіків руху, впровадження сучасних інформаційних систем та концепцій екологічної мобільності, є ключем до створення комфортного, безпечного та сталого міського середовища.

РОЗДІЛ 1

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

1.1 Аналіз методів організації та управління перевезеннями пасажирів у містах

Соціальна роль міського пасажирського транспорту визначається насамперед його здатністю забезпечувати рівний доступ населення до місць праці, навчальних закладів, медичних установ, адміністративних органів, торговельних центрів і закладів культури. Особливого значення громадський транспорт набуває для соціально вразливих категорій населення, зокрема людей похилого віку, осіб з інвалідністю, студентів, школярів та громадян, які не мають власних транспортних засобів. Саме тому розвиток системи пасажирських перевезень є важливим інструментом забезпечення соціальної справедливості та підвищення якості життя населення [1-9].

Високий рівень транспортної доступності безпосередньо впливає на економічну активність міста. Скорочення часу поїздок, підвищення регулярності руху та комфортності перевезень сприяють зростанню продуктивності праці, зменшенню непродуктивних витрат часу населення та покращенню умов ведення господарської діяльності. Крім того, ефективна робота громадського транспорту забезпечує стабільне функціонування підприємств, установ і організацій шляхом своєчасної доставки працівників до місць роботи [1, 8].

Важливою складовою соціальної значущості міських перевезень є їхній вплив на безпеку дорожнього руху та екологічний стан міського середовища. Використання громадського транспорту дає змогу зменшити кількість індивідуальних поїздок легковими автомобілями, що сприяє скороченню транспортних заторів, зниженню рівня шкідливих викидів, шумового

забруднення та споживання паливно-енергетичних ресурсів. У результаті покращуються умови проживання населення та підвищується екологічна стійкість міських територій [7, 9].

Особливого значення питання організації пасажирських перевезень набувають в умовах зростання рівня автомобілізації, урбанізації та зміни структури транспортного попиту. Збільшення чисельності населення міст, розвиток нових житлових районів і зміна характеру трудових поїздок вимагають постійного вдосконалення маршрутної мережі, оптимізації розкладів руху, впровадження сучасних інформаційних технологій, інтелектуальних транспортних систем та цифрових сервісів для пасажирів [1-9].

Не менш важливим напрямом є забезпечення доступності громадського транспорту для маломобільних груп населення. Використання низькопідлогових автобусів, облаштування зупинок відповідно до принципів безбар'єрності, впровадження систем аудіо- та візуального інформування пасажирів створюють умови для рівноправного користування транспортними послугами всіма категоріями громадян [6].

Соціальна ефективність функціонування міського пасажирського транспорту визначається не лише економічними показниками роботи перевізників, а й рівнем задоволеності населення якістю транспортного обслуговування. До основних критеріїв належать транспортна доступність, регулярність руху, швидкість сполучення, комфортність перевезень, безпека, надійність, інформаційне забезпечення та доступність тарифів. Комплексне врахування зазначених факторів дозволяє сформувати конкурентоспроможну систему громадського транспорту, здатну забезпечити сталий розвиток міста [7].

Таким чином, міські пасажирські перевезення виконують не лише транспортну, а й важливу соціальну, економічну та екологічну функції. Від рівня їх організації залежить мобільність населення, доступність соціальних

послуг, ефективність функціонування міської економіки, рівень безпеки дорожнього руху та якість життя мешканців. Саме тому вдосконалення системи організації міських пасажирських перевезень є одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасної транспортної інфраструктури та реалізації концепції сталої міської мобільності.

Рациональна організація та управління перевезеннями пасажирів у містах передбачає впровадження комплексу заходів технічного, технологічного та організаційного характеру (рис. 1.1).

Основою для проектування міських пасажирських перевезень є детальна інформація про параметри транспортного попиту населення. Обсяги та напрямки переміщень пасажирів змінюються у просторі та часі (за годинами доби, днями тижня та сезонами року), утворюючи стійкі пікові навантаження [1, 8].

Єдиним надійним джерелом отримання актуальних даних є транспортні обстеження населення, які поділяються на два класи: обстеження транспортних потреб (вивчення рухомості, розселення, бюджету часу) та обстеження пасажиропотоків безпосереднього на діючих маршрутах [1, 8].

У практиці організації перевезень застосовуються такі методи вивчення пасажиропотоків [1, 8]:

1. Звітно-статистичний (квитковий). Базується на аналізі кількості реалізованих проїзних документів. Дозволяє оцінити загальні обсяги перевезень за добу чи місяць, але не дає уявлення про розподіл пасажирів за перегонами маршруту.

2. Візуальний (окомірний). Полягає в оцінці наповнення салонів автобусів безпосередньо на перегонах за бальною або силуетною шкалою. Має високу оперативність, але значну похибку.

ЕТАПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ ПАСАЖИРІВ



Рисунок 1.1 – Схема заходів з організації та управління перевезеннями пасажирів

3. Талонний. Пасажирам при вході видаються талони з позначкою зупинки посадки, а при виході ці талони вилучаються. Це найбільш точний метод для формування матриці кореспонденцій (шляхів слідування) пасажирів між усіма зупинками, проте він є надзвичайно трудомістким.

4. Табличний метод. Обліковці, перебуваючи в салоні або на зупинках, фіксують точну кількість пасажирів, які увійшли та вийшли з транспортного засобу на кожному пункті зупинки. Цей метод визнано найбільш раціональним з огляду на баланс між трудомісткістю та інформативністю.

Сучасний етап розвитку систем управління характеризується переходом до автоматизованих методів збору інформації. Застосовуються два підходи: дискретний (підрахунок пасажирів за допомогою датчиків або відеокамер на дверях) та інтегральний (зважування рухомого складу на зупинках) [6, 8].

Прикладом успішної вітчизняної практики є впровадження систем типу «Відео-Кондуктор». Вони інтегрують високошвидкісні процесори, відеореєстратори зі стисненням даних за стандартом GPS навігації та модулі бездротового зв'язку (Wi-Fi, 3G/4G). Така технологія дозволяє передавати дані про пасажирообмін у реальному часі до диспетчерського центру для оперативного аналізу та автоматизованого розрахунку техніко-експлуатаційних показників маршруту [8].

Проектування міської маршрутної мережі належить до класу складних багатокритеріальних задач довгострокового та поточного планування. Метою оптимізації є створення такої конфігурації ліній руху, яка забезпечує мінімальні сумарні витрати часу пасажирів на переміщення (включаючи пішохідний підхід, очікування та пересадки) за умови раціонального використання ресурсів перевізників [1, 8].

Процес маршрутизації складається з двох взаємопов'язаних етапів: вибору (прокладання) траси маршрутів на вулично-дорожній мережі міста та подальшого розподілу транспортних засобів за цими лініями [8].

Для визначення міжрайонних транспортних зв'язків (кореспонденцій) за умов відсутності повних натурних даних широко використовують гравітаційні та ентропійні розрахункові моделі. Гравітаційні моделі базуються на принципі прямої залежності обсягу перевезень від місткості (потужності) транспортних районів та зворотної від просторово-часової відстані між ними. Ентропійні моделі застосовують апарат статистичної механіки (метод множників Лагранжа) для максимізації імовірнісних станів незамкненої міської системи [1, 8].

Оцінювання ефективності функціонування маршрутної мережі здійснюється на основі комплексу технічних, експлуатаційних, економічних, соціальних та екологічних критеріїв. Комплексний підхід дозволяє врахувати інтереси всіх учасників транспортного процесу (пасажирів, перевізників, органів місцевого самоврядування та суспільства загалом) [1].

Одним із основних критеріїв є транспортна доступність. Вона характеризує можливість населення швидко та зручно дістатися до основних пунктів тяжіння населення. Високий рівень транспортної доступності досягається завдяки рівномірному охопленню території міста маршрутною мережею, раціональному розміщенню зупинок та мінімізації відстані пішохідного підходу до них [6].

Не менш важливим критерієм є витрати часу пасажирів на пересування. Загальна тривалість поїздки складається з часу пішохідного підходу до зупинки, очікування транспортного засобу, безпосереднього перебування в салоні, часу пересадки та пішохідного підходу до кінцевого пункту призначення. Під час проектування маршрутної мережі прагнуть мінімізувати сумарний час поїздки, забезпечуючи прямі транспортні зв'язки між основними районами міста та скорочуючи кількість необхідних пересадок [1, 8].

Важливим показником ефективності є коефіцієнт пересадочності, який характеризує середню кількість пересадок, необхідних пасажиру для

досягнення пункту призначення. Зменшення кількості пересадок підвищує привабливість громадського транспорту, скорочує часові втрати та покращує комфортність перевезень. Разом із тим у великих містах повністю уникнути пересадок неможливо, тому особливого значення набуває створення зручних транспортно-пересадкових вузлів, що забезпечують швидке та безпечне пересадження між різними маршрутами або видами транспорту [1].

До найважливіших експлуатаційних критеріїв належать регулярність руху, експлуатаційна швидкість та інтервали руху транспортних засобів.

Регулярність характеризує стабільність виконання розкладу, тоді як експлуатаційна швидкість визначає ефективність використання рухомого складу та впливає на час поїздки пасажирів. Зменшення інтервалів руху сприяє скороченню часу очікування транспортного засобу та підвищує рівень транспортного обслуговування населення [1, 6].

Одним із ключових критеріїв є ступінь використання пасажиромісткості рухомого складу. Надмірне заповнення автобусів призводить до погіршення комфортності перевезень, збільшення часу посадки та висадки пасажирів і зниження рівня безпеки. Водночас недостатнє завантаження транспортних засобів негативно впливає на економічну ефективність роботи перевізника. Тому під час проектування маршрутної мережі необхідно забезпечувати раціональне співвідношення між місткістю транспортних засобів, інтенсивністю пасажиропотоків та частотою руху [1].

Важливим напрямом оцінювання є економічна ефективність функціонування маршрутної мережі. Вона визначається величиною експлуатаційних витрат перевізників, продуктивністю рухомого складу, витратами пального, потребою в транспортних засобах і персоналі, а також доходами від перевезення пасажирів. Ефективною вважається така маршрутна мережа, яка забезпечує необхідний рівень транспортного обслуговування за мінімальних сукупних витрат [1].

Під час сучасного проектування все більшого значення набуває соціальна ефективність маршрутної мережі. Вона характеризується рівнем задоволеності населення транспортним обслуговуванням, доступністю перевезень для маломобільних груп населення, безпекою, комфортністю поїздок та можливістю безперешкодного доступу до соціально важливих об'єктів. До соціальних критеріїв також належать безбар'єрність транспортної інфраструктури, доступність тарифів і надійність транспортного сполучення [6, 7].

Суттєву роль відіграють екологічні критерії, що відображають вплив транспортної системи на навколишнє середовище. До них належать рівень шкідливих викидів, споживання енергетичних ресурсів, шумове навантаження та площа територій, зайнятих транспортною інфраструктурою. Під час проектування маршрутної мережі перевага надається рішенням, які сприяють скороченню використання індивідуального автомобільного транспорту, розвитку електротранспорту та автобусів з екологічними силовими установками [6, 7].

В умовах розвитку концепції сталої міської мобільності дедалі більшого значення набувають критерії інтегрованості та адаптивності маршрутної мережі. Інтегрованість передбачає узгоджену роботу автобусних, тролейбусних, трамвайних маршрутів, метрополітену, приміського транспорту, велосипедної інфраструктури та сервісів спільної мобільності. Адаптивність характеризує здатність маршрутної мережі оперативно реагувати на зміни транспортного попиту, містобудівної ситуації, чисельності населення та режимів функціонування міста [6, 7].

Для комплексної оцінки ефективності маршрутної мережі доцільно використовувати систему взаємопов'язаних показників, до якої входять: коефіцієнт маршрутної забезпеченості території, середня довжина поїздки, середній час пересування, коефіцієнт пересадочності, маршрутний коефіцієнт, середня експлуатаційна швидкість, коефіцієнт використання

пасажиромісткості, регулярність руху, продуктивність рухомого складу, транспортна доступність, рівень комфортності та показники екологічної безпеки. Аналіз цих показників дозволяє виявити недоліки існуючої маршрутної мережі та визначити напрями її подальшого вдосконалення [1].

Таким чином, ефективність проектування міської маршрутної мережі визначається не окремим показником, а сукупністю взаємопов'язаних критеріїв, які характеризують якість транспортного обслуговування, рівень використання ресурсів, економічну доцільність, соціальну значущість та екологічну безпечність транспортної системи. Застосування комплексного критеріального підходу дозволяє сформувати маршрутну мережу, яка забезпечує високий рівень мобільності населення, раціональне використання рухомого складу та відповідає сучасним принципам сталого розвитку міського транспорту.

Ефективне функціонування міських систем пасажирського транспорту безпосередньо залежить від обґрунтованого вибору типу, марки та місткості рухомого складу. Процес підбору транспортних засобів є складною багатокритеріальною інженерно-економічною задачею, яка повинна враховувати динаміку пасажиропотоків, параметри вулично-дорожньої мережі, технологічні вимоги та економічні показники діяльності перевізників [8].

Основним методологічним принципом вибору рухомого складу є досягнення балансу між якістю обслуговування пасажирів (мінімізація витрат часу, забезпечення комфорту та безпеки) і рентабельністю роботи транспортного оператора. При цьому вибір здійснюється на основі аналізу таких ключових факторів [1, 6, 8]:

1. Потужність і конфігурація пасажиропотоків за годинами доби, днями тижня та напрямками руху.

2. Технічні параметри вулично-дорожньої мережі (ширина проїзної частини, радіуси поворотів, ухили, стан дорожнього покриття, наявність штучних споруд).

3. Екологічні вимоги та обмеження, що діють у межах міських агломерацій або окремих зон (наприклад, зони з низьким рівнем викидів).

4. Техніко-експлуатаційні та економічні характеристики самих транспортних засобів (собівартість перевезень, витрата палива чи електроенергії, надійність, капітальні витрати на придбання).

Ключовим фактором, що визначає доцільність використання тієї чи іншої категорії рухомого складу, є потужність пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту у годину пік. Невідповідність місткості рухомого складу реальному попиту призводить або до переповнення салонів (зниження якості послуг, виникнення транспортної втомлюваності), або до незавантаженості транспорту (зростання собівартості перевезень, збитковість) [1, 6, 8].

Для диференціації умов вибору використовується наступна класифікація пасажиропотоків та відповідних їм типів транспортних засобів [8]:

1. Мала потужність (до 500 пас./год). Рациональним є використання автобусів особливо малої (мікроавтобуси) та малої місткості (до 30–40 місць). Це дозволяє підтримувати високу частоту руху (малий інтервал) за низького пасажирського попиту.

2. Середня потужність (500–1500 пас/год). Рекомендується застосування автобусів середньої (місткість 40–70 пасажирів) та великої місткості (70–110 пасажирів), а також міського наземного електротранспорту (тролейбусів).

3. Велика потужність (1500–4000 пас/год). Вимагає впровадження великих та надвеликих зчленованих автобусів, троллейбусів або трамвайних систем на відокремленому полотні.

4. Надвелика потужність (понад 4000–5000 пас/год). Сфера ефективного функціонування позавуличного швидкісного транспорту (метрополітену, міської електрички або систем швидкісного трамвая).

Розклад руху є основним технологічним та організаційним документом, який регламентує роботу пасажирського транспорту на маршрутній мережі міста чи регіону. Він координує діяльність усіх підрозділів транспортного підприємства, визначає порядок роботи рухомого складу та автобусних бригад, а також забезпечує взаємозв'язок між попитом населення на перевезення та пропозицією транспортних послуг [1, 2, 4, 8].

Науково обґрунтована розробка розкладу руху дозволяє одночасно вирішувати три найважливіші завдання міської мобільності [1, 2, 4, 8]:

1. Соціальне. Забезпечення високої регулярності руху, мінімізація часу очікування пасажирів на зупинках, недопущення наднормативного наповнення салонів та гарантування безпеки поїздок.

2. Економічне. Рациональне використання рухомого складу та паливно-енергетичних ресурсів, оптимізація витрат на заробітну плату персоналу, максимізація доходів за рахунок узгодження кількості рейсів із піковими пасажиропотоками.

3. Технологічне. Чітка синхронізація роботи різних видів транспорту у пересадочних вузлах, дотримання режимів праці та відпочинку водіїв відповідно до національного та міжнародного законодавства.

Процесу безпосереднього складання графіків руху передуює масштабний етап збору, систематизації та аналізу вихідної інформації. До базового масиву даних, необхідних для розрахунків, належать [1, 2, 4, 8]:

1. Матеріали обстеження пасажиропотоків: погодинні та порейсові обсяги перевезень, потужність пасажиропотоку за напрямками та перегонами маршруту, коефіцієнти нерівномірності за годинами доби.

2. Параметри маршруту: довжина маршруту в прямому та зворотному напрямках, кількість та дислокація зупинкових пунктів, наявність та облаштування кінцевих станцій.

3. Швидкісні характеристики: нормативи часу руху між проміжними зупинками, диференційовані за періодами доби (ранок, день, вечір, міжпіковий період) з урахуванням завантаженості дорожньої мережі.

4. Характеристики рухомого складу: тип, марка, місткість та кількість доступних для випуску транспортних засобів.

Основним розрахунковим параметром розкладу є інтервал руху. Оскільки пасажиропотік суттєво змінюється протягом доби, доба розбивається на окремі розрахункові періоди (як правило: ранковий пік, денний міжпік, вечірній пік, вечірній спад). Для кожного періоду інтервал руху визначається окремо виходячи з наявних пасажиропотоків [1, 2, 4, 8].

Залежно від специфіки маршруту та стабільності пасажиропотоків у практиці експлуатації застосовують кілька методів організації руху та відповідних їм типів розкладів [1, 2, 4, 8]:

1. Табличний розклад. Послідовний перелік часу відправлення транспортних засобів з кінцевих та ключових проміжних пунктів. Є базовим робочим документом для водіїв та лінійних диспетчерів.

2. Графічний (стрічковий) розклад. Являє собою візуальне відображення руху кожного транспортного засобу у координатах «час–відстань». Дозволяє наочно контролювати місця можливих накладень рейсів.

3. Тактовий розклад. Передбачає рух транспортних засобів через фіксовані рівні проміжки часу (наприклад, кожні 10, 15 або 20 хвилин) протягом усього дня. Має найвищий рівень зручності для пасажирів, оскільки не вимагає запам'ятовування точного похвилинного часу відправлення.

Невід'ємною складовою розробки розкладу є складання графіків роботи водіїв. Цей процес жорстко регламентується трудовим законодавством,

нормативами безпеки дорожнього руху та вимогами щодо обмеження тривалості безперервного перебування за кермом [1, 2, 4, 8].

Для покриття всього часу роботи маршруту (який у містах часто становить 16–18 годин на добу) застосовують такі системи організації праці [1, 2, 4, 8]:

1. Однозмінна. Один водій працює на автобусі протягом однієї зміни (до 8–9 годин).
2. Спарена (двозмінна або тризмінна). На одному транспортному засобі послідовно працюють два або три водії. Зміна бригад відбувається безпосередньо на кінцевих станціях або в депо під час технологічних перерв, передбачених розкладом.
3. Розривна зміна (перерваний режим). Водій працює вранці (4-5 годин), після чого має тривалу міжзмінну перерву (3-5 години) у міжпіковий період, і повертається до роботи у вечірній пік. Цей метод дозволяє максимально адаптувати випуск автобусів до коливань пасажиропотоку, проте є психологічно складним для персоналу.

Організація дорожнього руху на маршрутах міського пасажирського транспорту є одним із важливих напрямів забезпечення ефективного функціонування системи перевезень. Від якості організації руху залежить безпека перевезень, регулярність виконання рейсів, швидкість сполучення, рівень транспортного обслуговування населення та економічна ефективність роботи перевізників. Рациональна організація дорожнього руху спрямована на створення умов, за яких громадський транспорт здійснює перевезення з мінімальними затримками, високою надійністю та дотриманням установлених графіків руху [10, 11].

Особливістю маршрутів міського пасажирського транспорту є їх функціонування в умовах інтенсивного змішаного транспортного потоку, до складу якого входять легкові автомобілі, вантажний транспорт, велосипеди, засоби індивідуальної мобільності та пішоходи. Унаслідок цього на

маршрутах виникають конфліктні ситуації, затримки на перехрестях, нерівномірність швидкості руху та порушення розкладу. Для мінімізації впливу зазначених факторів застосовується комплекс організаційних, технічних і технологічних заходів, спрямованих на підвищення пріоритетності громадського транспорту [6, 7, 10, 11].

Одним із основних завдань організації дорожнього руху є забезпечення безпечного та безперешкодного проходження маршрутних транспортних засобів уздовж визначених трас руху. Це досягається шляхом оптимізації схеми дорожнього руху, удосконалення організації руху на перехрестях, раціонального розміщення зупинок, впровадження технічних засобів регулювання та використання сучасних інформаційних систем управління транспортними потоками [10, 11].

Важливим елементом організації руху є формування безпечної та логічної схеми руху на перехрестях. Залежно від інтенсивності транспортних потоків застосовуються нерегульовані або регульовані перехрестя зі світлофорним керуванням. При проєктуванні режимів світлофорного регулювання визначаються оптимальна кількість фаз, тривалість світлофорного циклу, основних і проміжних тактів, що забезпечують мінімізацію транспортних затримок та підвищення пропускну здатності. На маршрутах громадського транспорту дедалі ширше використовуються адаптивні системи керування світлофорними об'єктами, які дозволяють змінювати параметри регулювання залежно від фактичної інтенсивності руху [10, 11].

Одним із найбільш ефективних заходів підвищення швидкості сполучення є надання громадському транспорту пріоритету в русі. Такий пріоритет може реалізовуватися шляхом облаштування виділених смуг для маршрутних транспортних засобів, впровадження пріоритетного проїзду через світлофорні об'єкти, організації окремих фаз світлофорного регулювання для автобусів і тролейбусів, а також застосування

інтелектуальних транспортних систем, що автоматично надають перевагу транспортному засобу, який наближається до перехрестя. Реалізація зазначених заходів сприяє підвищенню експлуатаційної швидкості, покращенню регулярності руху та зменшенню експлуатаційних витрат [10, 11].

Особливе значення має правильне розміщення зупинок громадського транспорту. Вибір місця їх розташування здійснюється з урахуванням пасажироутворюючих об'єктів, інтенсивності пішохідного руху, геометричних параметрів вулиць, умов безпеки дорожнього руху та забезпечення зручності пересадки між різними маршрутами. Для скорочення часу обслуговування пасажирів сучасні зупинки обладнуються посадковими майданчиками, павільйонами, інформаційними табло, системами освітлення та засобами забезпечення безбар'єрного доступу [10, 11].

Організація дорожнього руху також передбачає застосування комплексу технічних засобів регулювання. До них належать дорожні знаки, горизонтальна та вертикальна розмітка, транспортні й пішохідні світлофори, напрямні пристрої, дорожні огороження та інформаційні покажчики. Їх комплексне використання забезпечує чітке регламентування руху транспортних засобів, підвищує рівень безпеки та сприяє зменшенню кількості дорожньо-транспортних пригод [10, 11].

Суттєвий вплив на організацію дорожнього руху мають параметри транспортних потоків. Під час проектування маршрутів враховуються інтенсивність руху, склад транспортного потоку, пропускна здатність вулиць, рівень завантаження перехресть, швидкість сполучення та особливості забудови міської території. На підставі цих показників визначаються доцільність організації одностороннього руху, необхідність реконструкції окремих ділянок вулично-дорожньої мережі, облаштування виділених смуг або зміни схем організації руху [10, 11].

Сучасна концепція організації дорожнього руху базується на принципах сталої міської мобільності, відповідно до яких пріоритет надається громадському транспорту, пішохідному та велосипедному руху. Такий підхід дозволяє зменшити залежність населення від індивідуального автомобільного транспорту, скоротити транспортні затори, покращити екологічний стан міського середовища та забезпечити більш раціональне використання вулично-дорожньої мережі [10, 11].

Отже, організація дорожнього руху на маршрутах міського пасажирського транспорту є комплексним процесом, що поєднує інженерні, організаційні та інформаційні рішення, спрямовані на підвищення безпеки, регулярності та ефективності перевезень. Раціональне поєднання сучасних технічних засобів організації руху, пріоритету громадського транспорту, інтелектуальних систем керування та оптимальних схем організації руху забезпечує покращення якості транспортного обслуговування населення, зниження транспортних затримок і створення передумов для сталого розвитку міської транспортної системи [10, 11].

1.2 Визначення пасажиропотоків та транспортної роботи

Для визначення величини пасажиропотоків на окремих перегонах маршруту використовуємо розрахункову залежність, яка враховує кількість пасажирів, що здійснюють поїздку в заданому напрямку. Розрахунок виконуємо за такою формулою:

$$F_{i-j} = F_{(i-1)-(j-1)} + Q_{ei} - Q_{si}, \quad (1.1)$$

де $F_{(i-1)-(j-1)}$ - потужність потоку на попередньому перегоні, пас./год;

$Q_{\text{в}i}, Q_{\text{з}i}$ - кількість пасажирів, що здійснили посадку та висадку на зупинці, пас./год.

Для перегону 1 – 2:

$$F_{1-2} = 218 \text{ пас./год.}$$

Для перегону 2 – 3:

$$F_{2-3} = 218 + 55 - 5 = 268 \text{ пас./год.}$$

Отримані значення пасажиропотоків на всіх інших перегонах досліджуваного маршруту систематизовано й представлено в табл. 1.1 та зображено на рис. 1.2.

Таблиця 1.1 – Результати розрахунку пасажиропотоку

Прямий напрямок руху				Зворотний напрямок руху			
Перегін маршруту	Довжина перегону, км	Потужність пасажиропотоку, пас./год	Транспортна робота, пас. км	Перегін маршруту	Довжина перегону, км	Потужність пасажиропотоку, пас./год	Транспортна робота, пас. км
1-2	0,76	218	165,7	10-9	1,01	153	154,5
2-3	0,89	268	238,5	9-8	0,82	173	141,9
3-4	0,93	298	277,1	8-7	1,07	193	206,5
4-5	0,91	307	279,4	7-6	1,03	195	200,9
5-6	0,78	320	249,6	6-5	0,78	206	160,7
6-7	1,03	300	309,0	5-4	0,91	203	184,7
7-8	1,07	279	298,5	4-3	0,93	185	172,1
8-9	0,82	251	205,8	3-2	0,89	165	146,9
9-10	1,01	206	208,1	2-1	0,76	136	103,4
Всього	8,20	2447	2231,7	Всього	8,20	1609	1471,4



Рисунок 1.2 – Пасажиropотоки на маршруті

Встановлюємо значення максимального пасажиропотоку:

$$F_{\max} = \max\{218; 268; 298; 307; 320; 300; 279; 251; 206; \dots 136\} = 320 \text{ пас./год.}$$

Аналіз результатів розрахунків показав, що найбільше значення пасажиропотоку зафіксовано на перегоні 5–6, де його величина становить 320 пас./год.

Визначасмо обсяг перевезених пасажирів:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_{6i} = \sum_{i=1}^n Q_{3i}. \quad (1.2)$$

У прямому напрямку:

$$Q = 218 + 55 + 43 + 28 + 36 + 18 + 23 + 12 + 7 = 440 \text{ пас.}$$

У зворотному напрямку:

$$Q = 153 + 26 + 29 + 19 + 34 + 17 + 11 + 4 + 2 = 295 \text{ пас.}$$

Загальне значення:

$$Q = 440 + 295 = 735 \text{ пас.}$$

Визначаємо транспортну роботу на перегоні маршруту:

$$W_{i-j} = F_{i-j} \cdot l_{i-j}, \quad (1.3)$$

де l_{i-j} - довжина перегону, км.

Для перегону 1–2:

$$W_{1-2} = 0,76 \cdot 218 = 165,7 \text{ пас. км.}$$

Аналогічні розрахунки транспортної роботи виконано для всіх інших перегонів маршруту. Отримані результати систематизовано та представлено в табл. 1.1.

Транспортна робота у прямому напрямку:

$$W = 165,7 + 238,5 + 277,1 + 279,4 + 249,6 + 309,0 + 298,5 + 205,8 + \\ + 208,1 = 2231,7 \text{ пас. км.}$$

У зворотному напрямку:

$$W = 154,5 + 141,9 + 206,5 + 200,9 + 160,7 + 184,7 + 172,1 + 146,9 + \\ + 103,4 = 1471,4 \text{ пас. км.}$$

Загальна транспортна робота:

$$W = 2231,7 + 1471,4 = 3703,1 \text{ пас. км.}$$

Після виконання наведених розрахунків переходимо до вибору моделі автобуса, техніко-експлуатаційні характеристики якого забезпечують ефективне обслуговування пасажиропотоку на маршруті.

1.3 Вибір моделі автобуса

Відповідно до результатів розрахунків максимальний пасажиропотік на маршруті становить 320 пас./год. Згідно з рекомендаціями щодо вибору рухомого складу залежно від величини пасажиропотоку [8], для обслуговування маршрутів із такою інтенсивністю перевезень доцільно використовувати автобуси малого або середнього класу пасажиромісткості. З урахуванням зазначеного для подальшого аналізу як альтернативні варіанти обрано автобуси БАЗ-А081.11 та ЗАЗ А08А0В, технічні та експлуатаційні характеристики яких наведено в табл. 1.2. Порівняльний аналіз цих моделей дозволить обґрунтувати вибір автобуса, що найбільшою мірою відповідає умовам експлуатації досліджуваного маршруту та забезпечує необхідний рівень транспортного обслуговування пасажирів.

Таблиця 1.2 – Характеристика рухомого складу

Показник	БАЗ-А081.11	ЗАЗ А08А0В
Годинна тарифна ставка водія, грн./год	190,73	190,73
Норма відрахувань на соціальне страхування, %	37,5	37,5
Витрата палива, л/100 км	19	21
Експлуатаційна швидкість, км/год	20	20
Вартість одного літра палива, грн./л	81,34	81,34
Норматив відрахувань на мастильні матеріали, %	10,2	10,2
Норма відрахувань на технічне обслуговування і ремонт, грн./1000 км	3820	4050
Кількість коліс автобусу без урахування запасного, од.	6	6
Вартість шини, грн.	4570	4570
Норма відрахувань на реновацію шин, %	3	3
Експлуатаційний пробіг шин, км	70000	70000
Кількість днів роботи маршруту, дн.	365	365
Середній час автобусу у наряді, год	8	8
Норма відрахувань на амортизацію рухомого складу, %	40	40
Вартість автобусу, грн.	2283000	2511000
Годинна тарифна ставка управлінського персоналу, грн/год.	210,8	210,8
Норматив відрахувань на накладні витрати, %	20	20

Для обраних моделей автобусів визначаємо величину експлуатаційних витрат за одну годину роботи на маршруті, що дає змогу оцінити економічну доцільність використання кожної моделі. Розрахунок виконуємо за такою формулою:

$$Z_{\text{год}} = 3\Pi_{\text{с}} + B_n + B_m + B_{\text{ТОіР}} + B_{\text{ш}} + B_a + B_{\text{yn}} + B_n, \quad (1.4)$$

де $ЗП_е$ – витрати на заробітну платню водія, грн./год;

B_n – витрати на паливо, грн./год;

B_m – витрати на мастильні матеріали, грн./год;

$B_{ТОР}$ – витрати на технічне обслуговування і ремонт автобусу, грн./год;

$B_{ш}$ – витрати на автомобільні шини, грн./год;

B_a – амортизаційні відрахування, грн./год;

$B_{уп}$ – витрати на заробітну платню управлінського персоналу, грн./год;

B_n – накладні витрати, грн./год.

Далі наведемо приклад розрахунку окремих складових експлуатаційних витрат на прикладі автобуса БАЗ-А081.11.

Витрати на заробітну платню водія:

$$ЗП_е = Г_{мс} \cdot \left(1 + \frac{C_{сп}}{100} \right), \quad (1.5)$$

де $Г_{мс}$ – годинна тарифна ставка водія, грн./год;

$C_{сп}$ – норма відрахувань на соціальне страхування, %.

$$ЗП_е = 190,73 \cdot \left(1 + \frac{37,5}{100} \right) = 262,25 \text{ грн.}$$

Витрати на паливо:

$$B_n = \frac{H_{100} \cdot V_e \cdot B_{1л}}{100}, \quad (1.6)$$

де H_{100} – витрата палива на 100 км пробігу автобусу, л/100 км;

V_e – експлуатаційна швидкість, км/год;

$B_{1л}$ – вартість літра палива, грн. /л.

$$B_n = \frac{19 \cdot 20 \cdot 81,34}{100} = 309,09 \text{ грн.}$$

Витрати на мастильні матеріали:

$$B_m = \frac{B_n \cdot C_m}{100}, \quad (1.7)$$

де C_m – норматив відрахувань на мастильні матеріали, %.

$$B_m = \frac{309,09 \cdot 10,2}{100} = 31,53 \text{ грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування та ремонт:

$$B_{TOIP} = \frac{H_{TOIP} \cdot V_e}{1000}, \quad (1.8)$$

де H_{TOIP} – норма відрахувань на технічне обслуговування та ремонт автобусу, грн./1000 км.

$$B_{TOIP} = \frac{3820 \cdot 20}{1000} = 76,40 \text{ грн.}$$

Витрати на шини:

$$B_{ш} = \frac{n_{ш} \cdot B_{ш} \cdot H_{ш} \cdot L_e}{100 \cdot 1000 \cdot D_p \cdot T_n}, \quad (1.9)$$

де $n_{ш}$ – кількість коліс без урахування запасного, од.;

$B_{ш}$ – вартість однієї шини, грн.;

$H_{ш}$ – норма відрахувань на шини, %;

L_e – експлуатаційний пробіг шин, км;

D_p – календарні дні роботи на маршруті, дн.;

T_n – середній час перебування автобусу в наряді.

$$B_{ш} = \frac{6 \cdot 4570 \cdot 3 \cdot 70000}{100 \cdot 1000 \cdot 365 \cdot 8} = 19,72 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію транспортних засобів:

$$B_a = \frac{H_a \cdot Ц_б}{100 \cdot D_p \cdot T_n}, \quad (1.10)$$

де H_a – норма відрахувань на амортизацію, %;

$Ц_б$ – балансова вартість автобусу, грн.

$$B_a = \frac{40 \cdot 2283000}{100 \cdot 365 \cdot 8} = 312,74 \text{ грн.}$$

Витрати на заробітну платню управлінського персоналу:

$$B_{yn} = \Gamma_{mc} \cdot \left(1 + \frac{C_{exp}}{100} \right), \quad (1.11)$$

де Γ_{mc} – годинна тарифна ставка управлінського персоналу, грн./год.

$$B_{yn} = 210,8 \cdot (1 + 37,5/100) = 289,85 \text{ грн.}$$

Накладні витрати:

$$B_n = \frac{(3П_е + B_n + B_m + B_{TOIP} + B_{ш} + B_a + B_{yn}) \cdot C_n}{100}, \quad (1.12)$$

де C_n – норматив відрахувань на накладні витрати, $C_n = 20 \%$.

$$B_n = \frac{(262,25 + 309,09 + 31,53 + 76,40 + 19,72 + 312,74 + 289,85) \cdot 20}{100} = 260,32 \text{ грн.}$$

Загальні годинні експлуатаційні витрати:

$$Z_{год} = 262,25 + 309,09 + 31,53 + 76,40 + 19,72 + 312,74 + 289,85 + 260,32 = 1561,90 \text{ грн.}$$

За наведеною методикою виконуємо розрахунок складових експлуатаційних витрат для автобуса моделі ЗАЗ А08А0В. Отримані результати узагальнено та представлено в табл. 1.3, що створює основу для подальшого порівняльного аналізу економічної ефективності експлуатації обох моделей автобусів.

За результатами проведених розрахунків встановлено, що найменші сумарні експлуатаційні витрати мають автобуси марки БАЗ-А081.11 і становлять 1561,90 грн. Це свідчить про вищу економічну ефективність їх експлуатації порівняно з альтернативною моделлю ЗАЗ А08А0В.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунку експлуатаційних витрат

Стаття витрат	Марка автобуса	
	БА3-А081.11	ЗА3 А08А0В
Витрати на заробітну платню водія, грн./год	262,25	262,25
Витрати на паливо, грн./год	309,09	341,63
Витрати на мастильні матеріали, грн./год	31,53	34,85
Витрати на технічне обслуговування та ремонт автобусу, грн./год	76,40	81,00
Витрати на шини, грн./год	19,72	19,72
Витрати на амортизацію автобусу, грн./год	312,74	343,97
Витрати на заробітну платню управлінського персоналу, грн./год	289,85	289,85
Накладні витрати, грн./год	260,32	274,65
Сумарні експлуатаційні витрати, грн./год	1561,90	1647,92

Отже, для організації перевезень на досліджуваному маршруті доцільно рекомендувати використання автобусів БА3-А081.11, оскільки їх застосування забезпечує мінімізацію експлуатаційних витрат перевізника за умови дотримання необхідного рівня транспортного обслуговування пасажирів.

1.4 Розрахунок експлуатаційних показників перевізного процесу

Наступним етапом виконуємо розрахунок часу обертів автобуса на маршруті, який характеризує тривалість виконання повного циклу руху від початкової до кінцевої зупинки та у зворотному напрямку. Розрахунок здійснюємо за формулою:

$$t_{об} = \frac{2 \cdot l_m}{V_e}, \quad (1.13)$$

де l_m - довжина маршруту, км,

V_e - експлуатаційна швидкість, км/год.

$$t_{об} = \frac{2 \cdot 8,2}{20} = 0,82 \text{ год} = 49 \text{ хв.}$$

Розраховуємо потрібну кількість автобусів:

$$A = \frac{F_{\max} \cdot t_{об}}{q_n}, \quad (1.14)$$

де q_n - номінальна пасажиромісткість автобусу, пас.

$$A = \frac{320 \cdot 0,8}{43} = 7 \text{ од.}$$

Визначаємо інтервал руху автобусів:

$$I_{нл} = \frac{t_{об}}{A}, \quad (1.15)$$

$$I_{нл} = \frac{49}{7} = 7,0 \text{ хв.}$$

Середню відстань поїздки пасажирів:

$$l_{cp} = \frac{W}{Q}. \quad (1.16)$$

У прямому напрямку:

$$l_{cp} = \frac{2231,7}{440} = 5,07 \text{ км.}$$

У зворотному напрямку:

$$l_{cp} = \frac{1471,4}{295} = 4,99 \text{ км.}$$

Визначаємо динамічного коефіцієнту використання місткості:

$$\gamma_{\phi} = \frac{t_{об} W}{l_m q_n A}. \quad (1.17)$$

У прямому напрямку:

$$\gamma_{\phi} = \frac{0,82 \cdot 2231,7}{8,20 \cdot 43 \cdot 7} = 0,741.$$

У зворотному напрямку:

$$\gamma_{\phi} = \frac{0,82 \cdot 1471,4}{8,20 \cdot 43 \cdot 7} = 0,489.$$

Проводимо розрахунок статичного коефіцієнту використання місткості:

$$\gamma_c = \frac{t_{об} \sum_{i=1}^n F_{ij}}{n A q_n}. \quad (1.18)$$

де n - кількість перегонів на маршруті, од.

Для прямого напрямку:

$$\gamma_c = \frac{0,82 \cdot 2447}{9 \cdot 7 \cdot 43} = 0,741.$$

У зворотному напрямку:

$$\gamma_c = \frac{0,82 \cdot 1609}{9 \cdot 7 \cdot 43} = 0,487.$$

Визначаємо коефіцієнт змінюваності пасажирів:

$$\eta = \frac{l_m}{l_{cp}} \times \frac{\gamma_{\partial}}{\gamma_c}. \quad (1.19)$$

Для прямого напрямку:

$$\eta = \frac{8,2}{5,07} \times \frac{0,741}{0,741} = 1,62.$$

Для зворотного напрямку:

$$\eta = \frac{8,2}{4,99} \times \frac{0,489}{0,487} = 1,65.$$

Отримані в результаті розрахунків значення систематизуємо та подаємо у вигляді табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Експлуатаційні показники перевізного процесу

№ п/п	Показники	Напрямок руху	
		прямий	зворотний
1	Обсяг перевезень, пас.	440	295
2	Довжина маршруту, км	8,2	
3	Експлуатаційна швидкість, км/год	20	
4	Час оберту, хв.	49	
5	Місткість автобусів, пас.	43	
6	Модель автобуса	БАЗ-А081.11	
7	Максимальний пасажиропотік на маршруті, пас/год	320	
8	Потрібна кількість рухомого складу, од.	7	
9	Інтервал руху автобусів, хв.	7,0	
10	Обсяг транспортної роботи, пас. км	3703,1	
11	Середня відстань поїздки пасажира, км	2231,7	1471,4
12	Динамічний коефіцієнт використання місткості автобуса	5,07	4,99
13	Статичний коефіцієнт використання місткості автобуса	0,741	0,489
14	Коефіцієнт змінюваності	0,741	0,487
		1,62	1,65

Далі виконуємо розробку прогнозу обсягу перевезень на маршруті.

1.5 Прогноз обсягу перевезень на маршруті

З метою оцінювання перспективної зміни обсягів перевезень виконуємо прогнозування за допомогою програми Microsoft Excel.

Результати розрахунків систематизовано в табл. 1.5 та наочно представлено у вигляді діаграми (рис. 1.3), що дає змогу проаналізувати тенденції зміни транспортного попиту.

Таблиця 1.5 – Наявні та прогнозовані обсяги перевезень

Місяці	Обсяг перевезень, пас.			
	2023	2024	2025	2026
Січень	150236	167210	189077	181909
Лютий	150528	142350	147890	156559
Березень	143096	160304	171790	174408
Квітень	156211	152107	168305	166958
Травень	158542	163933	162005	178774
Червень	154754	174972	188617	184084
Липень	143970	146173	151244	164008
Серпень	133479	142734	161851	157134
Вересень	156502	177762	174921	186092
Жовтень	156502	148536	155572	171327
Листопад	149508	164069	165431	175831
Грудень	159708	156010	166529	182202
Всього	1813035	1896162	2003231	2079286

Таким чином, виконане прогнозування обсягів перевезень засвідчило тенденцію до їх подальшого зростання. Зокрема, прогнозний річний обсяг перевезень у 2026 році становить 2079286 пасажирів, що на 76055 пасажирів (3,80 %) більше порівняно з попереднім роком.



Рисунок 1.3 – Діаграма зміни обсягів перевезень

Отримані результати підтверджують доцільність запропонованих організаційно-технологічних рішень і є вихідною основою для подальшого розроблення режимів роботи автобусів, маршрутного розкладу та заходів з удосконалення організації дорожнього руху.

1.6 Висновки по розділу

1. Проаналізовано методи організації міських пасажирських перевезень, розглянуто сучасні методи дослідження пасажиропотоків, принципи формування маршрутної мережі, критерії її ефективності, особливості вибору рухомого складу, розроблення розкладу руху та організації дорожнього руху на маршрутах міського пасажирського транспорту. Встановлено, що ефективність транспортного обслуговування визначається комплексним урахуванням технічних, економічних, соціальних та експлуатаційних показників.

2. За результатами розрахунку пасажиропотоків встановлено, що максимальна інтенсивність перевезень становить 320 пас./год і спостерігається на перегоні 5–6. Загальний обсяг перевезень у годину пік

складає 735 пас., а транспортна робота на маршруті – 3703,1 пас. км. Для забезпечення необхідного рівня транспортного обслуговування обґрунтовано застосування автобусів малого класу пасажиромісткістю 43 пасажирів. На підставі техніко-експлуатаційних розрахунків визначено необхідну кількість рухомого складу – 7 автобусів, тривалість оборту – 49 хв, а плановий інтервал руху – 7,0 хв, що забезпечує належний рівень транспортного обслуговування пасажирів.

3. Виконане прогнозування обсягів перевезень засвідчило тенденцію до їх подальшого зростання. Зокрема, прогнозний річний обсяг перевезень у 2026 році становить 2079286 пасажирів, що на 76055 пасажирів (3,80 %) більше порівняно з попереднім роком. Отримані результати підтверджують доцільність запропонованих організаційно-технологічних рішень і є вихідною основою для подальшого розроблення режимів роботи автобусів, маршрутного розкладу та заходів з удосконалення організації дорожнього руху.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА РОЗКЛАДУ РУХУ

2.1 Визначення потрібної кількості автобусів за годинами роботи

Зважаючи на нерівномірний характер розподілу пасажиропотоків протягом доби, проводимо їх розрахунок для окремих періодів роботи маршруту. Це дає змогу визначити зміну транспортного попиту залежно від часу доби та обґрунтувати необхідну кількість рухомого складу, інтервали руху і режим роботи маршруту. Для розрахунку застосовуємо формулу:

$$F_{i-(i+1)} = F_{\text{пк}} \cdot K_{n(i-(i+1))}, \quad (2.1)$$

де $F_{\text{пк}}$ - пасажиропотік у годину «пк»;

$K_{n(i-(i+1))}$ - коефіцієнт годинної нерівномірності пасажиропотоків.

У період з 6:00 по 7:00:

$$F_{6:00-7:00} = 320 \cdot 0,34 = 109 \text{ пас./год.}$$

Аналогічні розрахунки виконано для всіх інших періодів функціонування маршруту. Отримані результати систематизовано та представлено в табл. 2.1.

Потрібну кількість автобусів, що мають працювати на маршруті в різні періоди часу визначаємо за формулою:

$$A_{i-(i+1)} = \frac{F_{i-(i+1)} \cdot t_{\text{об}}}{q_n \cdot \gamma}. \quad (2.2)$$

Таблиця 2.1 – Потрібна кількість автобусів та інтервали їхнього руху

Час	Коефіцієнти нерівномірності пасажиropотоків	Значення пасажиropотоку, пас./год	Розрахункова кількість автобусів, од.	Скорегована кількість автобусів, од.	Інтервал руху автобусів, хв.
6:00 - 7:00	0,34	109	3	3	16,4
7:00 - 8:00	0,94	301	6	6	8,2
8:00 - 9:00	1	320	7	7	7,0
9:00 - 10:00	0,82	262	5	5	9,8
10:00 - 11:00	0,61	195	4	4	12,3
11:00 - 12:00	0,41	131	3	3	16,4
12:00 - 13:00	0,39	125	3	3	16,4
13:00 - 14:00	0,35	112	3	3	16,4
14:00 - 15:00	0,57	182	4	4	12,3
15:00 - 16:00	0,69	221	5	5	9,8
16:00 - 17:00	0,91	291	6	6	8,2
17:00 - 18:00	0,84	269	6	6	8,2
18:00 - 19:00	0,71	227	5	5	9,8
19:00 - 20:00	0,5	160	4	4	12,3
20:00 - 21:00	0,41	131	3	3	16,4
21:00 - 22:00	0,36	115	3	3	16,4
22:00 - 23:00	0,28	90	2	3	16,4
23:00 - 00:00	0,15	48	1	3	16,4

У період з 6:00 по 7:00:

$$A_{6:00-7:00} = \frac{109 \cdot 0,82}{43} = 3 \text{ од.}$$

Результати розрахунків для інших періодів функціонування маршруту систематизовано та наведено в табл. 2.1.

Розраховуємо максимальну кількість автобусів:

$$A_{\max} = A_{\text{пик}} \cdot K_{\phi}, \quad (2.3)$$

де $A_{\text{пик}}$ - кількість автобусів у годину «пик»;

K_{ϕ} - коефіцієнт дефіциту.

$$A_{\max} = 7 \cdot 1 = 7 \text{ од.}$$

Розраховуємо мінімальну кількість автобусів:

$$A_{\min} = \frac{t_{\text{об}}}{I_{\max}}, \quad (2.4)$$

де $I_{\max}$ - допустимий інтервал руху, хв.

$$A_{\min} = \frac{49}{20} = 3 \text{ од.}$$

З урахуванням визначених мінімальної та максимальної потреб у рухомому складі виконуємо коригування кількості автобусів, що працюють на маршруті в різні періоди доби. Результати коригування наведено в табл. 2.1. На підставі отриманих даних будуюмо діаграму зміни пасажиропотоку протягом доби (рис. 2.1) та діаграму зміни необхідної кількості автобусів на маршруті (рис. 2.2).



Рисунок 2.1 - Діаграма зміни пасажиропотоку протягом доби



Рисунок 2.2 - Діаграма зміни необхідної кількості автобусів на маршруті

2.2 Розробка графіку роботи водіїв і автобусів

Розроблення графіку роботи водіїв і автобусів здійснюємо відповідно до нормативних вимог і методичних рекомендацій, наведених у роботах [1, 2, 4], що забезпечує раціональну організацію транспортного процесу, ефективне використання рухомого складу та дотримання встановлених режимів праці й відпочинку водіїв. Побудований графік наведено на рис. 2.3.

Для оцінювання якості його формування розраховуємо коефіцієнт ефективності побудови за такою формулою:

$$K_{ef} = \frac{AG_{nom}}{AG_{pob}}, \quad (2.5)$$

де AG_{nom} – автомобіле-години потрібні;

AG_{pob} – автомобіле-години побудовані.

$$K_{ef} = \frac{81}{76} = 0,938.$$

Розраховане значення коефіцієнта ефективності є задовільним. Це свідчить про правильність побудови графіка роботи водіїв і автобусів, який надалі використовується як основа для складання маршрутного розкладу.

2.3 Розробка маршрутного розкладу

Визначаємо інтервали руху автобусів у різні періоди роботи маршруту:

$$L_{i-(i+1)} = \frac{t_{об}}{A_{i-(i+1)}}. \quad (2.6)$$

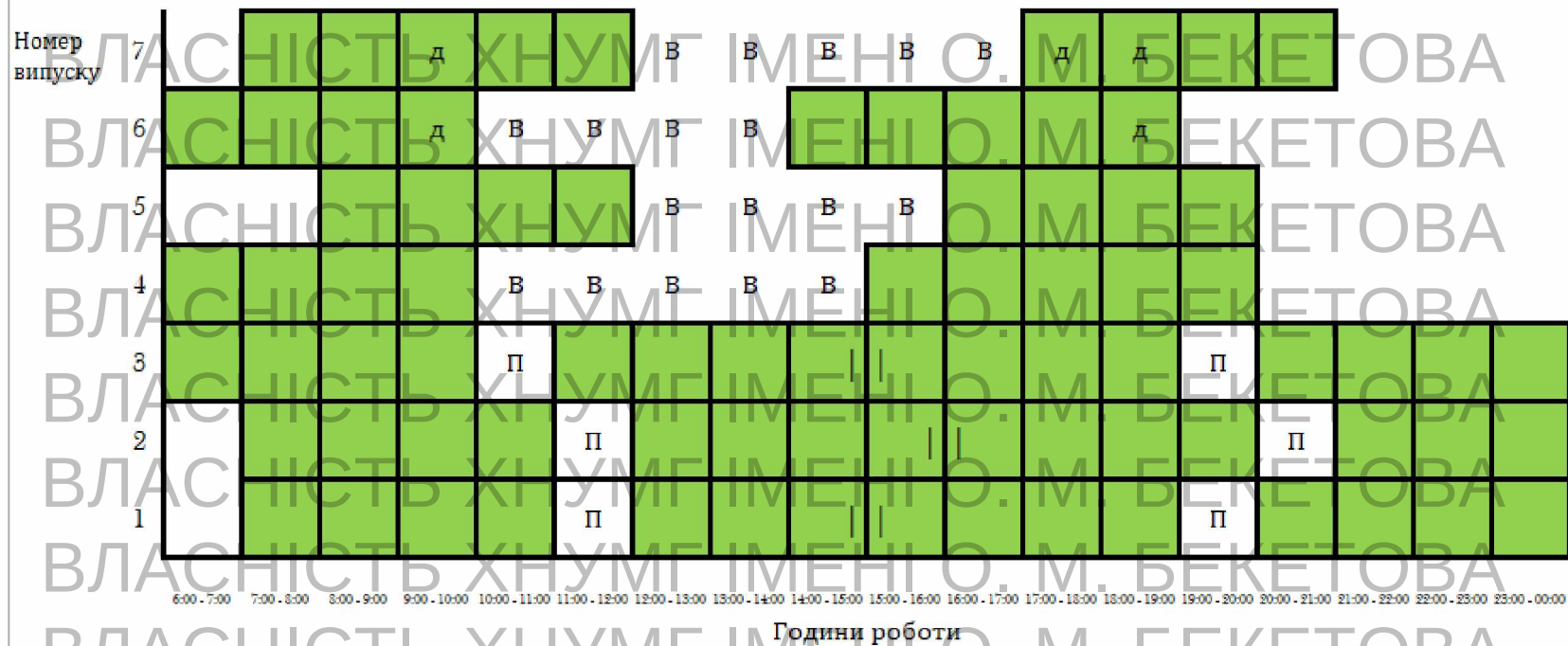


Рисунок 2.3 - Графік роботи водіїв та автобусів

У період з 6:00 по 7:00:

$$I_{6:00-7:00} = \frac{49}{3} = 16,4 \text{ хв.}$$

Інтервали руху в інші періоди наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Інтервали руху автобусів на маршруті

Години роботи	6:00 - 7:00	7:00 - 8:00	8:00 - 9:00	9:00 - 10:00	10:00 - 11:00	11:00 - 12:00	12:00 - 13:00	13:00 - 14:00	14:00 - 15:00
Кількість автобусів, од.	3	6	7	7	4	3	3	3	4
Інтервал руху, хв.	16,4	8,2	7,0	7,0	12,3	16,4	16,4	16,4	12,3
Години роботи	15:00 - 16:00	16:00 - 17:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	19:00 - 20:00	20:00 - 21:00	21:00 - 22:00	22:00 - 23:00	23:00 - 00:00
Кількість автобусів, од.	5	6	7	7	4	3	3	3	3
Інтервал руху, хв.	9,8	8,2	7,0	7,0	12,3	16,4	16,4	16,4	16,4

Відповідно до визначених інтервалів руху та методики, наведеної у роботах [1, 2, 4], складаємо стрічковий графік руху автобусів на маршруті (рис. 2.4). На його основі розробляємо маршрутний розклад руху (табл. 2.3). Використовуючи отриманий розклад, визначаємо час виїзду кожного випуску автобусів з АТП за такою формулою:

$$t_{\text{виїзд}} = t_{\text{відпрКЗ1}} - t_0, \quad (2.7)$$

Випуски

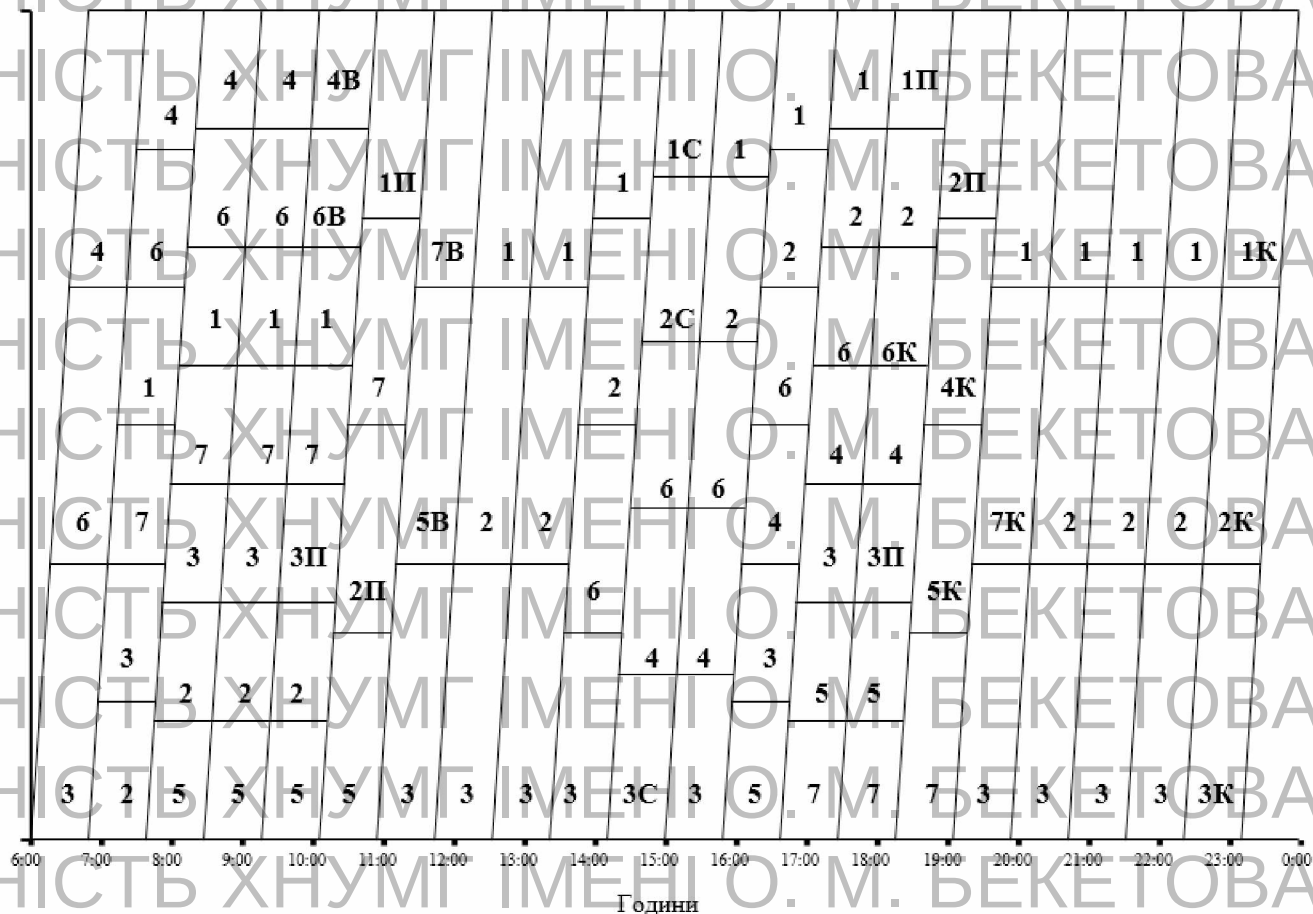


Рисунок 2.4 - Стрічковий графік руху автобусів

Таблиця 2.3 - Розклад руху автобусів на маршруті

Випуск 1		Випуск 2		Випуск 3		Випуск 4		Випуск 5		Випуск 6		Випуск 7	
КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2
7:13	7:38	6:49	7:13	6:00	6:24	6:32	6:57	7:38	8:02	6:16	6:40	7:05	7:29
8:06	8:30	7:45	8:09	6:57	7:21	7:29	7:54	8:27	8:51	7:21	7:46	7:59	8:23
8:55	9:19	8:34	8:58	7:52	8:16	8:20	8:44	9:16	9:40	8:13	8:37	8:48	9:12
9:44	10:08	9:23	9:47	8:41	9:05	9:09	9:33	10:05	10:29	9:02	9:26	9:37	10:01
10:41	11:06	10:17	10:41	9:30	9:54	9:58	10:22	11:10	11:34	9:51	10:15	10:29	10:54
11:30	П	11:06	П	10:19	П	10:47	В	11:59	В	10:40	В	11:26	11:51
12:15	12:40	11:59	12:23	10:54	11:18	14:19	14:44	15:48	16:12	13:33	13:57	12:15	В
13:04	13:29	12:48	13:12	11:43	12:07	15:08	15:33	16:44	17:08	14:29	14:54	16:37	17:01
13:57	14:22	13:45	14:10	12:32	12:56	16:04	16:28	17:33	17:57	15:18	15:43	17:26	17:50
14:49	15:13	14:39	15:03	13:21	13:45	16:58	17:22	18:27	18:51	16:12	16:37	18:15	18:39
15:38	С	15:28	С	14:10	14:34	17:47	18:11	19:16	К	17:05	17:29	19:20	19:44
15:38	16:02	15:28	15:52	14:59	С	18:39	19:04			17:54	18:18	20:09	К
16:28	16:53	16:20	16:45	14:59	15:23	19:28	К			18:43	К		
17:19	17:43	17:12	17:36	15:56	16:20								
18:08	18:32	18:01	18:25	16:51	17:15								
18:57	П	18:51	19:16	17:40	18:04								
19:36	20:01	19:40	П	18:29	П								
20:25	20:50	20:09	20:33	19:04	19:28								
21:14	21:39	20:58	21:22	19:53	20:17								
22:03	22:28	21:47	22:11	20:42	21:06								
22:52	23:17	22:36	23:00	21:31	21:55								
23:41	К	23:25	К	22:20	22:44								
				23:09	К								

де $t_{\text{відпр}K31}$ - час відправлення випуску в перший оберт;

t_0 - час здійснення нульового пробігу.

Визначаємо час заїзду автобусів до АТП:

$$t_{\text{заїзд}} = t_{\text{приб}K31} + t_0, \quad (2.8)$$

де $t_{\text{приб}K31}$ - час прибуття автобусу на кінцеву зупинку після завершення останнього оберт.

Час нульового пробігу:

$$t_0 = \frac{l_0 \cdot 60}{V_m}, \quad (2.9)$$

де l_0 - нульовий пробіг, км;

V_m - технічна швидкість, км/год.

$$t_0 = \frac{4,1 \cdot 60}{28} = 10 \text{ хв.}$$

Для першого випуску:

$$t_{\text{виїзд}} = 7:13 - 0:09 = 7:04 \text{ год,}$$

$$t_{\text{заїзд}} = 23:41 + 0:09 = 23:50 \text{ год.}$$

Результати розрахунків заносимо до табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Складові часу роботи автобусів на маршруті

Номер випуску			1	2	3	4	5	6	7						
Час виїзду з АТП			7:04	6:40	5:51	6:23	7:29	6:07	6:56						
Час заїзду в АТП			23:50	23:34	23:18	19:37	19:25	18:52	20:18						
Час перерви або відстою	1-зміна		0:44	0:53	0:35	3:32	3:48	3:03	4:21						
	2-зміна		0:39	0:32	0:35										
Час роботи на маршруті	1-зміна (до відстою)	до перерви	4:17	4:17	4:19	4:14	4:21	4:23	5:10						
		після перерви	3:22	3:29	4:05										
	2-зміна (після відстою)	до перерви	3:18	4:12	3:30	5:08	3:28	5:09	3:32						
		після перерви	4:05	3:16	4:05										
		Час в наряді			15:21					15:32	16:17	9:41	8:07	9:51	9:00
		Кількість обертів			18					18	19	11	9	11	10

Визначаємо час у наряді:

$$T_n = t_{\text{заїзд}} - t_{\text{виїзд}} - t_{\text{обід(відстій)}}, \quad (2.10)$$

де $t_{\text{обід(відстій)}}$ - час перерви або відстою, год.

Час в наряді для першого випуску:

$$T_{n1} = 23:50 - 7:04 - (0:44 + 0:39) = 15:21 \text{ год.}$$

Результати інших розрахунків наведені у табл. 2.4.

Аналіз табл. 2.4 показує, що маршрутний розклад забезпечує стабільне транспортне обслуговування пасажирів упродовж усього періоду роботи маршруту, сприяє більш ефективному використанню рухомого складу та

створює передумови для підвищення якості й надійності міських пасажирських перевезень.

2.4 Висновки по розділу

1. Виконано розрахунок необхідної кількості автобусів для забезпечення перевезень пасажирів на маршруті залежно від добової нерівномірності транспортного попиту. Встановлено, що в години максимального навантаження (8:00–9:00) для забезпечення прийняттого рівня обслуговування необхідно залучати 7 автобусів, тоді як у періоди мінімального попиту достатньо 3 автобусів, що відповідає встановленому максимальному інтервалу руху 16,4 хв. За результатами коригування кількості рухомого складу сформовано раціональний режим роботи маршруту протягом доби.

2. На основі визначеної потреби в автобусах розроблено графік роботи водіїв і транспортних засобів. Отримане значення коефіцієнта ефективності побудови графіка становить 0,938, що відповідає нормативним вимогам та свідчить про раціональне використання рухомого складу і робочого часу водіїв.

3. Розроблено маршрутний розклад руху автобусів, визначено інтервали руху за годинами доби, час виїзду та заїзду автобусів до автотранспортного підприємства, тривалість перебування транспортних засобів у наряді, кількість обертів і режими праці водіїв. Запропонований розклад забезпечує стабільне транспортне обслуговування пасажирів упродовж усього періоду роботи маршруту, сприяє більш ефективному використанню рухомого складу та створює передумови для підвищення якості й надійності міських пасажирських перевезень.

РОЗДІЛ 3

ОРГАНІЗАЦІЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ МАРШРУТУ

3.1 Розроблення схеми організації дорожнього руху

Організація руху транспортних і пішохідних потоків на регульованих перехрестях належить до ключових складових системи управління дорожнім рухом у містах. Рациональне застосування засобів світлофорного регулювання дає змогу підвищити рівень безпеки всіх учасників дорожнього руху, покращити пропускну спроможність перехресть, а також зменшити затримки транспортних засобів. Саме в межах перехресть відбувається перетин транспортних і пішохідних потоків різних напрямків, що супроводжується значною кількістю потенційних конфліктних точок і потребує чіткої організації черговості їх пропуску.

Метою розроблення схеми організації дорожнього руху (ОДР) є створення умов для безпечного та безперешкодного проходження транспортних засобів і пішоходів із мінімальними втратами часу. Досягнення поставленої мети передбачає визначення оптимального порядку пропуску транспортних потоків, формування раціональної структури світлофорного циклу, призначення напрямків руху по окремих смугах, а також узгодження всіх проєктних рішень із вимогами чинних нормативно-технічних документів.

Першим етапом проєктування є облаштування перехрестя технічними засобами ОДР (рис. 3.1). Проєктними рішеннями передбачається встановлення транспортних і пішохідних світлофорів, нанесення дорожньої розмітки відповідно до нормативних вимог, а також розміщення дорожніх знаків, які регламентують пріоритет проїзду, дозволені напрямки руху транспортних засобів та умови переходу проїзної частини пішоходами.

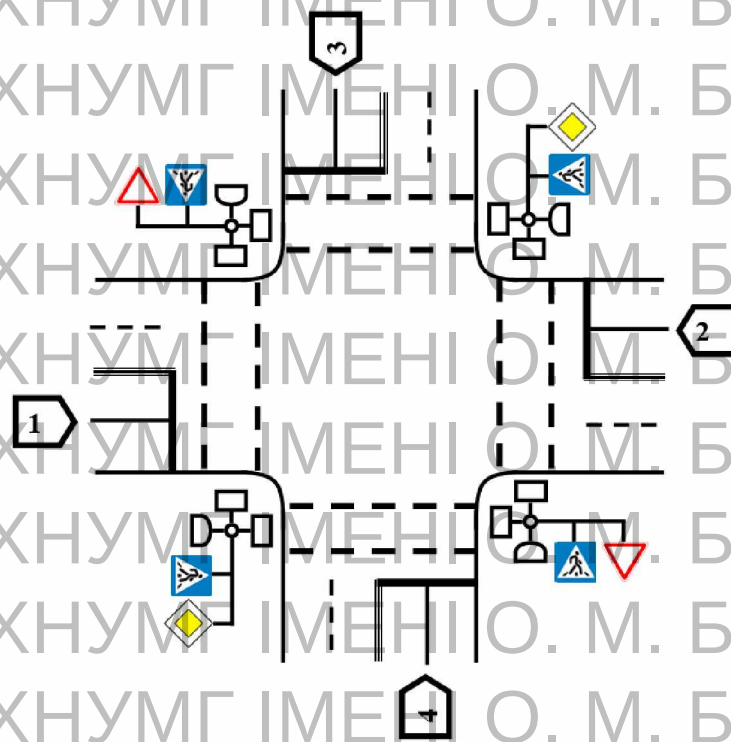


Рисунок 3.1 – Схема облаштування перехрестя технічними засобами ОДР

Запропонований комплекс заходів забезпечить упорядкування руху на перехресті, скорочення кількості конфліктних ситуацій між його учасниками, підвищення рівня безпеки дорожнього руху та покращення ефективності функціонування перехрестя за рахунок більш раціонального розподілу транспортних і пішохідних потоків.

3.2 Розроблення схеми пофазного роз'їзду

Наступним етапом проєктування є формування схеми пофазної організації руху на перехресті.

Розподілення інтенсивності руху автомобілів та пішоходів на перехресті зображено на рис. 3.2.

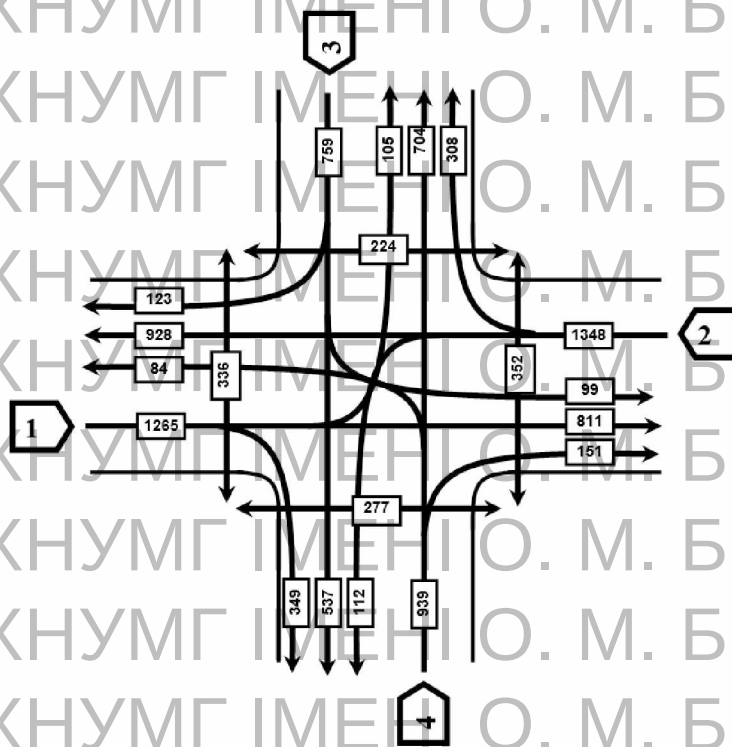


Рисунок 3.2 – Розподілення інтенсивності руху автомобілів та пішоходів на перехресті

Аналіз рис. 3.2 показав, що обсяги лівоповоротного руху за всіма напрямками не перевищують 120 авт./год, тому виділення окремої фази для цих маневрів є недоцільним. За таких умов оптимальним рішенням є застосування двофазного режиму світлофорного регулювання, який забезпечує одночасний пропуск сумісних автомобільних і пішохідних потоків без виникнення небезпечних конфліктних ситуацій (рис. 3.3, 3.4).

Після визначення схеми пофазного роз'їзду здійснюється розрахунок параметрів світлофорного регулювання. На цьому етапі визначаються оптимальна тривалість світлофорного циклу, кількість і послідовність фаз, тривалість основних та проміжних тактів, а також виконується розподіл часу між окремими фазами відповідно до інтенсивності автомобілів і пішоходів.

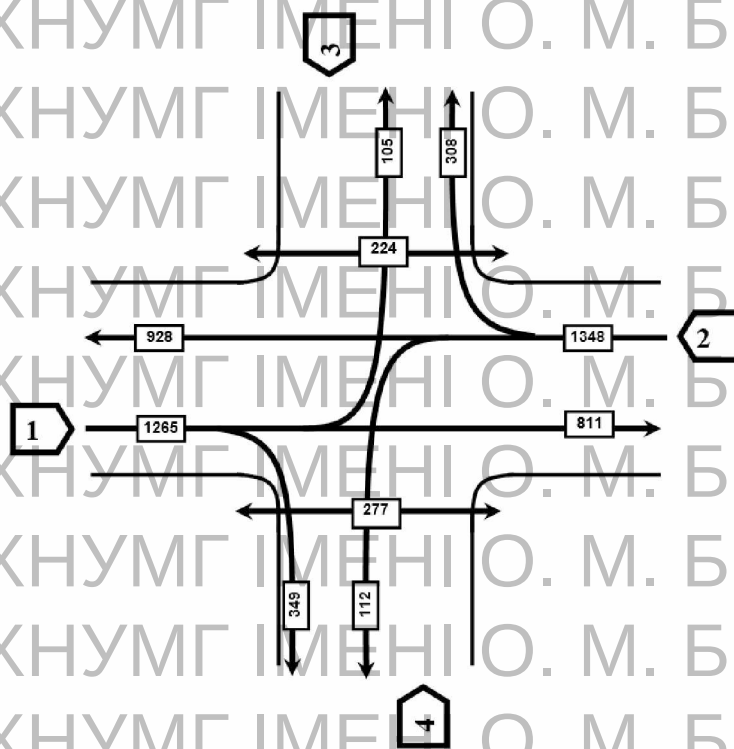


Рисунок 3.3 – Автомобільні та пішохідні потоки у першій фазі

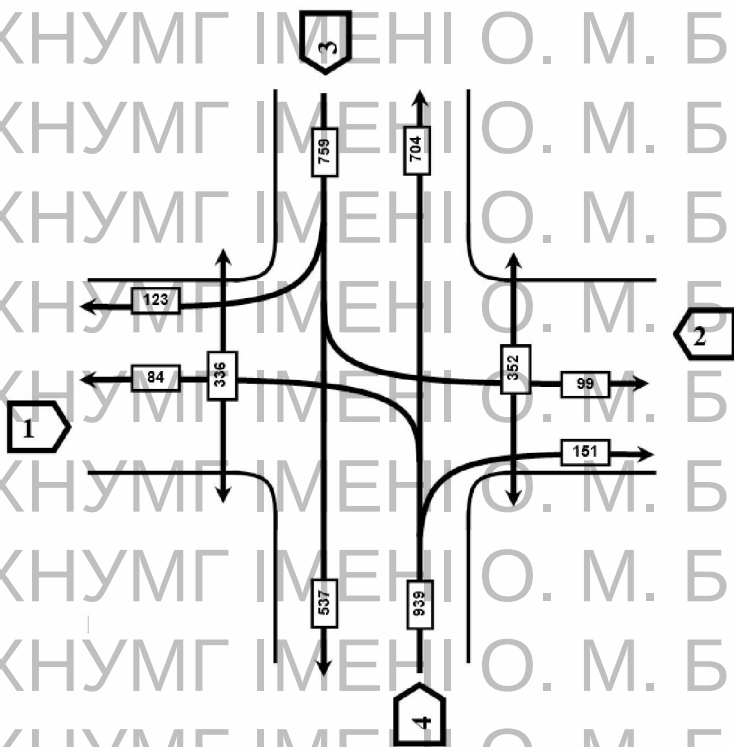


Рисунок 3.4 – Автомобільні та пішохідні потоки у другій фазі

3.3 Оптимізація світлофорного циклу

На першому етапі визначаємо потоки насичення на перехресті:

$$M_{Hij} = 525 B_{ПЧ} K_i K_R K_C, \quad (3.1)$$

$B_{ПЧ}$ – ширина дороги, м;

K_R , K_i , K_C – коефіцієнти зменшення потоку насичення через вплив поведінкового ухилу, радіусу кривизни поворотних потоків, склад транспортного потоку.

У розрахунках приймаємо значення K_R , K_i , що дорівнюють 1,0.

Розраховуємо коефіцієнт K_C :

$$K_C = \frac{100}{a + 1,75b + 1,25c}, \quad (3.2)$$

де a , b , c – відсоток автомобілів, що здійснюють рух прямо, ліворуч та відповідно праворуч, %.

$$M_{H1(1-2, 1-3, 1-4)} = 525 \cdot 6,6 \cdot (100 / (64,1 + 1,75 \cdot 8,3 + 1,25 \cdot 27,6)) = 3063 \text{ авт./год.}$$

$$M_{H1(2-1, 2-3, 2-4)} = 525 \cdot 6,6 \cdot (100 / (68,8 + 1,75 \cdot 8,3 + 1,25 \cdot 22,8)) = 3095 \text{ авт./год.}$$

$$M_{H2(3-1, 3-2, 3-4)} = 525 \cdot 6,6 \cdot (100 / (70,8 + 1,75 \cdot 13,0 + 1,25 \cdot 16,2)) = 3044 \text{ авт./год.}$$

$$M_{H2(4-1, 4-2, 4-3)} = 525 \cdot 6,6 \cdot (100 / (75,0 + 1,75 \cdot 8,9 + 1,25 \cdot 16,1)) = 3129 \text{ авт./год.}$$

Визначаємо фазові коефіцієнти:

$$Y_{ij} = \frac{N_{np\ ij}}{M_{H\ ij}}, \quad (3.3)$$

де $N_{np\ ij}$ – інтенсивність в j -ому напрямку руху i -ої фази, авт/год.

$$Y_{1\ (1-2, 1-3, 1-4)} = 1265/3063 = 0,413.$$

$$Y_{1\ (2-1, 2-3, 2-4)} = 1348/3095 = 0,435.$$

$$Y_{2\ (3-1, 3-2, 3-4)} = 759/3044 = 0,249.$$

$$Y_{2\ (4-1, 4-2, 4-3)} = 939/3129 = 0,300.$$

Розрахункові значення фазових коефіцієнтів визначаємо як максимальні значення, отримані для кожної з фаз світлофорного регулювання. Такий підхід забезпечує врахування найбільш навантаженого транспортного потоку в межах кожної фази та створює умови для ефективного розподілу тривалості сигналів світлофора.

Для першої фази розрахунковий фазовий коефіцієнт приймаємо рівним 0,435, що відповідає найбільшому значенню серед напрямків руху, які обслуговуються цією фазою.

Для другої фази аналогічним чином приймаємо розрахунковий фазовий коефіцієнт 0,300. Надалі ці значення використовуються для визначення оптимальної тривалості циклу світлофорного регулювання та розрахунку тривалості дозволяючих сигналів для кожної фази.

Виходячи з отриманих результатів розрахунку складаємо табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку фазових коефіцієнтів

Фаза	1		2	
Підхід до перехрестя	1	2	3	4
Інтенсивність потоку, авт./год	1265	1348	759	939
Потік насичення, авт./год	3063	3095	3044	3129
Фазові коефіцієнти	0,413	0,435	0,249	0,300
Розрахункові фазові коефіцієнти	0,435		0,300	

Визначаємо проміжні такти:

$$t_n = \frac{V_a}{7,2 \cdot a_t} + \frac{3,6 \cdot (l_j + l_a)}{V_a}, \quad (3.4)$$

де V_a – швидкість руху автомобіля при перетині перехрестя, км/год;

a_t – середнє сповільнення автомобіля при гальмуванні на червоне світло світлофора, м/с² (у розрахунках приймаємо $a_t = 4$ м/с²);

l_j – відстань між стоп-лінією та самою дальньою конфліктною точкою перетинання транспортних потоків при чергуванні фаз регулювання, м;

l_a – середня довжина автомобіля, м.

У першій і другій фазі:

$$t_n = \frac{42}{7,2 \cdot 4} + \frac{3,6 \cdot (14,5 + 5,1)}{42} = 4 \text{ с.}$$

Розраховуємо час циклу регулювання:

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \cdot T_n + 5}{1 - Y}, \quad (3.5)$$

де T_n – сума проміжних тактів, с;

Y – сума значень розрахункових фазових коефіцієнтів.

$$T_n = \sum_{i=1}^k t_{ni}, \quad (3.6)$$

де k – кількість фаз у циклі.

$$T_n = 4 + 4 = 8 \text{ с.}$$

$$Y = \sum_{i=1}^k Y_i. \quad (3.7)$$

$$Y = 0,435 + 0,300 = 0,736.$$

$$T_y = \frac{1,5 \cdot 8 + 5}{1 - 0,736} = 64 \text{ с.}$$

Розраховуємо час переходу дороги пішоходами:

$$t_{nu} = 5 + \frac{B_{пч}}{V_{пш}}, \quad (3.8)$$

де $V_{пш}$ – швидкість пішоходів, м/с.

$$t_{nu(1,2)} = \frac{13,2}{1,3} + 5 = 15 \text{ с.}$$

$$t_{nu(3,4)} = \frac{13,2}{1,3} + 5 = 15 \text{ с.}$$

Розраховуємо основні такти:

$$t_{oi} = \frac{(T_y - T_n) \cdot Y_i}{Y}, \quad (3.9)$$

$$t_{o1} = \frac{(64 - 8) \cdot 0,435}{0,736} = 33 \text{ с.}$$

$$t_{o2} = \frac{(64 - 8) \cdot 0,300}{0,736} = 23 \text{ с.}$$

Визначаємо середньозважену затримку по перехрестю:

$$\bar{t}_{\Delta P} = \frac{\sum_{i=1}^K t_{\Delta Pj} \cdot N_j}{\sum_{i=1}^K N_j}, \quad (3.10)$$

де $t_{\Delta Pj}$ – середня затримка автомобілів у j -ому напрямку, с.

$$t_{\Delta Pj} = 0,9 \cdot \left[\frac{T_y \cdot (1 - \lambda)^2}{2 \cdot (1 - \lambda X_j)} + \frac{X_j^2}{2 N_j \cdot (1 - X_j)} \right], \quad (3.11)$$

де λ – відношення основного такту до циклу регулювання.

$$\lambda = \frac{t_{oj}}{T_y}. \quad (3.12)$$

$$\lambda_1 = 33/64 = 0,516; \lambda_2 = 23/64 = 0,359.$$

Розраховуємо ступінь насичення:

$$X_j = \frac{N_j T_{ij}}{M_{ij} t_{oj}}. \quad (3.13)$$

$$X_{1(1-2, 1-3, 1-4)} = \frac{1265 \cdot 64}{3063 \cdot 33} = 0,801.$$

$$X_{1(2-1, 2-3, 2-4)} = \frac{1348 \cdot 64}{3095 \cdot 33} = 0,845.$$

$$X_{2(3-1, 3-2, 3-4)} = \frac{759 \cdot 64}{3044 \cdot 23} = 0,694.$$

$$X_{2(4-1, 4-2, 4-3)} = \frac{939 \cdot 64}{3129 \cdot 23} = 0,835.$$

Середня затримка за напрямками 1-2, 1-3 та 1-4:

$$t_{\Delta Pj(1-2, 1-3, 1-4)} = 0,9 \cdot \left[\frac{64 \cdot (1 - 0,516)^2}{2 \cdot (1 - 0,516 \cdot 0,801)} + \frac{0,801^2}{2 \cdot 1265 \cdot (1 - 0,801)} \right] = 11,51 \text{ с.}$$

Після виконання розрахунків середніх затримок для всіх напрямків руху отримані результати було узагальнено та представлено в табл. 3.2.

Наведені дані дозволяють оцінити ефективність запропонованих параметрів світлофорного регулювання та рівень затримок транспортних потоків на досліджуваному перехресті.

Середньозважена затримка автомобіля на перехресті:

$$\overline{t}_{\Delta P}^{**} = \frac{11,51 \cdot 1265 + 11,97 \cdot 1348 + 15,75 \cdot 759 + 16,89 \cdot 939}{1265 + 1348 + 759 + 939} = 13,57 \text{ с.}$$

З метою оцінювання ефективності запропонованих заходів аналогічні розрахунки виконано також для існуючих параметрів циклу світлофорного регулювання. Отримані результати наведено в табл. 3.3, що дає змогу провести їх порівняння з показниками для запропонованого варіанта ОДР.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку затримок автомобілів (оптимізований цикл)

Фаза	1		2	
Номер підходу	1	2	3	4
Основний такт, с	33		23	
Проміжний такт, с	4		4	
Цикл регулювання, с	64			
Потік насичення, авт./год	3063	3095	3044	3129
Інтенсивність руху, авт./год	1265	1348	759	939
Відношення часу дозволяючого сигналу до часу циклу	0,516	0,516	0,359	0,359
Ступінь насичення	0,801	0,845	0,694	0,835
Затримка автомобілів, с.	11,51	11,97	15,75	16,89
Середньозважена затримка, с	13,57			

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку затримок автомобілів (існуючий цикл)

Фаза	1		2	
Номер підходу	1	2	3	4
Основний такт, с	36		26	
Проміжний такт, с	4		4	
Цикл регулювання, с	70			
Потік насичення, авт./год	3063	3095	3044	3129
Інтенсивність руху, авт./год	1265	1348	759	939
Відношення часу дозволяючого сигналу до часу циклу	0,514	0,514	0,371	0,371
Ступінь насичення	0,803	0,847	0,671	0,808
Затримка автомобілів, с.	12,66	13,17	16,58	17,78
Середньозважена затримка, с	14,62			

Визначасмо зміну середньозваженої затримки автомобілів по перехрестю:

$$\Delta \bar{t} = \bar{t}_{\Delta P}^* - \bar{t}_{\Delta P}^{**}. \quad (3.14)$$

$$\Delta \bar{t} = 14,62 - 13,57 = 1,05 \text{ с.}$$

Таким чином, оцінювання ефективності запропонованого режиму світлофорного регулювання показало, що середньозважена затримка транспортних засобів на перехресті зменшується з 14,62 до 13,57 с, тобто на 1,05 с (близько 7,2 %). Це вказує на доцільність впровадження оптимізованого циклу.

3.4 Висновки по розділу

1. Розроблено заходи з удосконалення організації дорожнього руху на перехресті маршруту, що розглядається. Запропоновано схему облаштування перехрестя технічними засобами ОДР. На підставі аналізу інтенсивності транспортних і пішохідних потоків встановлено, що інтенсивність лівоповоротних потоків не перевищує 120 авт./год, що обґрунтовує доцільність застосування двофазної схеми світлофорного регулювання без виділення окремої фази для виконання лівих поворотів. Для запропонованої схеми визначено параметри світлофорного циклу, зокрема потоки насичення, фазові коефіцієнти, тривалість проміжних і основних тактів, а також оптимальну тривалість циклу, яка становить 64 с.

2. Оцінювання ефективності запропонованого режиму світлофорного регулювання показало, що середньозважена затримка транспортних засобів на перехресті зменшується з 14,62 до 13,57 с, тобто на 1,05 с (близько 7,2 %).

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих проектних рішень, які сприяють підвищенню пропускну́ї спроможності перехрестя, більш раціональному розподілу часу світлофорного циклу та покращенню умов руху транспортних засобів і пішоходів.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано методи організації міських пасажирських перевезень, розглянуто сучасні методи дослідження пасажиропотоків, принципи формування маршрутної мережі, критерії її ефективності, особливості вибору рухомого складу, розроблення розкладу руху та організації дорожнього руху на маршрутах міського пасажирського транспорту. Встановлено, що ефективність транспортного обслуговування визначається комплексним урахуванням технічних, економічних, соціальних та експлуатаційних показників.

2. За результатами розрахунку пасажиропотоків встановлено, що максимальна інтенсивність перевезень становить 320 пас./год і спостерігається на перегоні 5–6. Загальний обсяг перевезень у годину пік складає 735 пас., а транспортна робота на маршруті – 3703,1 пас. км. Для забезпечення необхідного рівня транспортного обслуговування обґрунтовано застосування автобусів малого класу пасажиромісткістю 43 пасажирів. На підставі техніко-експлуатаційних розрахунків визначено необхідну кількість рухомого складу – 7 автобусів, тривалість оборту – 49 хв, а плановий інтервал руху – 7,0 хв, що забезпечує належний рівень транспортного обслуговування пасажирів.

3. Виконане прогнозування обсягів перевезень засвідчило тенденцію до їх подальшого зростання. Зокрема, прогнозний річний обсяг перевезень у 2026 році становить 2079286 пасажирів, що на 76055 пасажирів (3,80 %) більше порівняно з попереднім роком. Отримані результати підтверджують доцільність запропонованих організаційно-технологічних рішень і є вихідною основою для подальшого розроблення режимів роботи автобусів, маршрутного розкладу та заходів з удосконалення організації дорожнього руху.

4. Виконано розрахунок необхідної кількості автобусів для забезпечення перевезень пасажирів на маршруті залежно від добової нерівномірності транспортного попиту. Встановлено, що в години максимального навантаження (8:00–9:00) для забезпечення прийняттого рівня обслуговування необхідно залучати 7 автобусів, тоді як у періоди мінімального попиту достатньо 3 автобусів, що відповідає встановленому максимальному інтервалу руху 16,4 хв. За результатами коригування кількості рухомого складу сформовано раціональний режим роботи маршруту протягом доби.

5. На основі визначеної потреби в автобусах розроблено графік роботи водіїв і транспортних засобів. Отримане значення коефіцієнта ефективності побудови графіка становить 0,938, що відповідає нормативним вимогам та свідчить про раціональне використання рухомого складу і робочого часу водіїв.

6. Розроблено маршрутний розклад руху автобусів, визначено інтервали руху за годинами доби, час виїзду та заїзду автобусів до автотранспортного підприємства, тривалість перебування транспортних засобів у наряді, кількість обертів і режими праці водіїв. Запропонований розклад забезпечує стабільне транспортне обслуговування пасажирів упродовж усього періоду роботи маршруту, сприяє більш ефективному використанню рухомого складу та створює передумови для підвищення якості й надійності міських пасажирських перевезень.

7. Розроблено заходи з удосконалення організації дорожнього руху на перехресті маршруту, що розглядається. Запропоновано схему облаштування перехрестя технічними засобами ОДР. На підставі аналізу інтенсивності транспортних і пішохідних потоків встановлено, що інтенсивність лівоповоротних потоків не перевищує 120 авт./год, що обґрунтовує доцільність застосування двофазної схеми світлофорного регулювання без виділення окремої фази для виконання лівих поворотів. Для запропонованої

схеми визначено параметри світлофорного циклу, зокрема потоки насичення, фазові коефіцієнти, тривалість проміжних і основних тактів, а також оптимальну тривалість циклу, яка становить 64 с.

8. Оцінювання ефективності запропонованого режиму світлофорного регулювання показало, що середньозважена затримка транспортних засобів на перехресті зменшується з 14,62 до 13,57 с, тобто на 1,05 с (близько 7,2 %). Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих проектних рішень, які сприяють підвищенню пропускної спроможності перехрестя, більш раціональному розподілу часу світлофорного циклу та покращенню умов руху транспортних засобів і пішоходів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Доля В. К. Пасажирські перевезення: підручник Харків: Форт, 2010. 504 с.
2. Давідіч Ю. О. Розробка розкладу руху транспортних засобів при організації пасажирських перевезень: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 2010. 345 с.
3. Босняк М.Г. Пасажирські автомобільні перевезення. Навчальний посібник. Київ: Слово, 2009. 272 с.
4. Вакуленко К. Є., Доля К. В. Управління міським пасажирським транспортом: навч. посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 257 с.
5. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Варчук В. В. Організація автомобільних перевезень: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 139 с.
6. Ceder A. Public transit planning and operation: theory, modeling and practice. Oxford: Elsevier, 2007. 626 p.
7. Розумний транспорт і логістика для міст: навчальний посібник / [авт. колектив: О.О. Лобашов, М.В. Ольхова, А.С. Галкін та ін.] Житомир: «Житомирська політехніка», 2021. 612 с.
8. Маруніч В.С., Шморгун Л.Г. та ін. Організація та управління пасажирськими перевезеннями: підручник / за ред. доц. В.С. Маруніч, проф. Л. Г. Шморгуна. К.: Міленіум, 2017. 528 с.
9. Лежнева О. І. Організація перевезень пасажирів у містах: Навчальний посібник. Харків: Точка, 2010. 311 с.
10. Лобашов О. О., Прасоленко О. В. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху»: навч. посіб. Харків: ХНАМГ. 2011. 221 с.
11. Кашканов А. А., Кужель В. П. Організація дорожнього руху: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ. 2017. 125 с.