

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Моделювання параметрів функціонування зупинок  
громадського транспорту

Виконав: студент 6 курсу, групи МНм-61

спеціальності 275 Транспортні технології

(на автомобільному транспорті)

(шифр і назва спеціальності)

Парій І.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Вовк Ю.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

В.о. зав. кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2022

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет \_\_\_\_\_ інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра \_\_\_\_\_ автомобілів  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Цьонь О.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«11» листопада 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня \_\_\_\_\_ магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)  
(шифр і назва спеціальності)

студенту \_\_\_\_\_ Парію Ігорю Петровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання параметрів функціонування зупинок громадського транспорту

Керівник роботи Цьонь Олег Петрович, к.т.н., доц.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «11» листопада 2022 року № 4/7-896

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи пасажи́рообмі́ни зупи́ночних пунктів, маршрутна транспортна мережа, графіки руху пасажирського транспорту

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Існуючі методи розрахунку для обґрунтування місця розташування зупинок громадського транспорту. 2. Дослідження моделей для визначення закономірностей зміни витрат часу пасажирів як функції тривалості поїздки. 3. Рекомендації щодо раціонального розташування зупинок громадського транспорту. 4. Вихідні дані для обґрунтування параметрів роботи зупинок пасажирського транспорту. 5. Встановлення експериментальних показників функціонування зупиночних пунктів. 6. Система масового обслуговування із відмовами. 7. Багатоканальна система масового обслуговування з обмеженою довжиною черг. 8. Обґрунтування робочих параметрів зупинок громадського транспорту. 9. Заходи по підвищенню безпеки руху. Основні методи організації дорожнього руху.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Моделі виїзду громадського транспорту із ЗП. 2-6. Графічні залежності пасажиропотоків. 7. Граф станів СМО. 8. СМО з відмовами. 9. СМО з очікуванням. 10. Параметри зупиночних пунктів. 11. Загальні висновки.

### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Безпека в надзвичайних ситуаціях			

### 7. Дата видачі завдання

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз параметрів функціонування міських пасажирських зупинок	21.11.2022 р.	
2	Аналітичні моделі та методи дослідження	28.11.2022 р.	
3	Моделювання функціонування зупиночних пунктів громадського транспорту	05.12.2022 р.	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	12.12.2022 р.	
5	Загальні висновки	14.12.2022 р.	
6	Перелік посилань	15.12.2022 р.	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Парій І.П.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Цьонь О.П.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ</b>	5
<b>ВСТУП</b>	6
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ЗУПИНОК</b>	
1.1. Існуючі методи розрахунку для обґрунтування місця розташування зупинок громадського транспорту	7
1.2. Дослідження моделей для визначення закономірностей зміни витрат часу пасажирів як функції тривалості поїздки	10
1.3. Рекомендації щодо раціонального розташування зупинок громадського транспорту	17
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	
2.1. Вихідні дані для обґрунтування параметрів роботи зупинок пасажирського транспорту	21
2.2. Встановлення експериментальних показників функціонування зупиночних пунктів	25
2.3. Результати дослідження роботи пунктів зупинок громадського транспорту	26
<b>РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ</b>	
3.1. Система масового обслуговування із відмовами	35
3.2. Багатоканальна система масового обслуговування з обмеженою довжиною черг	41
3.3. Обґрунтування робочих параметрів зупинок громадського транспорту	48
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	
4.1. Заходи по підвищенню безпеки руху. Основні методи організації дорожнього руху	53
4.2. Організація праці водіїв пасажирського транспорту та основні положення охорони праці	56
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	58
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	60

## РЕФЕРАТ

Мета і завдання дослідження. Кваліфікаційна робота магістра спрямована на дослідження та вдосконалення показників роботи пунктів зупинок міського пасажирського транспорту.

Для отримання поставленої мети кваліфікаційної роботи магістра були встановлені наступні завдання:

- дослідити моделі для визначення закономірностей зміни витрат часу пасажирів як функції тривалості поїздки;
- встановити рекомендації щодо обґрунтованого та раціонального розміщення пунктів зупинки громадського транспорту на вулично-дорожній мережі міста;
- встановити дані по пасажиропотоках на досліджуваних зупиночних пунктах громадського транспорту та змодельовати їхню роботу з позиції теорії системи масового обслуговування.

Об'єкт дослідження: зупиночні пункти міського громадського пасажирського транспорту.

Методи дослідження: математичні та статистичні методи, методи дослідження операцій.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, 4-х розділів, загальних висновків, переліку посилань, містить 62 сторінки тексту та 24 рисунки.

Апробація результатів дослідження: XI Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, 2022 р.

## ВСТУП

Одним із найважливіших завдань у сфері міських пасажирських перевезень є раціонально-обґрунтоване розташування пунктів зупинки громадського транспорту, які на сучасному етапі автомобілізації населення не в повній мірі відповідають потребах щодо інтенсивності руху пішохідних та транспортних потоків.

Дана проблема ускладнюється тим, що у нашій країні уже досягнуто досить високого рівня автомобілізації міських жителів, збільшення кількості населення і відповідно транспортних засобів індивідуального користування не супроводжувалося відповідними змінами у транспортних моделях міст. Результатами даних процесів стало значне зменшення показників ефективності функціонування транспортної системи і зниження рівня показників щодо безпеки вулично-дорожнього руху.

З огляду на це, зупиночні пункти громадського пасажирського транспорту які нераціонально розташовані, можуть не тільки створювати суттєві перешкоди для руху транспортних потоків на основних магістральних шляхах, але й підвищувати ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Роль громадського транспорту для міських жителів є досить суттєвою та важливою. Він забезпечує життєдіяльність міста як єдиної системи із врахуванням його адміністративних, господарських, культурно-освітніх складових. Збільшення кількості робочих місць є однією із складових щодо підвищення попиту на послуги, які надає громадський транспорт загального користування у населених пунктах. Параметри функціонування міського пасажирського транспорту визначають час, який витрачається населенням міст на переміщення до роботи, збільшення якого зумовлює зниження продуктивності праці робітників.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ЗУПИНОК

### 1.1. Існуючі методи розрахунку для обґрунтування місця розташування зупинок громадського транспорту

Дослідження та моделювання руху громадського пасажирського транспорту в межах розміщення зупиночних пунктів є актуальним завданням, яке необхідно вирішувати із використанням сучасних методів та засобів транспортних технологій. Можливість використання імітаційного моделювання процесу обслуговування пасажирів в системі міського пасажирського транспорту досить широко розкрита у наукових працях вітчизняних та зарубіжних дослідників. Зокрема, підкреслюється необхідність дослідження математичної моделі функціонування зупиночного пункту громадського транспорту. Ряд наукових статей присвячені дослідженню пропускну здатності пасажирських зупинок, аналізу причин і факторів, що впливають на цей показник, а також обґрунтуванню регресійних залежностей, що визначають моделі впливу вказаних факторів на пропускну здатність пасажирської зупинки [1-7].

Проведені дослідження щодо роботи зупиночних пунктів, метою яких було зниження затримок маршрутних транспортних засобів. Також у наукових роботах наводяться дані про механізми формування конфліктних ситуацій на зупиночних пунктах міської пасажирської мережі і засоби їх вирішення. В якості оптимального критерію параметрів мережі зупиночних пунктів вибирається показник мережевого конфлікту, що забезпечує мінімальну кількість конфліктних ситуацій на них [2-6].

Таким чином, питання оптимізації якісних показників функціонування пунктів зупинки громадського транспорту у містах враховується в роботі багатьох авторів і спрямовані на вирішення актуальних завдань щодо їхньої роботи.

На сьогоднішній день існує ряд робіт, спрямованих на вирішення завдання раціонального визначення довжини перегону і розташування зупиночного пункту щодо відстані до регульованого перехрестя. Таким чином, в якості встановлення значення оптимальної довжини перегону береться довжина, яка забезпечує мінімізацію загальних затрат на функціонування зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту, які складаються із затрат, що пов'язані із [1-7]:

- підходом пасажирів до зупиночного пункту;
- відходом пасажирів від зупиночного пункту;
- час у дорозі пасажирів під час поїздки перегonom;
- простої пасажирського транспорту на пункті їх зупинки;
- технічне обслуговування зупиночних пунктів;
- очікуванням пасажирів громадського транспорту на зупинці;
- переміщення пасажирського рухомого складу на одиницю довжини.

У науковій праці [9] запропонована методика підвищення ефективності та безпеки пасажирських перевезень за рахунок поліпшення умов експлуатації та покращення руху на території зупиночного пункту. З цією метою автором були розроблені нові показники для оцінки ефективності роботи зупиночного пункту та організації руху в зоні її впливу: загальні затримки транспорту, довжина черги перед пунктом зупинки громадського транспорту та шум прискорення рухомого складу.

Для проведення розрахунків пропускнуої здатності та геометричних параметрів зупинки у науковій роботі [10] автор пропонує враховувати імовірнісні характеристики і параметри транспортного потоку, що на думку автора, дозволить підвищити ефективність організації руху громадського транспорту на них. Іншими словами, зменшення затримки рухомого складу на



зупиночних пунктах призведе до підвищення робочої швидкості та продуктивності їх роботи. З цією метою у роботі визначені терміни звільнення зупиночних пунктів від громадського транспорту, виходячи з умови, що на нього вплинули три фактори: інтенсивність руху потоку транспорту у крайній правій смузі, клас транспортного засобу та ситуація, в якій потрібен маневр для обгону транспортного засобу чи ні. Для визначення значень перерахованих параметрів використовувався регресійний аналіз.

Узагальнюючи описані вище методи, можна виділити їх основний недолік, а саме використання рівнянь регресії, які не мають достатньої теоретичної обґрунтованості і обмеженої сфери застосування, так як застосування таких рівнянь доцільно тільки для умов, аналогічних тим, при яких збиралися статистичні дані, і на яких будувалися відповідні рівняння. Виходячи з цих недоліків, актуально на сьогоднішній день розробити універсальні математичні моделі для роботи зупиночних пунктів, які не тільки описували результати експерименту, але і дозволяють проектувати сам технологічний процес роботи зупиночних пунктів громадського пасажирського транспорту.

Питання раціонального розміщення пунктів зупинки особливо важливе у центральних частинах міст, де спостерігається найбільша концентрація транспортних проблем в організації дорожнього руху. Це пов'язано з тим, що зараз спостерігається тенденція до перетворення центральних частин міст з житлових центрів в торгово-ділові центри [9-11], де площа території є незначною, а інтенсивність дорожнього та пішохідного рухів досить високою. Також слід зазначити, що у великих містах України стрімко розвивається сфера послуг, основний акцент якої робиться на розміщення у центральні частині населених пунктів. Тому сьогодні максимум зусиль слід зосередити на вирішенні транспортних проблем у центральній частині великих міст України, як з точки зору ефективного управління, так і з точки зору ефективного планування об'єктів вулично-дорожньої мережі включаючи розміщення зупиночних пунктів громадського транспорту.

Однією з причин неефективного використання рухомого складу на пасажирських маршрутах є нераціональне розміщення пунктів зупинок [1-7]. Усунення цього недоліку дозволить пасажиром подорожувати за розкладом маршруту на протязі коротшого інтервалу часу. Цього можна досягти, скоротивши затримки виїзду громадського транспорту із зупиночного пункту після закінчення посадки і висадки пасажирів. Слід зазначити, що затримки у виїзді із зупинки можуть виникати у двох випадках: якщо зупинка знаходиться у «заїзному» кармані, або якщо машини припарковані після зупинки, яку маршрутний транспортний засіб повинен об'їжджати. В обох випадках громадський пасажирський транспорт виконує небезпечний маневр виїзду на проїзну частину дороги, де відбувається рух потоку транспортних засобів [12, 13].

Відповідно до чинних правил дорожнього руху водії транспортних засобів у населених пунктах повинні знижувати швидкість і при необхідності зупинятися, щоб громадський транспорт міг залишити зупинку розміщену у «кармані». З іншого боку, водії громадського пасажирського транспорту, які подали сигнал про намір почати рух із зупинки, повинні вжити заходів щодо недопущення дорожньо-транспортної пригоди.

## **1.2. Дослідження моделей для визначення закономірностей зміни витрат часу пасажирів як функції тривалості поїздки**

У науковій праці Єрмака О.М. [7] було проведено теоретико-експериментальні дослідження методик і норм розташування пунктів зупинок міського пасажирського транспорту на вулично-дорожній мережі. Встановлено

шляхи, для проведення оцінювання вартості часу на пересування та умови для встановлення зупинок пасажирського транспорту у межах перегону. Розроблено та впроваджено нормативні вказівки, що регламентують розташування зупиночних пунктів для міського пасажирського транспорту або строго відповідають стандартам (у випадку пішохідної доступності), або, навпаки, передбачають обмеження (у випадку відстаней між зупинками). Відсутність вказівок щодо встановлення місця розташування зупинки громадського транспорту із врахуванням її площі унеможлиблює дотримання правил. Аналіз існуючих методів встановлення місця розташування зупинок громадського транспорту для усіх пасажирських маршрутів показав, що вони мають в основному рекомендаційний характер і не враховують в повному обсязі існуючі пасажиропотоки, що не сприяє якісному плануванню системи міського транспорту.

Оптимальною довжиною перегону  $S(x)$  на досліджуваній довжині маршруту  $X$  являється та довжина, яка забезпечує мінімізацію загальних витрат населення, які пов'язані із функціонуванням зупинки

$$\Theta_{заг} = \sum_{i=1}^K \Theta_i \rightarrow \min, (1.1) \quad (1.1)$$

Сумарні витрати населення, які пов'язані із функціонуванням зупиночних пунктів пасажирського громадського транспорту, будуть складатися із затрат, які пов'язані із [7]:

- підходом користувачів транспортних послуг до зупиночного пункту,  $\Theta_1$ ;
- відходом користувачів транспортних послуг до зупиночного пункту,  $\Theta_2$ ;
- поїзкою у громадському транспорті при переміщенні по перегону,  $\Theta_3$ ;
- поїзкою у громадському транспорті при зупинці та стоянці на пункті зупинки,  $\Theta_4$ ;
- утриманням зупиночного пункту,  $\Theta_5$ ;

- очікуванню пасажирів громадського транспорту за їх маршрутом руху,  $\Theta_6$ ;
- затрат, які пов'язані із рухом пасажирського транспорту на одиницю довжини,  $\Theta_7$ ;
- затрат, що пов'язані із викидом шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів,  $\Theta_8$ .

Витрати, пов'язані із підходом пасажирів до зупиночного пункту, встановлюються за аналітичною залежністю [1-7]

$$\Theta_1 = \left( \frac{S(x)}{4} + \frac{1}{3\delta} \right) \frac{k_{нт} \cdot k_{во} \cdot k_{рм}}{V_{пш}} \cdot C_n \cdot F(x)_{вх}, \quad (1.2)$$

де  $\delta$  - густина маршрутної транспортної мережі, км/км<sup>2</sup>;

$k_{во}, k_{нт}, k_{рм}$  - коефіцієнти, що враховують не прямолінійність підходів та рельєфу місцевості для вибору зупиночного пункту;

$V_{пш}$  - швидкість руху пішоходів, км/год.;

$C_n$  - вартість пішого руху, грн./год.

Витрати, які пов'язані з відходом пасажирів із зупиночного пункту визначаються за формулою [7]

$$\Theta_2 = \left( \frac{S(x)}{4} + \frac{1}{3\delta} \right) \frac{k_{нт} \cdot k_{во} \cdot k_{рм}}{V_{пш}} \cdot C_n \cdot F(x)_{вих}. \quad (1.3)$$

Затрати, пов'язані із переміщенням пасажирів у транспортному засобі під час руху перегоном, обчислюються відповідно до формули

$$\Theta_3 = C_{нг} \cdot F(x)_{сл} \cdot \frac{S(x)}{V_t} \cdot \frac{1}{S(x)} = \frac{C_{нг} \cdot F(x)_{сл}}{V_t}, \quad (1.4)$$

де  $C_{nz}$  – складова вартості із врахуванням часу перебування пасажирів в салоні громадського транспорту, грн/год;

$F(x)_{cl}$  – функція пасажиропотоку, пас/добу;

$V_i$  – швидкість руху громадського транспорту, км/год.

Витрати, пов'язані із переміщенням пасажирів громадським транспортом під час стоянки в пункті зупинки обчислюються як

$$\Theta_4 = t_{on} \cdot C_{nz} \cdot F(x)_{cl} \cdot \frac{1}{S(x)}, \quad (1.5)$$

де  $t_{on}$  - час перебування пасажирського транспортного засобу на зупиночному пункті, год.

Витрати, пов'язані з обслуговуванням пункту зупинки громадського транспорту

$$\Theta_5 = \frac{C_{on}}{S(x)}, \quad (1.6)$$

де  $C_{on}$  –затрати для утримання пункту зупинки, грн./доба.

Витрати, які зумовлені очікуванням пасажирів громадського транспорту, можуть бути визначені як

$$\Theta_6 = \frac{I}{2} \cdot F(x)_{ex} \cdot C_{oc}, \quad (1.7)$$

де  $I$  - інтервал руху громадського транспорту, год. ;

$C_{oc}$  – вартість часу очікування пасажирів громадського транспорту на зупинці, грн/год.

Витрати, пов'язані з переміщенням транспортних засобів на одиницю довжини обчислюються із використанням аналітичної залежності

$$\Theta_7 = S(x) \cdot S_{км} \cdot A_{мс} \cdot \frac{1}{S(x)} = S_{км} \cdot A_{мс}, \quad (1.8)$$

де  $S_{км}$  - транспортні витрати, грн./км;

$A_{мс}$  - чисельність рухомого складу на пасажирському маршруті, од./добу.

Витрати, пов'язані з викидом забруднюючих речовин від транспортних засобів, визначаються залежністю

$$\Theta_8 = t_{он} \cdot N_2 \cdot C_2 \cdot \frac{1}{S(x)}, \quad (1.9)$$

де  $N_2$  - кількість забруднюючих речовин у вихлопних газах автотранспортних засобів виражена в кг/год;

$C_2$  - вартість впливу забруднюючих речовин у вихлопах автомобілів, грн./кг.

Таким чином, загальні витрати обчислюються як:

$$\Theta_{заг} = \Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3 + \Theta_4 + \Theta_5 + \Theta_6 + \Theta_7 + \Theta_8. \quad (1.10)$$

Підставивши вище подані аналітичні залежності у рівняння 1.10 отримаємо:

$$\begin{aligned} \Theta_{заг} = & \left( \frac{S(x)}{4} + \frac{1}{3\delta} \right) \frac{k_{нн} \cdot k_{во} \cdot k_{рм} \cdot C_n \cdot F(x)_{вх}}{V_{ниу}} + \\ & + \left( \frac{S(x)}{4} + \frac{1}{3\delta} \right) \frac{k_{нн} \cdot k_{во} \cdot k_{рм} \cdot C_n \cdot F(x)_{вух}}{V_{ниу}} + \\ & + \frac{t_{он} \cdot C_{н2} \cdot F(x)_{сл}}{S(x)} + \frac{C_{н2} \cdot F(x)_{сл}}{V_t} + \frac{C_{он}}{S(x)} + \frac{I \cdot F(x)_{вх} \cdot C_n}{2} + \\ & + S_{км} \cdot A_{мс} + \frac{t_{он} \cdot N_2 \cdot C_2}{S(x)}. \end{aligned} \quad (1.11)$$

Оптимальне значення довжини перегону  $S(x)$ , на якій забезпечуються мінімальні показники загальних витрат населення обчислюється за аналітичною залежністю

$$\frac{d\Theta_{заг}}{dS(x)} = 0. \quad (1.12)$$

Підставивши дані одержимо диф. рівняння виду

$$\begin{aligned} \frac{d\Theta_{заг}}{dS(x)} = & \frac{k_{ин} \cdot k_{во} \cdot k_{рм} \cdot C_n \cdot F(x)_{вх}}{4 \cdot V_{ниу}} + \frac{k_{ин} \cdot k_{во} \cdot k_{рм} \cdot C_n \cdot F(x)_{вих}}{4 \cdot V_{ниу}} - \\ & - \frac{t_{он} \cdot C_{нз} \cdot F(x)_{сл}}{S^2(x)} + 0 - \frac{C_{он}}{S^2(x)} + 0 + 0 - \frac{t_{он} \cdot N_z \cdot C_z}{S^2(x)} = 0. \end{aligned} \quad (1.13)$$

Оптимальна довжина перегону  $S(x)$  для вказаної довжини пасажирського маршруту може бути обчислена як траси  $X$

$$S(x)_{онм} = \sqrt{\frac{2 \cdot V_{ниу} (t_{он} \cdot C_{нз} \cdot F(x)_{сл} + C_{он} + t_{он} \cdot N_z \cdot C_z)}{F(x)_{вх} \cdot k_{ин} \cdot k_{во} \cdot k_{рм} \cdot C_n}}. \quad (1.14)$$

Із використанням співвідношення витрат до довжини перегону  $\Theta(S(x))$  було проведено дослідження зміни у загальних витратах при роботі пунктів зупинки громадського транспорту [1-9]

$$\Theta_{заг} = a \cdot S(x) + \frac{b}{S(x)} + \frac{c}{S(x)} + \frac{d}{S(x)} + f \cdot S(x) + g, \quad (1.15)$$

$$\text{де } a = \frac{F(x)_{вх} \cdot k_{ин} \cdot k_{во} \cdot k_{рм} \cdot C_n}{2 \cdot V_{ниу}}, \quad (1.16)$$

$$b = t_{on} \cdot C_{n2} \cdot F(x)_{cl}, \quad (1.17)$$

$$c = C_{on}, \quad (1.18)$$

$$d = t_{on} \cdot N_2 \cdot C_2, \quad (1.19)$$

$$f = \frac{C_{n2} \cdot F(x)_{cl}}{V_t} + S_{km} \cdot A_{mc}, \quad (1.20)$$

$$g = \frac{2F(x)_{ex} \cdot k_{nn} \cdot k_{eo} \cdot k_{pm} \cdot C_n}{3\delta \cdot V_{niu}} + \frac{I \cdot F(x)_{ex} \cdot C_n}{2}. \quad (1.21)$$

Математична модель, запропонована для встановлення оптимальної довжини перегону на будь-якій поточній довжині маршруту, дозволила дослідити загальну відповідність впливу факторів систем міського пасажирського транспорту на оптимальну довжину перегону із урахуванням загальних витрат місцевих жителів.

У роботі Калюжного М.В. [9] здійснено процес аналізу методик вдосконалення процесу пасажирського переміщення з використанням міського пасажирського транспорту та наукових підходів до визначення тривалості проїзду. Проведене аналізування шляхів до визначення тривалості поїздок на міських пасажирських маршрутах показало, що вони засновані на мінімізації часу, який пасажирі затрачають на переміщення з використанням громадського транспорту. Мета дослідження Калюжного М.В. [9] - це визначення максимальної довжини перегону на маршруті міського пасажирського транспорту, що гарантує мінімальний час проїзду пасажирів пасажирів на ньому.

На підставі аналізу методів моделювання зроблено висновок, що найбільш раціональними методами вивчення закономірностей зміни часу, який



пасажери витрачають на переміщення як функції від довжини перегону пасажирського маршруту, є методи кореляційного та регресійного аналізу.

Після проведення відповідних аналітичних перетворень було отримано цільову функцію для визначення часу поїздки в залежності від довжини перегону на пасажирських маршрутах [9]

$$\begin{aligned}
 t_n = & \left( \frac{k_{mn} k_{e.on}}{V_{neu}} \right) \left( \frac{1}{3\delta} + \frac{l_n}{4} \right) + \frac{0,8}{A} \left( (90,26\gamma + 6,48n_{on}^m + 1,89q_n + 67,55K_{cm}) + \right. \\
 & \left. + (l_M / (20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_c)) + t_k \right) + \\
 & + \frac{l_{cp}}{20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_c} + \\
 & + (90,26\gamma + 6,48n_{on}^{cp} + 1,89q_n + 67,55K_{cm}) \rightarrow \min.
 \end{aligned} \tag{1.22}$$

### 1.3. Рекомендації щодо раціонального розташування зупинок громадського транспорту

Питання визначення раціонального розташування пунктів зупинки громадського пасажирського транспорту на території міста є дуже важливим елементом містобудування [1-7], яке на сьогоднішній день потребує вирішення та обґрунтування. Крім загальних стандартів розташування зупиночних пунктів для громадського транспорту загального користування, існують також окремі інструкції для автобусних і тролейбусних зупинок, що вносить додатковий фактор невизначеності при прийнятті управлінського рішення щодо місць їхнього розташування.

Зупиночний пункт - це місце для посадки і висадки пасажирів [1, 15, 16]. Залежно від їх розташування на пасажирському маршруті вони поділяються на проміжні та кінцеві одиниці [14 - 16]. При проектуванні та встановленні автобусних зупинок слід враховувати ряд головних факторів [18]:

- забезпечення високих показників безпеки для руху людей;
- розташування на маршрутах проходження пасажирських транспортних засобів;
- врахування інтенсивності та напрямків руху транспортних та пішохідних потоків;
- забезпечення можливості пересадок із одного маршруту або виду транспорту на інший;
- створення мінімально можливих перешкод для транспортних потоків.

Залежно від загальних умов зупинки громадського транспорту можуть розміщуватися перед або позаду перехрестя, а також посередині перегонів [1-7, 25, 26].

Бажано більш детально розглянути три варіанти можливого розміщення зупиночних пунктів громадського транспорту:

- Якщо ви їдете МТЗ по маршруту і по маршруту цього маршруту, необхідно повернути ліворуч, в цьому випадку доцільно поставити зупинку за перехрестям;
- при русі громадського пасажирського транспорту по маршруту, коли виникає потреба у здійсненні повороту ліворуч, доцільно зупиночний пункт розміщувати за перехрестям;
- при наявності періодичного скупчення пасажирського транспорту, що перевищує межі зупиночного пункту, необхідно утриматися від розміщення зупинки за перехрестям, вона повинна бути розташована до перехрестя або реконструйована;
- на складних перехрестях зупинки повинні розташовуватися за перехрестям. У зоні пересадки з одного автобусного маршруту на інший рекомендується розміщувати зупинку першого маршруту перед перехрестям, а

другого – після перехрестя. При цьому обидві зупинки знаходяться з одного боку вулиці і потреба пасажирів в переході вулиці зводиться до мінімуму.

- якщо значний відсоток пасажирів виходить на зупинці, і там формується великий пасажиропотік, автобусна зупинка повинна бути розміщена таким чином, щоб мінімізувати пішохідний перехід перехрестя. В цьому випадку є можливість розташування зупинки перед перехрестям або позаду нього.

Відстань пішохідних підходів до найближчої зупинки громадського транспорту повинна не перевищувати 500 м [15, 20]. У центральні частині міста діапазон пішохідної доступності до найближчої зупинки громадського транспорту повинен не перевищувати 250 м від масових об'єктів відвідування; у комунальних, виробничих і складських зонах та районах - не більше 400 м від підприємств; в рекреаційно-масових та спортивних зонах - не більше 800 м від головного входу [20].

У районах індивідуальної садибної забудови та великих містах діапазон пішохідного доступу до найближчої зупинки громадського транспорту може бути збільшений до 600 м, і до 800 м в малих і середніх містах [21].

Слід зазначити, що на коротких ділянках перегону продуктивність роботи пасажирського транспорту погіршується, так як додатковий час витрачається на гальмування, розгін і маневрування для під'їзду та виїзду із зупиночних пунктів [20, 24]. Рекомендована відстань між зупинними пунктами для громадського транспорту знаходиться у діапазоні від 260 до 290 м. Час, необхідний пасажирам для підходу до зупиночного пункту у місті, не повинен перевищувати 10-15 хвилин з урахуванням маршрутів для всіх типів пасажирського транспорту [20, 24].

Степінь впливу міських автобусних маршрутів на пропускну спроможність вулично-дорожньої мережі залежить від категорії конкретного міського району, ширини вулиці, умов стоянки, кількості рухомого складу на кожному пасажирському маршруті, розташування зупинок громадського транспорту. При цьому на вузьких ділянках вулично-дорожньої мережі відбувається затримка руху транспорту і обмежується його швидкість [20, 25].

На практиці, при досить щільному русі громадського транспорту, зупинки, розміщені перед перехрестям знижують пропускну здатність доріг більше, ніж за перехрестям.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### **2.1. Вихідні дані для обґрунтування параметрів роботи зупинок пасажирського транспорту**

З метою вирішення завдань дослідження виділяють окремо три основні напрямки моделювання елементів транспортного процесу відповідно до з [1-7]:

- розрахунок фактичного часу затримки пасажирського транспорту при відправці із зупиночного пункту;

- оцінка показників ефективності прийнятих шляхів щодо раціонального розташування зупиночних пунктів у фактичній транспортній мережі при різних умовах роботи пункту зупинки, які пов'язані зі зміною інтенсивності транспортних потоків із врахуванням часових параметрів,

- моделювання попиту на транспортні переміщення в умовах інтенсивної взаємодії об'єкта дослідження з його середовищем, що необхідно для оцінки ефективності заходів щодо раціонального розміщення зупиночних пунктів у довгостроковій перспективі.

Ефективність заходів щодо раціонального розміщення зупиночних пунктів на реальній пасажирській транспортній мережі можна оцінити за допомогою існуючого сучасного програмного забезпечення для макромоделювання міських і регіональних транспортних систем PTV VISUM. Однак перше і третє завдання вимагають розробки спеціальних аналітичних моделей, що відповідають умовам експлуатації пунктів зупинки громадського транспорту, типів проїзних шляхів через недостатню точність моделей, які на даний час розроблені.

В якості критерію визначення раціонального розташування пунктів зупинки громадського транспорту до або після регульованого перехрестя в науковій роботі [7] запропоновано параметр, а саме час затримки виїзду

пасажирського транспорту на крайню праву смугу після посадки і висадки пасажирів.

Розрахунок часу затримки транспорту при відправці із пункту зупинки - одне із багатьох завдань, що відноситься до мікромодельовання транспортної мережі. Сфера застосування мікромодельовання зазвичай знаходиться за межами сфери задач багатовимірної оптимізації, що пов'язано з існуючими ресурсними обмеженнями на практиці. Мікромодельовання дає об'єктивні результати при використанні його в якості альтернативи експериментальним дослідженням. Для виконання ефективного мікромодельовання необхідно заповнити дані про процес та об'єктивність його оцінки. Дослідження тенденцій технологічного процесу дозволяє оцінити значення його показників у майбутньому, щоб сформувавши систему заходів щодо забезпечення досягнення поставленої мети модельовання.

Для того щоб виконати мікромодельовання процесу руху пасажирського транспорту із зупиночного пункту було прийнято, що  $t_0 = 0$  - час прибуття транспортного засобу на зупинку, а  $t$  - час початку відправлення транспорту із пункту зупинки, при цьому  $t + \tau(v)$  - час завершення відправлення громадського пасажирського транспорту. У часі  $t$  громадський транспорт знаходиться на зупинці, а протягом часу  $\tau(v)$  виїжджає на смугу руху вулично-дорожньої мережі. В цьому випадку спостерігається потік транспортних засобів, що проходять поблизу пункту зупинки. Дослідження показали, що можна використовувати закон Пуассона для опису потоків, які мають відносно низьку інтенсивність, що характеризується ймовірністю руху певної кількості транспортних засобів на ділянці дороги [21].

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

де  $P_n(t)$  – ймовірність проїзду  $n$  – і чисельності транспортних засобів за період  $t$ ;  
 $\lambda$  – головний показник розподілу транспортного потоку, авт./с;  
 $t$  – величина проміжків, за яких відбувалося дослідження, с;

$n$  – кількість встановлених транспортних засобів.

Інтенсивність транспортного потоку можна встановити використовуючи аналітичну залежність

$$\lambda = \left( \frac{1}{m_1} \right) \quad (2.2)$$

де  $m_1$  - середнє показник інтервалу руху транспортного засобу, с.

Необхідно відмітити, що при встановлені часу затримки виїзду рухомого складу від пункту зупинки не враховується час посадки і висадки пасажирів. Тобто час виїзду громадського транспорту із зупиночного пункту починає відлік тільки після закриття дверей пасажирського транспорту.

$A1\{\zeta t > \tau(v)\}$  – виїзд пасажирського транспорту із зупиночного пункту без затримки при цьому  $\tau(v) = \text{const}$ .  $t$  – момент закривання дверей громадського транспорту та включення водієм покащика лівого повороту для виїзду із місця зупинки,  $\zeta t$  – час очікування появи транспортного засобу на смузі руху,  $\tau(v)$  – час виїзду громадського транспорту. Схема досліджуваного процесу зображена на рисунку 2.1.

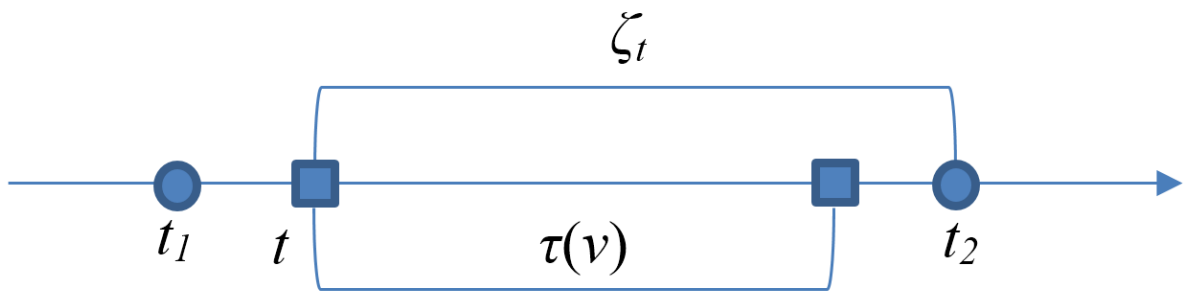


Рис. 2.1 – Час виїзду громадського пасажирського транспорту без затримки у транспортний потік

Для моделювання досліджуваного процесу було зроблено допущення, що потік транспортних засобів, які рухаються повз зупинку є Пуассонівський з показником  $\lambda$ , тоді в силу відсутності післядії для показового інтервалу

найпростішого потоку  $\tau_3$  – має такий самий розподіл, як і  $\tau_6$ , так як  $\zeta t$  і  $\tau n$  мають один і той же показовий розподіл. Відповідно  $\tau_{3v} = \tau_6$  (див. рис. 2.2) [21].

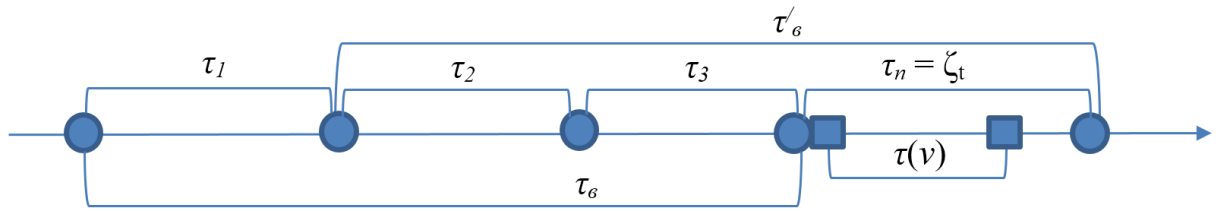


Рис. 2.2 – Час очікування виїзду громадського транспорту з урахуванням проїзду ряду автомобілів повз пункту зупинки

На практиці, час виїзду транспорту із зупиночного пункту залежить від його місця розташування до або після регульованого перехрестя. Варіанти ситуацій, що виникають при виїзді громадського транспорту із пункту зупинки зображені на рис. 2.3 [1-7, 19, 21].

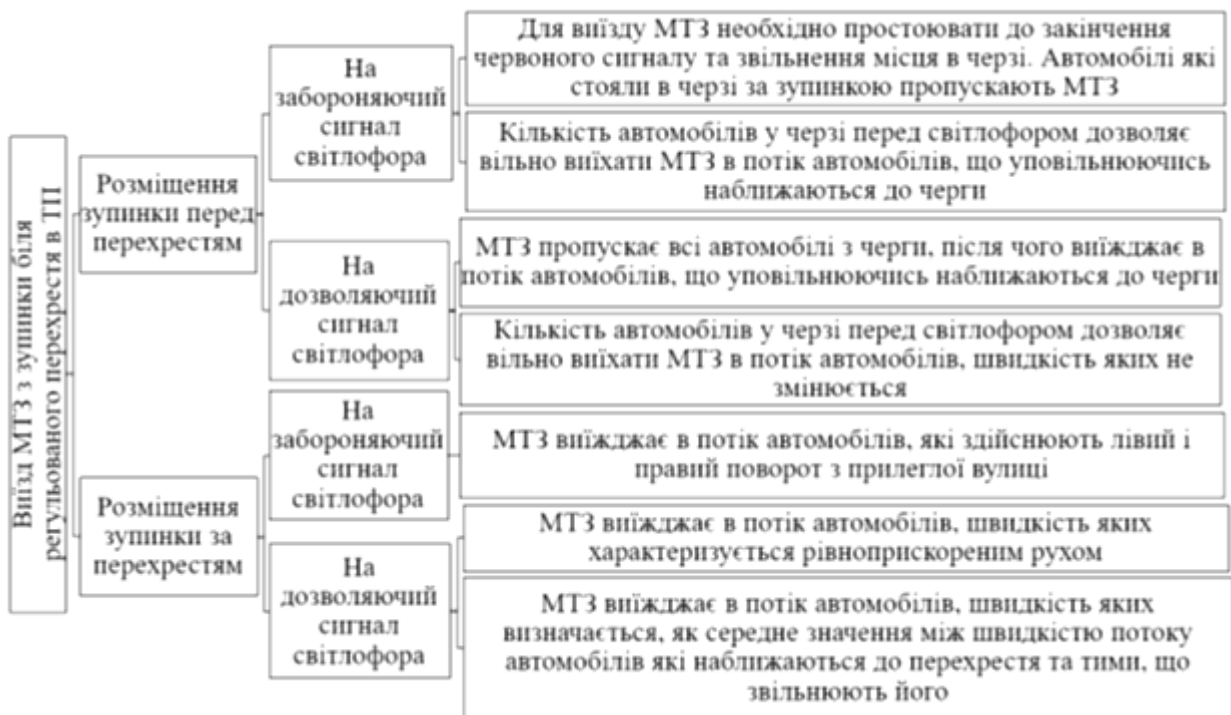


Рис. 2.3 – Варіанти ситуацій, що виникають при виїзді громадського транспорту із пункту зупинки



## **2.2. Встановлення експериментальних показників функціонування зупиночних пунктів**

Головними завданнями експериментального дослідження для встановлення кореспонденційної матриці є одержання вихідних даних для розрахунку можливостей транспортного району. При цьому об'єктами експериментальних досліджень транспортних потоків, які змінюються з часом на в'їздах до центральної частини міста, є інтенсивність обміну транспортних засобів на стоянці та їх щільність. Достовірну інформацію про об'єкт можна отримати тільки в результаті натурних досліджень (експериментів в реальних умовах функціонування). Оскільки транспортна система є досить складною, для точної оцінки її параметрів необхідна велика кількість проведених експериментів.

Розрахунок потужностей транспортних районів проводять у відповідності до наступних правил [1-7, 19, 23]:

- рух в межах транспортного району може здійснюватися пішки, а всі рухи між районами приведені до переміщень між їх центрами;
- річки, залізничні колії, яри та інші перешкоди, а також межі адміністративних районів міста, служать природними межами транспортних районів і не повинні знаходитися в їх межах;
- границі транспортних районів не повинні розділяти будинки, парки і заводські зони;
- межі транспортних районів не можуть проходити по основних автомагістралях і повинні перетинати їх під прямим кутом.

Розрахунок пропускної здатності транспортних районів є першим кроком в кількісному аналізі розмірів і структури руху транспортних засобів на вулично-дорожній мережі.

Матриці кореспонденцій є найважливішими даними, що характеризують розподілення транспортних потоків між транспортними районами міста і зазвичай використовуються при плануванні дорожнього руху та проектуванні

дорожнього руху. Розрахунок кореспонденційної матриці ґрунтується на всій наявній інформації про транспорту систему, отриманої в ході попередніх досліджень при натурних спостереженнях.

### **2.3. Результати дослідження роботи пунктів зупинок громадського транспорту**

Для дослідження були обрані зупинки громадського транспорту, які розташовані в транспортних районах із найбільшим пасажирообміном. Дослідження відбувалися шляхом підрахунку пасажирообміну за часовими проміжками (кожні 15 хвилин).

Дослідження проводилося вранці, опівдні і ввечері. Однак за результатами попереднього аналізу було встановлено, що є чітко визначені години пік вранці - 8:00-8:15, 8:15-8:30, 8:30-8:45, 8:45-9:00 (періоди приймаються як Р3, Р4, Р5, Р6); вечір – 17:30-17:45, 17:45-18:00, 18:00-18:15, 18:15-18:30 (періоди приймаються як В3, В4, В5, В6). Пасажирообміни в обідню пору не представляють великого інтересу, так як вони у 3-4 рази менші. У місті Рівне сформували вибірку для 35 зупиночних пунктів із кількістю спостережень понад 35 тисяч.

За кожен період кількість спостережень була наступною:

- зупинка Автовокзал: Р3 – 33, Р4 – 38, Р5–34, Р6 – 38 ; В3 – 1, В4 – 4, В5 – 5, В6 – 13;
- ЦУМ : Р3 – 3, Р4 – 5, Р5 – 3, Р6 – 4 ; В3 – 4, В4 – 3, В5 – 3, В6 – 4 ;
- 12 школа: Р3 - 16, Р4 - 12, Р5-15, Р6 - 12 В3 - 10, В4 - 10, В5 - 12, В6 – 14.

Отримані результати відображені на рисунках 2.4. – 2.15.

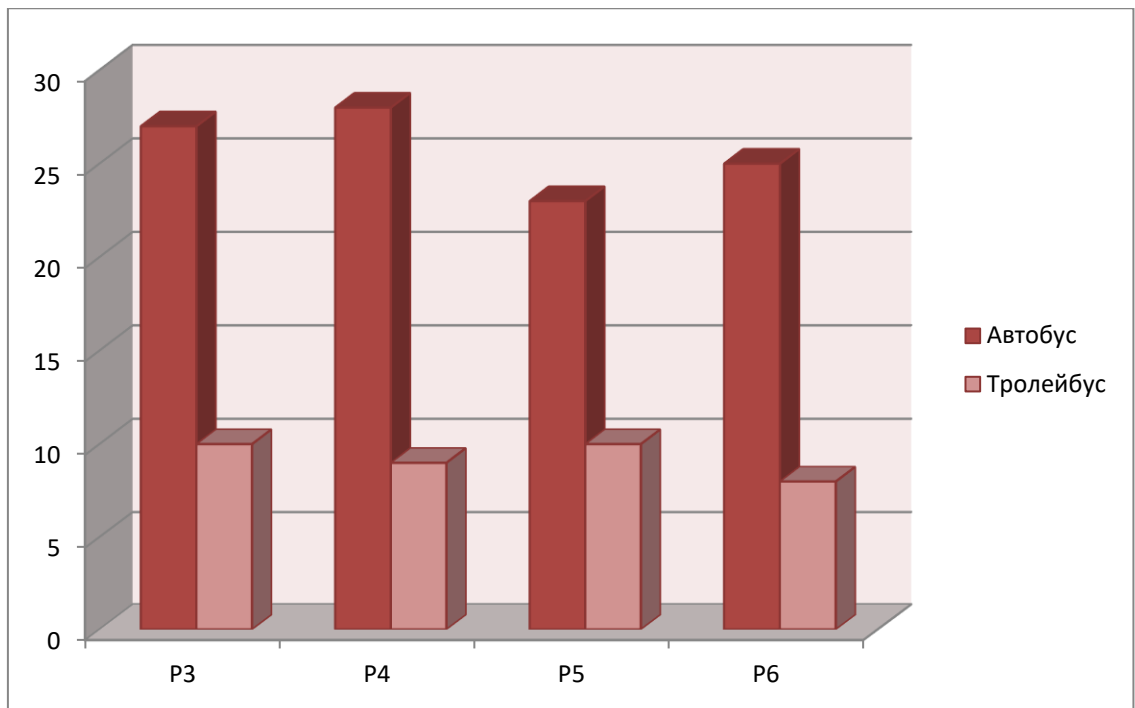


Рис. 2.4 – Кількість громадського пасажирського транспорту та його розподіл за видами, що прибули на зупинку Автовокзал у часовому проміжку 8:30 -9:30

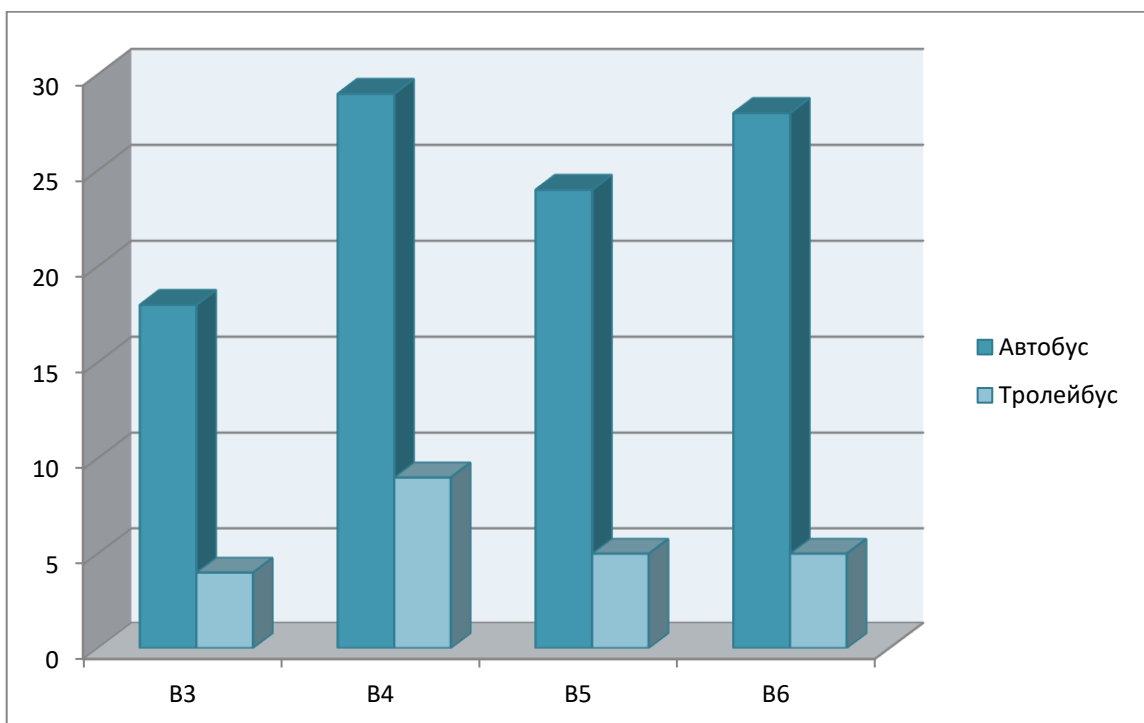


Рис. 2.5. - Кількість громадського пасажирського транспорту та його розподіл за видами, що прибули на зупинку Автовокзал у часовому проміжку 17:30 -18:30

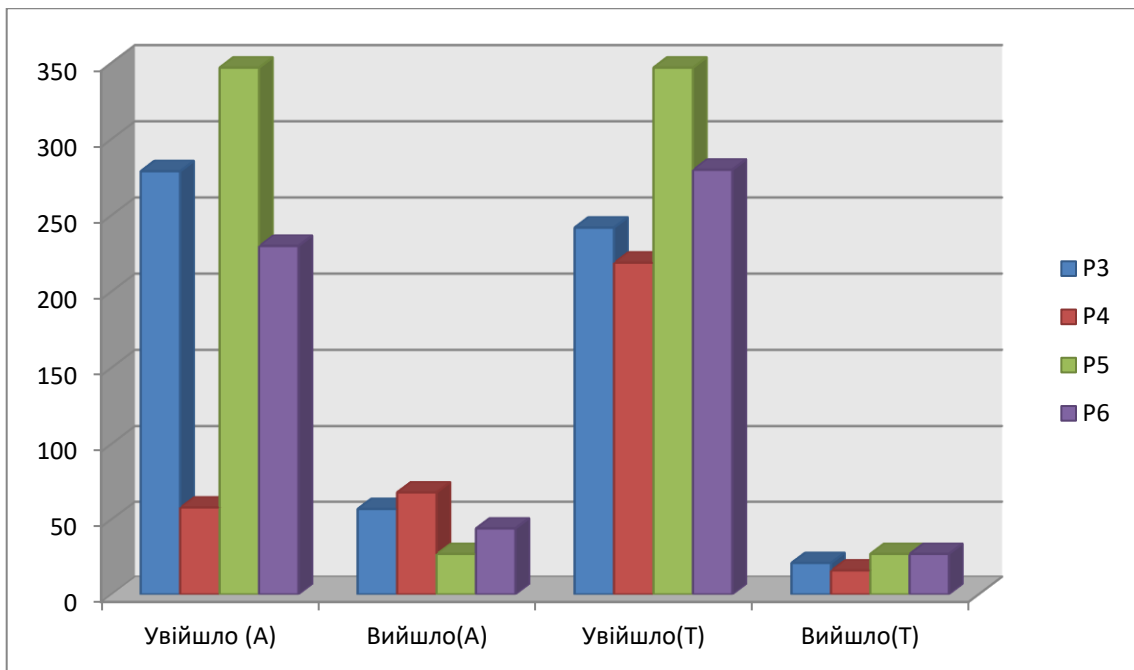


Рис. 2.6. - Розподілення кількості пасажирів (вхід та вихід) між видами транспорту на зупиночному пункті громадського транспорту Автовокзал у часовому проміжку 8:30 -9:30

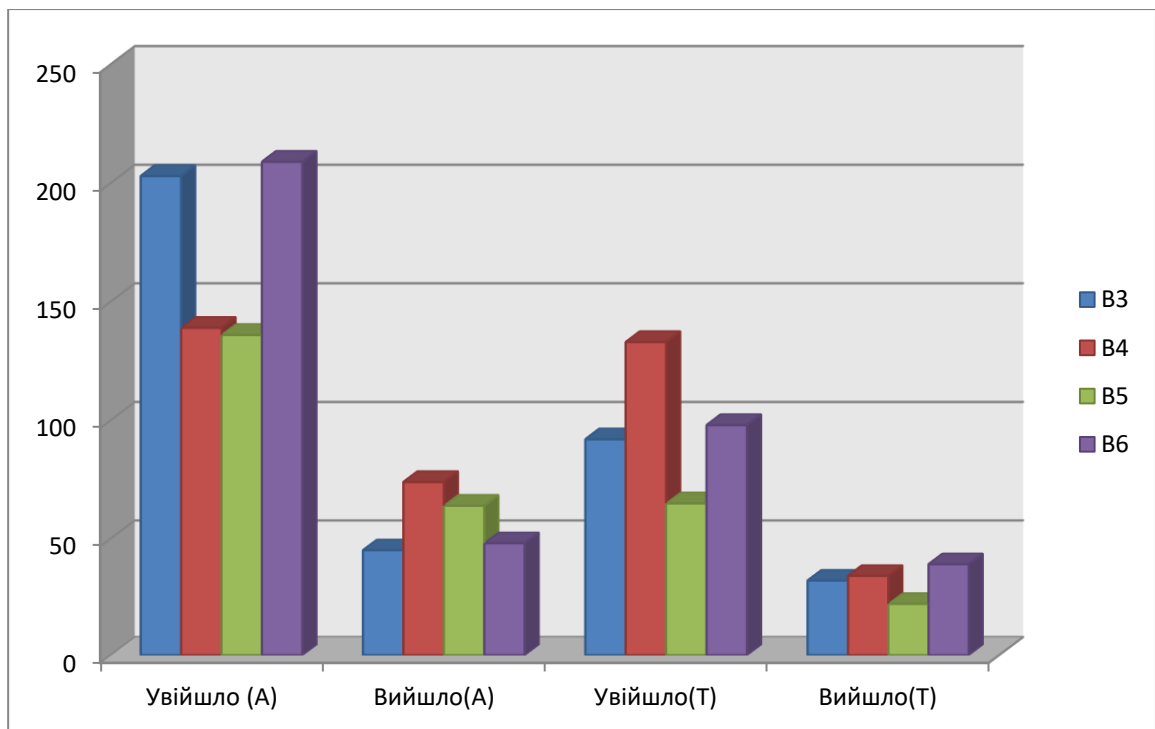


Рис. 2.7. - Розподілення кількості пасажирів (вхід та вихід) між видами транспорту на зупиночному пункті громадського транспорту Автовокзал у часовому проміжку 17:30 -18:30

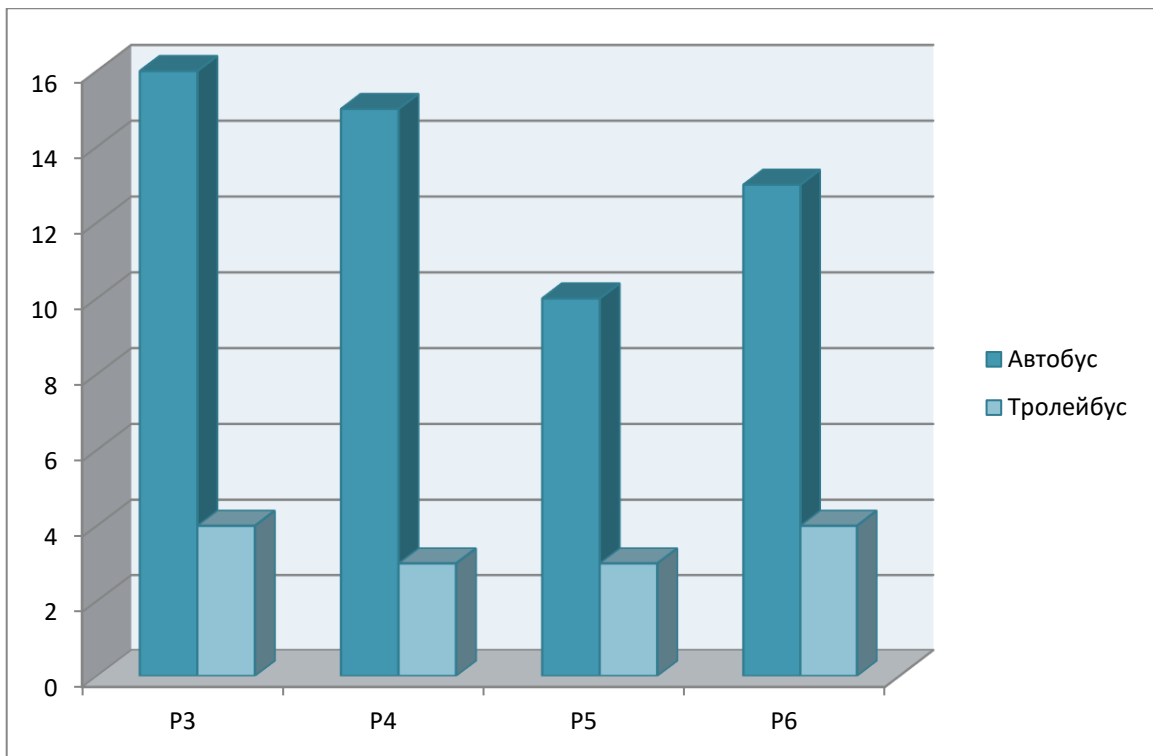


Рис. 2.8. - Кількість громадського пасажирського транспорту та його розподіл за видами, що прибули на зупинку ЦУМ у часовому проміжку 8:30 - 9:30

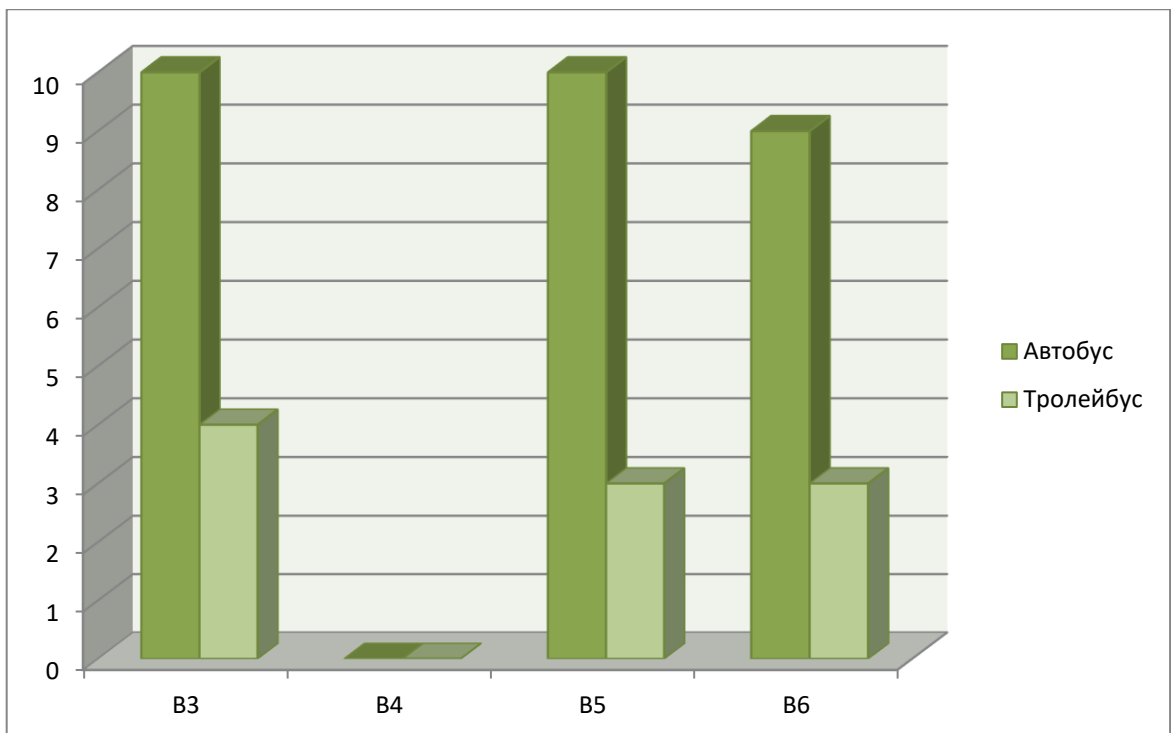


Рис. 2.9. - Кількість громадського пасажирського транспорту та його розподіл за видами, що прибули на зупинку ЦУМ у часовому проміжку 17:30 - 18:30

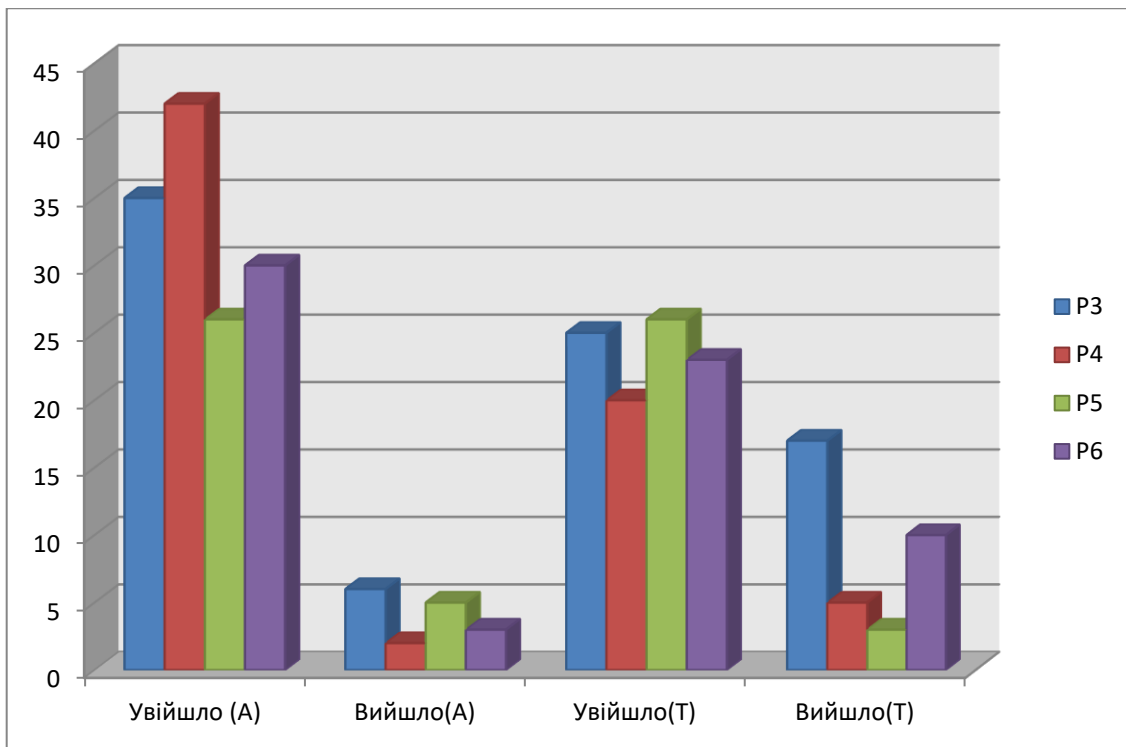


Рис. 2.10. - Розподілення кількості пасажирів (вхід та вихід) між видами транспорту на зупиночному пункті громадського транспорту ЦУМ у часовому проміжку 8:30 -9:30

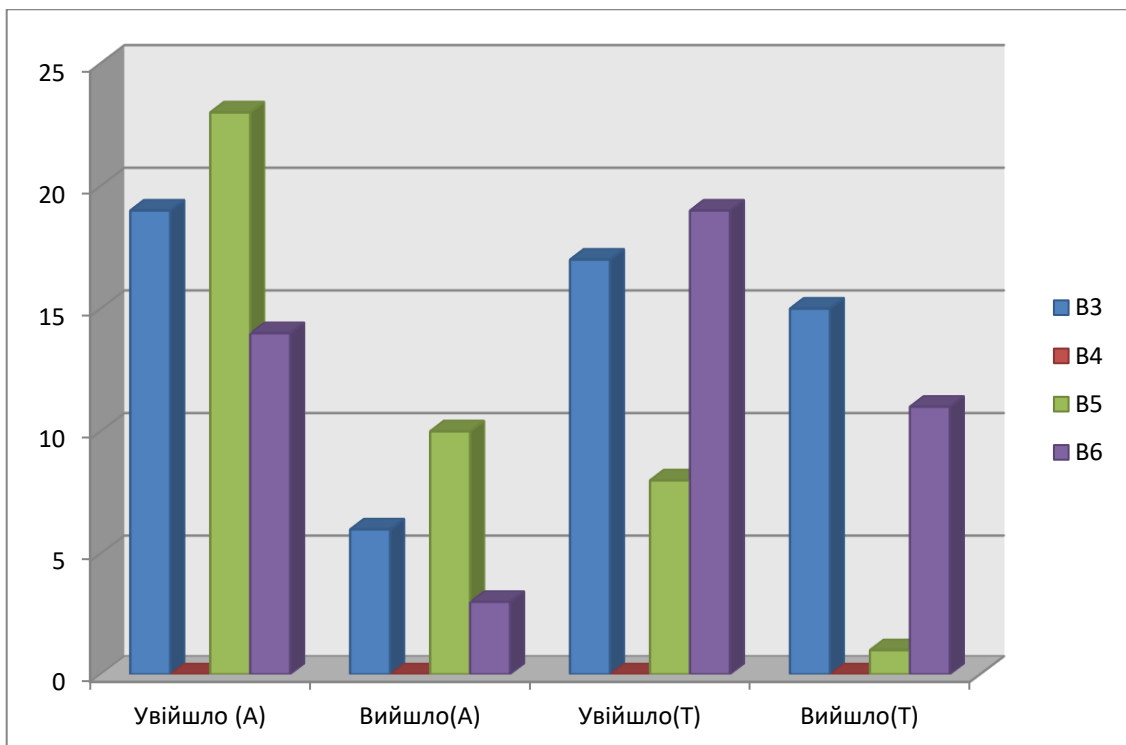


Рис. 2.11. - Розподілення кількості пасажирів (вхід та вихід) між видами транспорту на зупиночному пункті громадського транспорту ЦУМ у часовому проміжку 17:30 -18:30

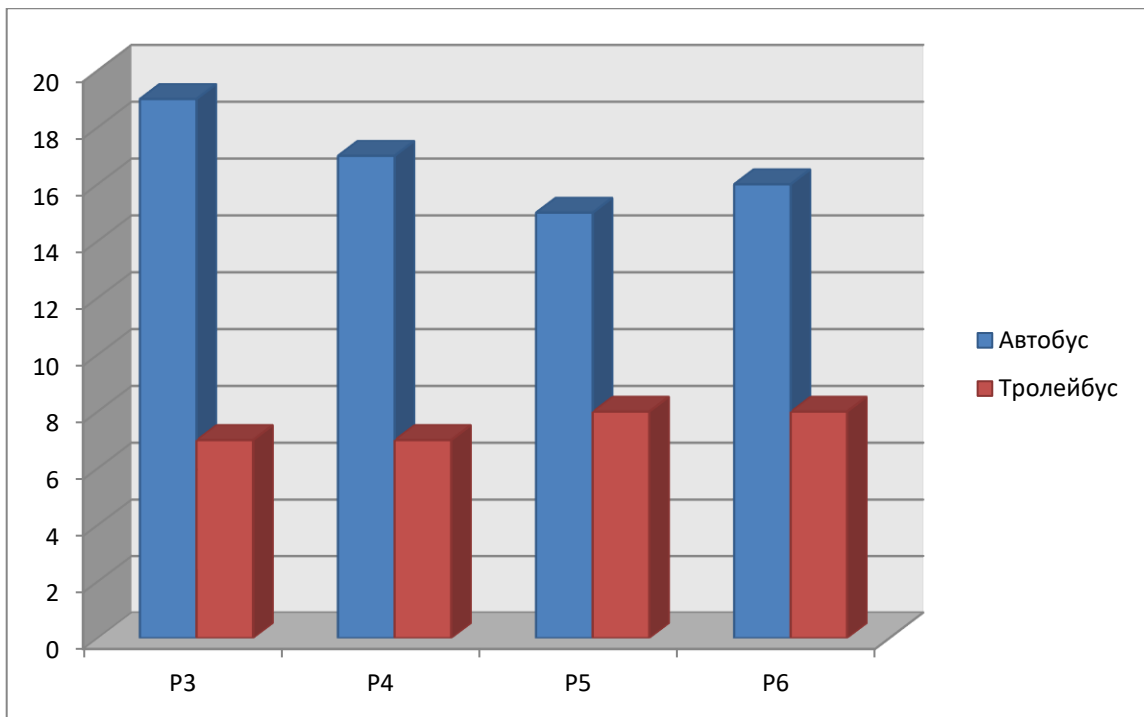


Рис. 2.12. - Кількість громадського пасажирського транспорту та його розподіл за видами, що прибули на зупинку 12 школа у часовому проміжку 8:30 -9:30

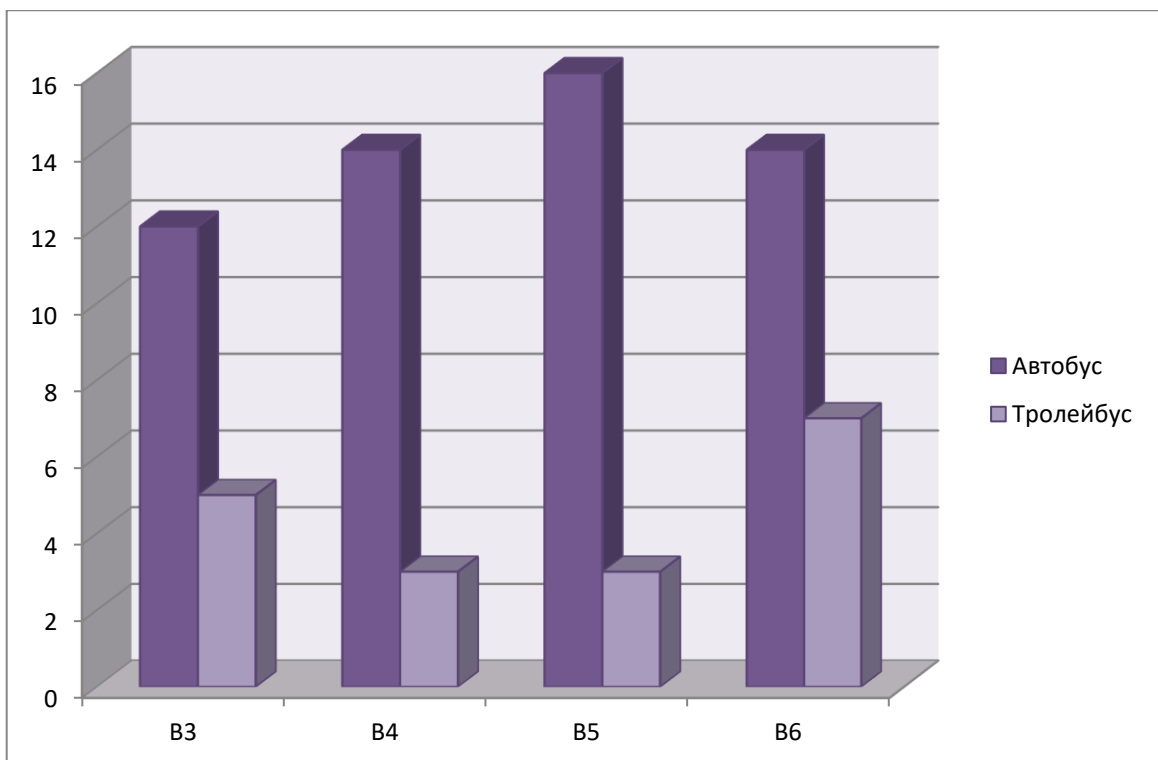


Рис. 2.13. - Кількість громадського пасажирського транспорту та його розподіл за видами, що прибули на зупинку 12 школа у часовому проміжку 17:30 -18:30

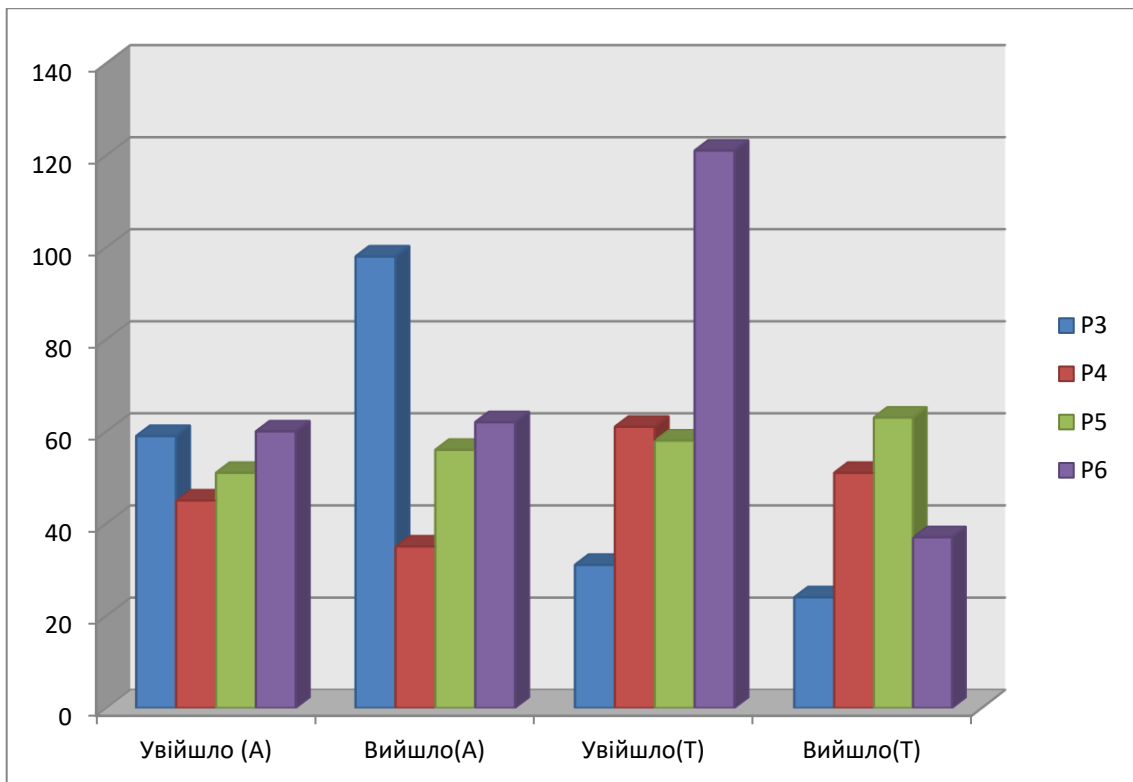


Рис. 2.14. - Розподілення кількості пасажирів (вхід та вихід) між видами транспорту на зупиночному пункті громадського транспорту 12 школа у часовому проміжку 8:30 -9:30

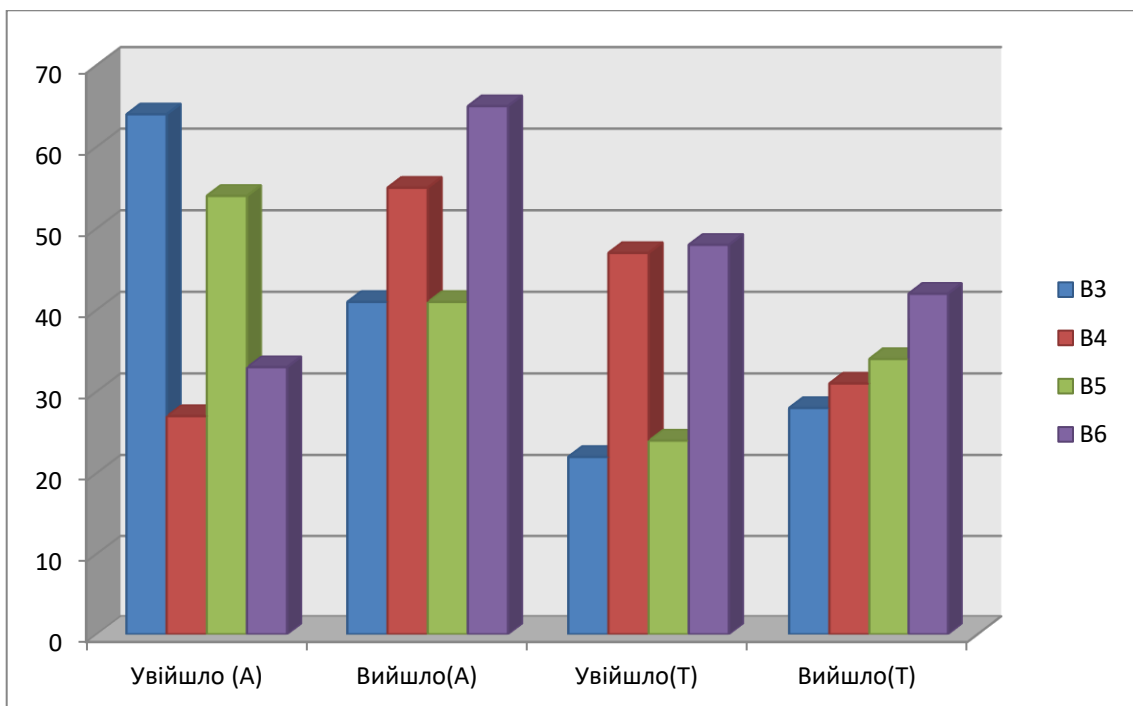


Рис. 2.15. - Розподілення кількості пасажирів (вхід та вихід) між видами транспорту на зупиночному пункті громадського транспорту 12 школа у часовому проміжку 17:30 -18:30



Як показано на рисунку 2.4. кількість пасажирського транспорту, що прибуває на зупинку Автовокзал у ранкові години, як автобусів так і тролейбусів є майже однаковою - від 23 до 28 одиниць автобусів і від 8 до 10 тролейбусів. Вечірній час (див. рис. 2.5.) зупинка громадського транспорту Автовокзал характеризується більшою нерівномірністю прибуття автобусів і тролейбусів. Кількість автобусів варіюється від 18 до 29, тролейбусів – від 4 до 9.

Кількість пасажирів, які здійснюють посадку на досліджуваному зупиночному пункті, характеризується значними нерівностями у інтервалі 15-хвилин у ранкову годину пік (8:30 - 9:30). Загальна кількість пасажирів, що увійшли в автобус, становить 914, тролейбус - 1088 пасажирів (див. рис. 2.6.). Така ж ситуація характерна і для вечірньої години пік (17:30 – 18:30). Загальна кількість пасажирів автобусів - 687, тролейбусів - 388 (див. рис. 2.7.). Пасажирообмін на зупиночному пункті ввечері у 2 рази менший ніж вранці.

Ранковий період на зупинці пасажирського транспорту ЦУМ (див. рис. 2.8.) характеризується рівномірним прибуттям як автобусів - від 10 до 16 одиниць, так і тролейбусів - від 3 до 4.

Кількість пасажирів, які здійснюють посадку на досліджуваному зупиночному пункті є рівномірною в ранкову годину пік кожні 15 хвилин (8:30 - 9:30). Загальна кількість пасажирів, які увійшли в автобуси - 133, в тролейбуси - 94 (див. рис. 2.10.). У вечірній час, зупинка громадського транспорту ЦУМ, характеризується значною нерівністю пасажирського потоку. Кількість пасажирів автобусів - 56, тролейбусів - 44 (див. рис. 2.11.).

Потік громадського пасажирського транспорту, що прибуває до зупинки 12 школа в ранкову годину пік (див. рис. 2.12.), характеризується однорідністю. Кількість автобусів – від 15 до 19 одиниць, тролейбусів – від 7 до 8. Вечірній час також характеризується рівномірністю прибуття (див. рис. 2.13.). Кількість автобусів – від 12 до 16 одиниць, тролейбусів – від 3 до 7.

Кількість користувачів послуг громадського транспорту на зупинці 12 школа є нерівномірною як у ранковий проміжок часу (див. рис. 2.14) так і у

вечірній (див. рис. 2.15.). Загальна кількість пасажирів, що використали для поїзди автобуси у ранішню пору становить 215, у вечірню – 178; для тролейбусів: ранок – 271, вечір – 141.

### РОЗДІЛ 3

## МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

### 3.1. Система масового обслуговування із відмовами

Система масового обслуговування із відмовами [19, 21] включає в себе  $n$  сервісних каналів, які приймають найпростіший потік запитів для обслуговування клієнтів з інтенсивністю  $\lambda$ , час обслуговування розподіляється по експоненціальному розподілу з параметром  $\mu$ , тобто потік обслуговування також є найпростішим по відношенню до параметра  $\mu$ . Черг немає, а значить, запит, який надходить, коли всі канали зайняті, отримує відмову в обслуговуванні. Ця система є однією із найпростіших і на ній базується теорія СМО. Типовим прикладом використання СМО є робота кол-центрів. У них запит, який надійшов в систему - це дзвінок замовника у центр. Якщо потрібна лінія зв'язку вже зайнята іншим абонентом, клієнту відмовляють в обслуговуванні.

Дослідимо алгоритм функціонування системи масового обслуговування. Позначимо через  $S_i$  стан системи обслуговування, коли в ній перебуває  $i$ ,  $i=0, 1, \dots, n$  запитів. Граф станів та переходів для цієї системи при  $n = 5$  подано на рис. 3.1 [19, 21].

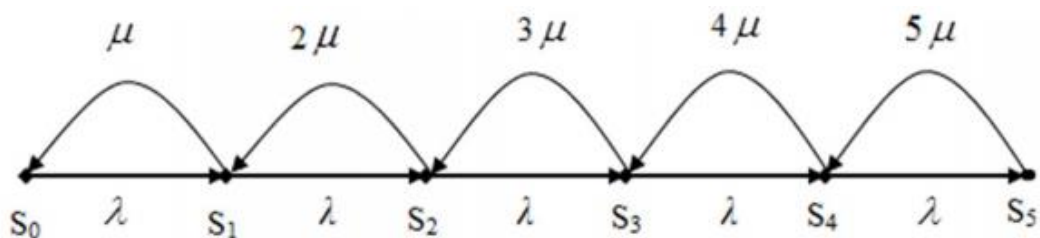


Рис. 3.1 – Граф станів і переходів СМО з відмовами в обслуговуванні

Позначимо через  $p(t)$  імовірність стану  $S_i$ . Використовуючи методику підрозділу 1.2.3, складемо систему диференціальних рівнянь для станів  $S_i, i=0,1,2,\dots,n$ :

$$\begin{aligned} p'_0(t) &= -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t), \\ p'_1(t) &= -(\lambda + \mu)p_1(t) + \lambda p_0(t) + 2\mu p_2(t), \\ p'_i(t) &= -(\lambda + i\mu)p_i(t) + (i+1)\mu p_{i+1}(t), \quad 1 \leq i < n, \\ p'_n(t) &= -n\mu p_n(t) + \lambda p_{n-1}(t). \end{aligned} \quad (3.1)$$

Із врахуванням початкових умов отримаємо

$$p_0(0) = 1, p_i(0) = 0, 1 \leq i < n. \quad (3.2)$$

Якщо значення  $n$  є невеликим, тоді використовуючи алгоритм розв'язку систем лінійних диференціальних рівнянь [15] при конкретних значеннях  $\lambda$  і  $\mu$ , можна знайти аналітичний розв'язок цієї системи. Для прикладу, коли маємо  $n = 2$ ;  $\lambda=1$ ;  $\mu=0,55$  розв'язок системи (3.1) набуде вигляду:

$$\begin{aligned} p_0(t) &= 0,645 * e^{-1,03t} + 0,12 * e^{-2,61t} + 0,224, \\ p_1(t) &= -0,040 * e^{-1,03t} - 0,366 * e^{-2,61t} + 0,407, \\ p_2(t) &= -0,605 * e^{-1,03t} + 0,25 * e^{-2,61t} + 0,370. \end{aligned}$$

Діаграми  $p_0(t), p_1(t), p_2(t)$  залежностей функцій у часі наведені на рисунку 3.2.

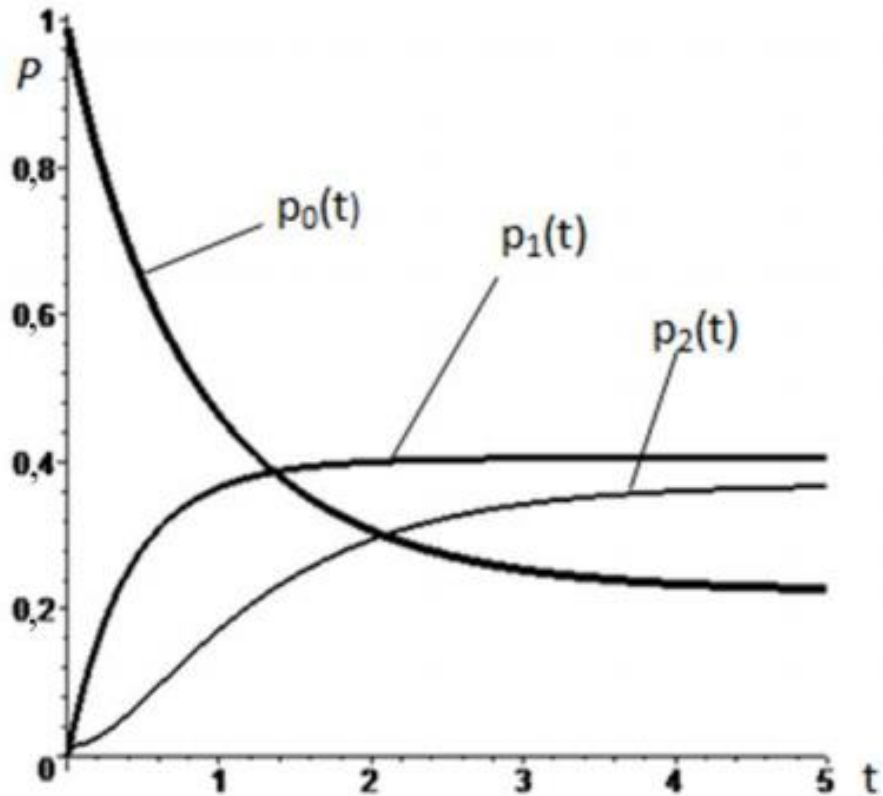


Рис. 3.2 – Залежності ймовірностей станів системи з відмовами з урахуванням часових показників

Зрозуміло, що при необмеженому зростанні показника часу поведінка функцій  $p_i(t)$  вже не залежить від часу, і система здійснює перехід у режим стаціонарної роботи.

Тобто,  $\lim_{t \rightarrow \infty} p_i(t) = p_i, i = 0, 1, 2$ , де  $p_i$  – константи. Проаналізувавши вирази для функцій  $p_i(t)$  зрозуміло, що при  $t \rightarrow \infty$  вони рівні відповідним константам у правій частині, тобто  $p_0 = 0,224; p_1 = 0,406; p_2 = 0,370$ .

Ймовірності станів перебування системи у стаціонарному режимі можна встановити використовуючи простіші методи. З огляду на те що  $\lim_{t \rightarrow \infty} p'_i(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} p'_i = 0$ , система рівнянь (3.1) зміниться на:

$$\begin{aligned}
 -\lambda p_0 + \mu p_1 &= 0, \\
 -(\lambda + \mu)p_1 + \lambda p_0 + 2\mu p_2 &= 0, \\
 -(\lambda + i\mu)p_i + \lambda p_{i-1} + (i+1)\mu p_{i+1} &= 0, 1 \leq i < n, \\
 -n\mu p_n + \lambda p_{n-1} &= 0
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Необхідна умова для нормування

$$\sum_{i=0}^n p_i = 1. \quad (3.4)$$

Розділимо усі рівняння із системи (3.3) на  $\mu$  і введемо параметр  $p = \lambda / \mu$ , що відповідає за навантаженість системи по одному каналу. Система рівнянь (3.4) набуде виду:

$$\begin{aligned} -pp_0 + p_1 &= 0, \\ -(p+1)p_1 + pp_0 + 2p_2 &= 0, \\ -(p+i)p_i + pp_{i-1} + (i+1)p_{i+1} &= 0, 1 \leq i < n, \\ -np_n + pp_{n-1} &= 0. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Поетапно розв'язуючи систему рівнянь (3.5) відносно  $p_0$ , отримаємо:  $p_i = \frac{p^i}{i!} p_0$ . Підставивши дану залежність у формулу (3.4), встановимо  $p_0 = \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{p^i}{i!}\right)^{-1}$ .

В кінцевому вигляді ймовірність того, що обслуговуються усі запити що надходять у систему, тобто система перебуває в стані  $S_i$ , визначається за аналітичним виразом

$$p_i = \frac{p^i}{i!} \left(\sum_{k=0}^n \frac{p^k}{k!}\right)^{-1}, 0 \leq i \leq n \quad (3.6)$$

Цей вираз отримало назву формули Ерланга. Є дані, що ця формула справедлива для будь-якого безперервного розподілу часу обслуговування по каналу [16]. Основні характеристики отриманої СМО при відмовах наступні:

$$\text{Ймовірність відмови в обслуговуванні } P_{vidm} = p_n = \frac{p^n}{n!} \left(\sum_{k=0}^n \frac{p^k}{k!}\right)^{-1}.$$

Даний аналітична залежність означає, що в даному запиті буде відмова в обслуговуванні, коли всі лінії будуть зайняті. Абсолютна пропускна здатність системи- це середня кількість запитів, які СМО може обробити за одиницю часу, що представляє собою ту частину вхідного потоку запитів, яка надходить і обробляється системою:

$$A = \lambda Q = \lambda \left[ 1 - \frac{\rho^n}{n!} \left( \sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1} \right] \quad (3.7)$$

Середня кількість запитів в системі та середня кількість каналів зв'язку для відповіді на запити розраховуються як математичне очікування:

$$L_s = \sum_{i=1}^n i p_i = \sum_{i=1}^n i \frac{\rho^i}{i!} \left( \sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1} \quad (3.8)$$

Коефіцієнт, що відповідає за завантаженість ситеми масового обслуговування визначається за виразом  $K_z = L_s/n = \sum_{i=1}^n i \frac{(na)^i}{ni!} \left( \sum_{k=0}^n \frac{(na)^k}{k!} \right)^{-1}$ .

Зобразимо на рисунку 3.3 графічну залежність ймовірності виникнення відмови в обслуговуванні відносно від кількості каналів при різних значеннях  $\rho$ .

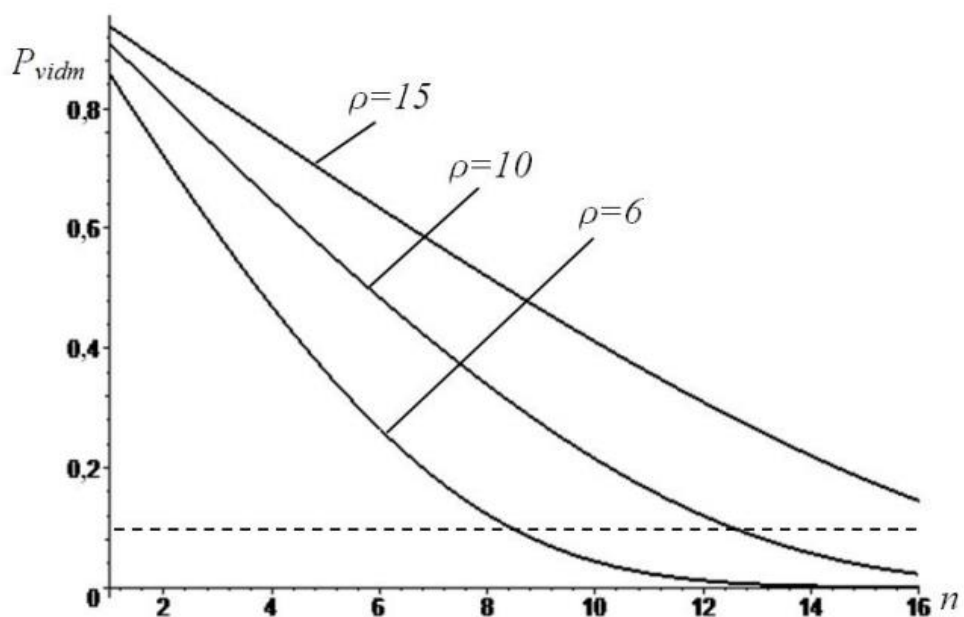


Рис. 3.3 – Відношення ймовірності відмов в обслуговуванні

На рисунку 3.4 представлено графічне зображення залежності коефіцієнта навантаження системи від кількості каналів обслуговування для різних значень  $\rho$ .

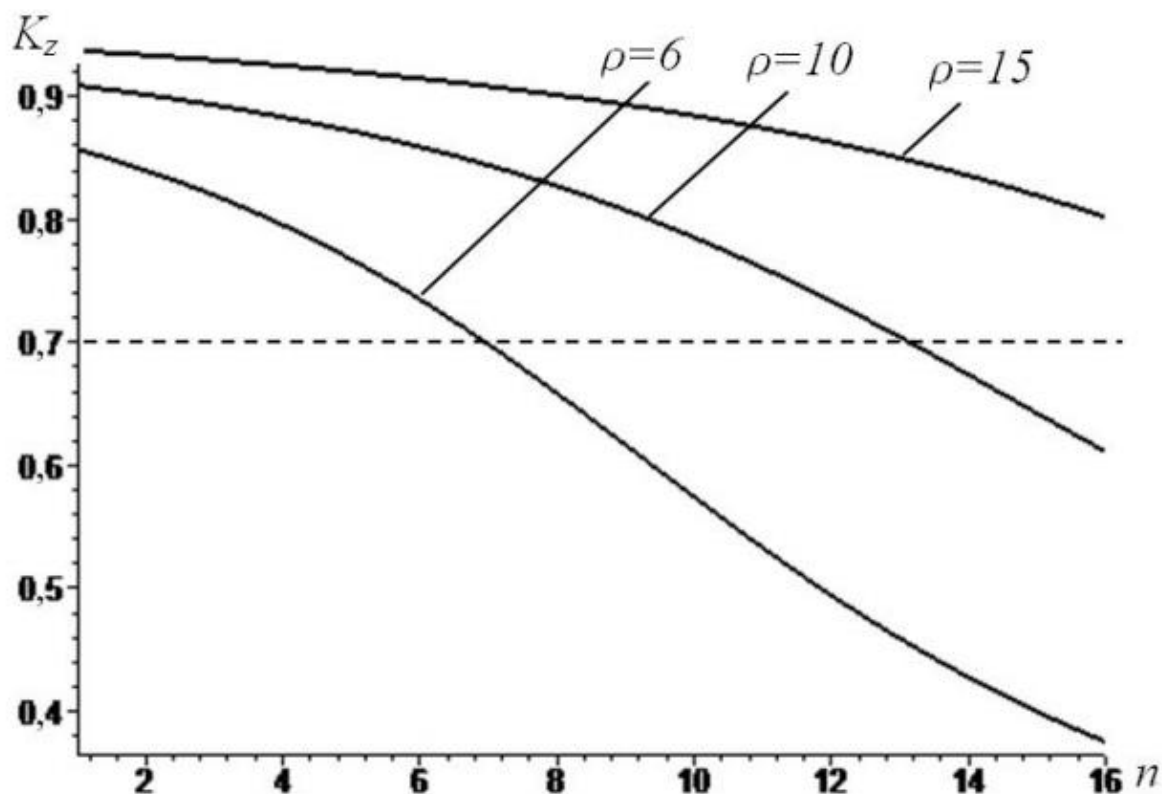


Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнта завантаженості системи для СМО з відмовами

Згідно з цими графічними залежностями, можна вибрати кількість каналів обслуговування для різних коефіцієнтів навантаження каналу  $\rho$  відповідно до технічних умов на проектування системи [19, 21]. Наприклад, якщо потрібно вибрати кількість каналів обслуговування з імовірністю відмови 0,1 при  $\rho = 10$ , то з рисунка 3.3 випливає, що їх повинно бути не менше 13 одиниць.

Якщо кількість каналів вибрано виходячи з коефіцієнта завантаження системи, слід скористатися графіками, наведеними на рисунку 3.4. Наприклад, якщо потрібно вибрати кількість каналів обслуговування при завантаженні системи  $K_z = 0,7$  при  $\rho = 10$ , на рисунку 3.4 видно, що одиниць повинно бути не більше 14.



### 3.2. Багатоканальна система масового обслуговування з обмеженою довжиною черг

Проведемо огляд пуассонівської системи масового обслуговування з  $n$  каналами обслуговування і кількістю місць для очікування  $m$  ( $M/M/n/m$  в позначеннях Кендала). Виразимо через  $\{i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, (n+m-1)$ ,  $(n+m)$  стан системи масового обслуговування, коли в ній перебуває  $i$  запитів на обслуговування. Коли  $i \geq n$ , то  $n$  запитів будуть обслуговуватися в системі, а решта перебуватиме у черзі на очікування. Імовірність стану відображаємо із використанням  $\{i\}$  позначимо через  $p_i$  [1-7, 19, 21]. Граф можливих станів перебування системи та переходів відображено на рисунку 3.5.

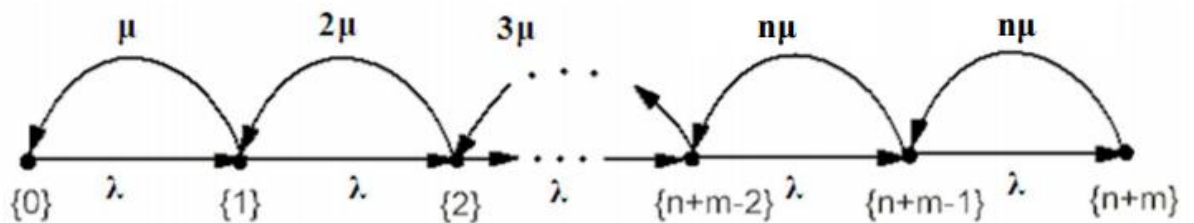


Рис. 3.5 – Граф можливих станів перебування системи та її переходів  
Запишемо систему лінійних рівнянь для ймовірностей  $p_i$ ,  $i=1,2,\dots,n+m$

$$\begin{aligned}
 & -\lambda p_0 + \mu p_1 = 0, \\
 & -(\lambda + i\mu)p_i + \lambda p_{i-1} + (i+1)\mu p_{i+1} = 0, 1 \leq i < n, \\
 & -(\lambda + n\mu)p_i + \lambda p_{i-1} + n\mu p_{i+1} = 0, n \leq i < n+m, \\
 & -n\mu p_{n+m} + \lambda p_{n+m-1} = 0.
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

Для системи лінійний рівнянь (3.9) необхідним є доповнення із врахуванням умови нормування

$$p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_{n+m-1} + p_{n+m} = 1 \tag{3.10}$$

Розділимо рівняння системи на  $n\lambda$  і введемо позначення  $p = \lambda/n\mu$ , яке буде характеризувати завантаженість усієї системи масового обслуговування. Система лінійних рівнянь набуде виду

$$\begin{aligned} -pp_0 + p_1/n &= 0, \\ -(p + i/n)p_i + pp_{i-1} + (i + 1)/n * p_i &= 0, 1 \leq i < n, \\ -(p + 1)p_i + pp_{i-1} + p_1 &= 0, n \leq i < n + m, \\ -p_{n+m} + pp_{n+m-1} &= 0. \end{aligned} \quad (3.11)$$

З першого рівняння системи (3.11) зрозумілою є залежність  $p_1 = npp_0$ . Замінімо цей вираз у другому рівнянні системи (3.11). Якщо продовжити процес підставлення залежності у аналітичні вирази тоді отримаємо:  $p_2 = (n^2/2!)p^2p_0$ .

$$\begin{aligned} p_i(n^i/i!)p^i p_0, 1 \leq i \leq n, \\ p_i(n^n/n!)p^i p_0, 1 \leq i \leq n + m. \end{aligned} \quad (3.12)$$

Якщо підставити  $p_i$  в умови нормування, записані у вигляді формули (3.10), то знайдемо вираз ймовірності простою системи при обслуговуванні

$$p_0 = \left[ 1 + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{n^i p^i}{i!} + \sum_{i=n}^{n+m} \frac{n^n p^i}{n!} \right]^{-1} = \left[ \sum_{i=1}^{n-1} \frac{n^i p^i}{i!} + \frac{n^n p^n (1-p^{m+1})}{n! (1-p)} \right]^{-1} \quad (3.13)$$

Враховуючи вищенаведені аналітичні залежності, встановлено ймовірності усіх станів системи. Визначимо базові показники цієї системи. Ймовірність відмови щодо обслуговування споживачів послуг

$$P_{vidm} = p_{n+m} = (n^n/n!)p^{n+m}p_0. \quad (3.14)$$

Аналітичний вираз (3.14) вказує на те, що запит щодо надання послуги отримає відмову по обслуговуванню, якщо всі лінії та місця у черзі для очікування будуть зайняті. Загальні чисельність запитів, що будуть одержувати відмову по обслуговуванню за період  $T - N_{vidm}$ , можна встановити за формулою:

$$N_{vidm} = \lambda p_{n+m} T = \lambda (n^n / n!) p^{n+m} p_0 T. \quad (3.15)$$

Імовірність того, що заявки, які надійшли в систему, будуть обслуговуватися, визначається за залежністю

$$P_{obsl} = 1 - P_{vidm} = 1 - (n^n / n!) p^{n+m} p_0. \quad (3.16)$$

Крім того, це відносна пропускна здатність системи, яка відповідає середній частці запитів, що надходять і управляються системою. Абсолютна пропускна здатність  $A$  - це середня кількість запитів, які СМО може обробити за одиницю часу, тобто це та частина вхідного потоку запитів, яка входить і обслуговується системою:

$$A = \lambda P_{obsl} = \lambda (1 - (n^n / n!) p^{n+m} p_0). \quad (3.17)$$

Встановимо середнє значення запитів, які знаходяться в черзі та очікують на обслуговування -  $L_q$ . Якщо система масового обслуговування знаходиться у стані  $\{n+1\}$ , то в черзі буде один запит, імовірність появи даного випадку -  $p_{n+1}$ . Якщо система масового обслуговування буде перебувати в стані  $\{n+m\}$ , то у черзі буде знаходитися  $m$  запитів, імовірність цього -  $p_{n+m}$ . Середня кількість запитів у черзі на обслуговування рівна математичному очікуванню кількості запитів у черзі, її можна визначити за аналітичною залежністю

$$L_q = \sum_{i=1}^m i * p_{n+i} = \sum_{i=1}^m i * (n^n / n!) p^{n+1} (1 + 2p + \dots + mp^{m-1}) p_0. \quad (3.18)$$

Якщо  $p=1$ , вираз у дужках стає арифметичною прогресією  $1+2+3+\dots+m$ . Його сума буде рівна  $m(m+1)/2$ . Тоді

$$L_q = 0,5(n^n/n!)m(m+1)p_0. \quad (3.19)$$

Приймаємо умову, що  $p \neq 1$ . Спростимо вираз у дужках (3.18):

$$1 + 2p + 3p^2 + \dots + mp^{m-1} = \frac{d}{dp}(p + p^2 + p^3 + \dots + p^m).$$

Вираз у дужках є скінченною геометричною прогресією зі знаменником  $p$ . Сума її членів може бути визначена за формулою

$$p + p^2 + p^3 + \dots + p^m = \frac{p(1-p^m)}{1-p}. \quad (3.20)$$

Обчислимо похідну від виразу (3.20):

$$\frac{d}{dp} \left( \frac{p(1-p^m)}{1-p} \right) = \frac{1-p^m(1+m-mp)}{(1-p)^2}. \quad (3.21)$$

Підставивши вищеподані залежності у формулу (3.19) отримаємо

$$L_q = \begin{cases} \frac{n^n \cdot 1 - p^m(1+m-mp)}{n! \cdot (1-p)^2} & p^{n+1} p_0, p \neq 1, \\ 0,5(n^n/n!)m(m+1)p_0, & p = 1. \end{cases} \quad (3.22)$$

На рисунку 3.6 представлений графік залежностей середньої кількості запитів, що чекають на обслуговування у системі масового обслуговування  $p$ , з різними значеннями кількості каналів  $n$  і однаковою кількістю місць очікування  $m = 7$ .

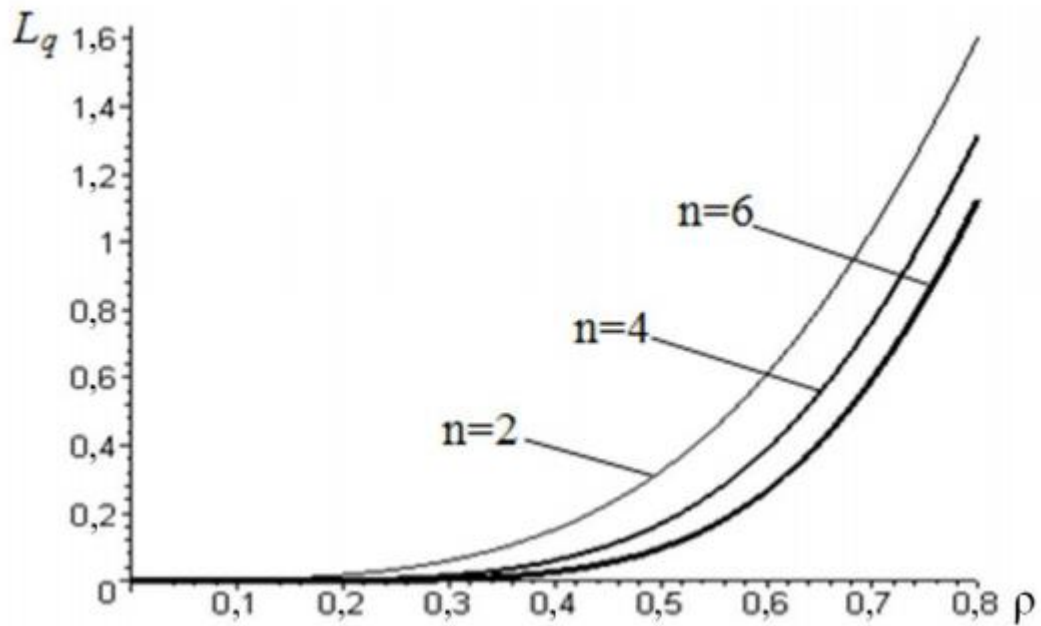


Рис. 3.6 – Залежність середньої кількості запитів у черзі на обслуговування від кількості каналів

Зрозуміло, що за умови, коли  $\rho \geq 0,25$  довжина черги значно збільшується; при збільшенні  $n$  і однаковому значенні  $\rho L_q$  вона також різко збільшується, а потім збільшення сповільнюється.

На рисунку 3.7 представлений графік залежностей середньої кількості запитів, які очікують у черзі на обслуговування від навантаження всієї СМО  $\rho$  при різній кількості місць очікування.

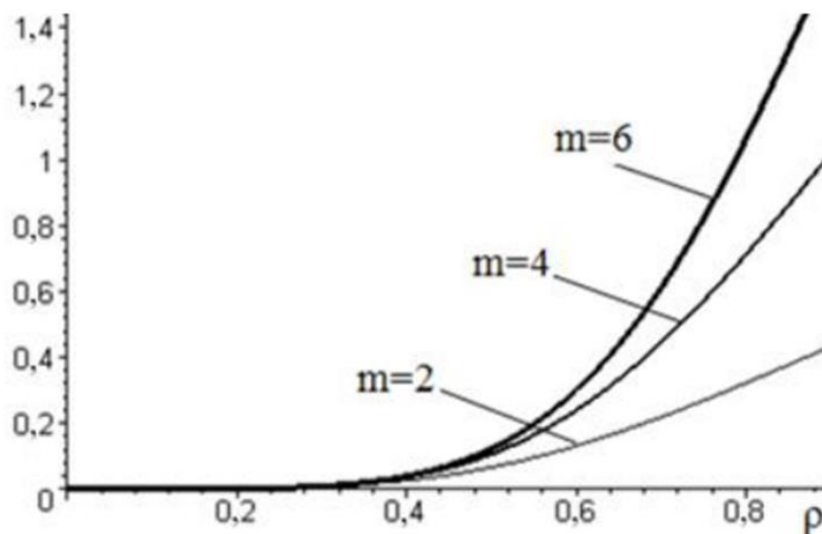


Рис. 3.7 - Графічна залежність середньої кількості запитів, які очікують у черзі на обслуговування від навантаження всієї СМО

Зрозумілим є те, що загальна кількість місць для очікування чинить суттєвий вплив на довжину черги в системі. У міру збільшення  $m$   $L_q$  вона також збільшується, а менша кількість заявок відхиляється.

Встановимо середнє значення зайнятих обслуговуванням каналів –  $n$ , а відповідно, і середню кількість запитів, що обслуговуються. Кожен зайнятий канал обслуговує в середньому  $\mu$  запитів за одиницю часу, а СМО загалом –  $A$  запитів. Поділивши  $A$  на  $\mu$ , знайдемо значення показника  $n$ :

$$\bar{n} = \frac{A}{\mu} = \frac{\lambda(1 - (n^n/n!)p^{n+m}p_0)}{\mu} = np(1 - (n^n/n!)p^{n+m}p_0). \quad (3.23)$$

Важливим параметром функціонування СМО є показник завантаженості  $z_c$ , який обчислимо за формулою

$$z_c = \bar{n}/n = p(1 - (n^n/n!)p^{n+m}p_0). \quad (3.24)$$

Середнє значення кількості щодо їх обслуговування та перебування у черзі визначимо за аналітичною залежністю

$$L_s \bar{n}_z + L_q np(1 - (n^n/n!)p^{n+m}p_0) + \frac{n^{n+1} - p^m(1+m-mp)}{n!(1-p)^2} p^{n+1} p_0, p \neq 1. \quad (3.25)$$

Показник середнього часу очікування запиту у черзі визначається за аналітичним виразом

$$T_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{L_q}{n\mu p}. \quad (3.26)$$

Підставивши вищенаведені залежності у формулу (3.26) отримаємо значення

$$\mathcal{T}_q = \begin{cases} \frac{n^n * 1 - p^m(1+m-mp)}{n! * (1-p)^2} p^{n+1} p_0, p \neq 1 \\ 0,5(n^n / \lambda n!) m(m+1) p_0, p = 1. \end{cases} \quad (3.27)$$

$$\mathcal{T}_q = \begin{cases} \frac{n^{n-1}}{\mu n!} * \frac{1-p^m(1+m-mp)}{(1-p)^2} p^n p_0, p \neq 1 \\ 0,5(n^n / \lambda n!) m(m+1) p_0, p = 1. \end{cases} \quad (3.28)$$

Показник середнього часу перебування запитів у СМО  $\mathcal{T}_q$  для  $p \neq 1$  визначимо за аналітичним виразом

$$\mathcal{T}_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{L_s}{n\mu p}. \quad (3.29)$$

Підстановка (3.25) в (3.29) дає нам вираз:

$$\mathcal{T}_s = (1 - (n^n / n!) p^{n+m} p_0) / \mu + \frac{n^n * 1 - p^m(1+m-mp)}{n! * \lambda (1-p)^2} p^{n+1} p_0 \quad (3.30)$$

$$\mathcal{T}_s = (1 - (n^n / n!) p^{n+m} p_0) / \mu + \frac{n^{n-1} * 1 - p^m(1+m-mp)}{n! * \mu (1-p)^2} p^n p_0 \quad (3.31)$$

При умові, коли система масового обслуговування описує роботу певної економічної системи, у якій обслуговуються запити, то для проведення оптимізації її функціонування можна використати критерій вартості збитків у системі за час  $T - G$  із використанням формули

$$E = (C_{prost}(1 - z_c)n + C_q L_q + \lambda C_{zb} P_{vidm} + C_e z_c n) T, \quad (3.32)$$

де  $C_{prost}$  – вартість одиниці простоювання каналу;

$C_q$  – вартість збитків від простоювання запиту в черзі за одиницю часу;

$C_{zb}$  – вартість збитків від виходу з системи запиту, який не був обслужений;

$C_e$  – вартість експлуатації кожного каналу системи за одиницю часу.

В якості критерію оптимізації можна застосовувати прибуток від роботи СМО використовуючи формулу

$$G = \lambda C_s P_{oblst} T - (C_{prost}(1 - z_c)n + C_q L_q + \lambda C_{zb} P_{vidm} + C_e z_c n) T, \quad (3.33)$$

де  $C_e$  – вартісна оцінка щодо обслуговування кожного запиту.

Оптимізація може виконуватися як за кількістю каналів обслуговування  $n$ , так і за інтенсивністю обслуговування  $\mu$ , якщо цей параметр можна змінити. Також можна розподілити витрати на обслуговування кожного запиту  $C_s$  на користь  $G$ . Оптимізацію рекомендується виконувати чисельними методами [19, 21].

### **3.3. Обґрунтування робочих параметрів зупинок громадського транспорту**

Сьогодні в місті Рівне функціонує 36 пасажирських автобусних маршрутів, на яких обслуговують пасажирів в режимі маршрутного таксі. На маршрутах в основному використовуються автобуси категорії МЗ І класу з малою пасажиромісткістю - "Мерседес", "БАЗ", "Богдан". Щодня вони виконують до 5000 оборотних рейсів. Середня протяжність маршруту по мережі становить 11 км.

Розмір зупиночної платформи впливає на ефективність функціонування зупиночного пункту. Даний показник також сильно впливає на комфорт пасажирів. З точки зору скупчення пасажирів, що очікують громадський транспорт важливим моментом є ширина зупиночного пункту. Для кожної окремої зупинки її довжина не має великого впливу на місткість, так як



пасажири, які чекають на посадку, накопичуються в районі дверей автобуса, а ті пасажири, що виходять із транспортного засобу швидко розосереджуються на пункті зупинки. Але довжина зупиночного пункту може мати важливе значення, якщо зупинки для кожного напрямку руху знаходяться поруч. Якщо ширина платформи обмежена шириною проїжджої частини, ефективним рішенням може стати розташування зупинок в асиметричному шаховому порядку. Таке розташування збільшує загальну довжину зупиночного пункту, але зменшує її ширину у два рази (особливо якщо одночасно зупиняються два автобуси). Мінімальна довжина зони очікування пасажирів ( $L_p$ ) повинна бути більша або рівна довжині пасажирського транспорту.

На рисунку 3.8. зображені геометричні параметри зупиночного пункту для міського пасажирського транспорту, радіус розвороту автобуса без очікування виходу іншого автобуса і геометричні параметри посадкової платформи, яка забезпечує місце очікування транспортного засобу для пасажирів і проїзд для інших учасників дорожнього руху.

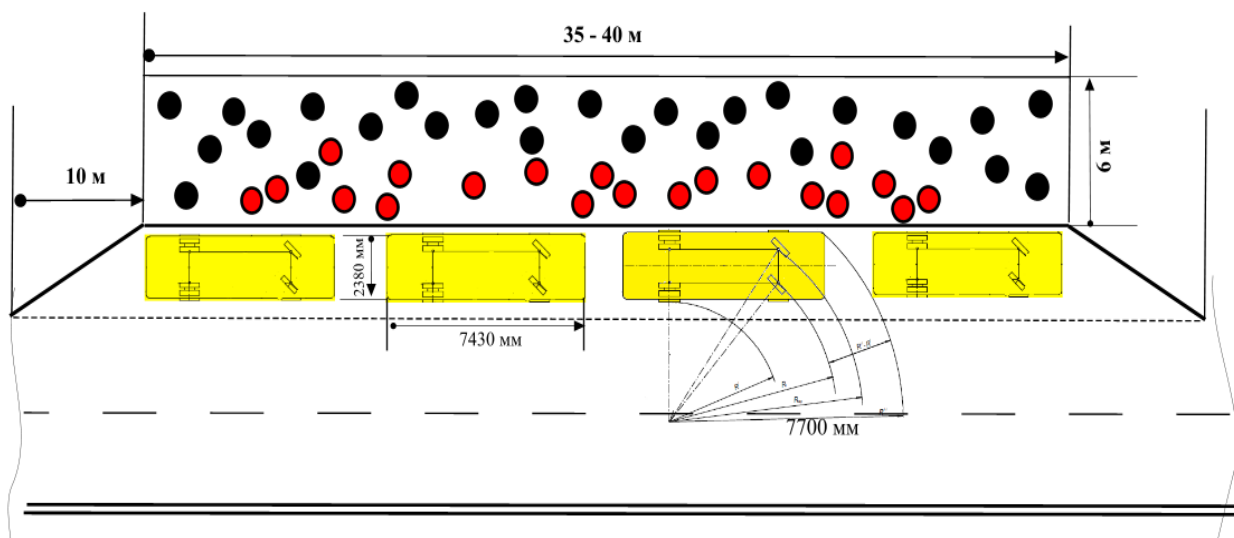


Рис. 3.8. - Параметри зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту

Розрахуємо ймовірність відмови в обслуговуванні пасажирів з відповідними параметрами і побудуємо графічну залежність (рис. 3.9.) Кількість каналів для обслуговування від 4 до 7, довжина черги пасажирів, що очікують на перевезення від 2 до 5.

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k_0}^n \frac{n^k}{k!} + \frac{n^n}{k!} m}. \quad (3.34)$$

$$P_0(n=4, m=2) = \frac{1}{\left(\frac{4^0}{0!} + \frac{4^1}{1!} + \frac{4^2}{2!} + \frac{4^3}{3!} + \frac{4^4}{4!}\right) + \frac{4^4}{4!} \cdot 2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{1} + \frac{4}{1} + \frac{16}{2} + \frac{64}{6} + \frac{256}{24}\right) + \frac{256}{24}} = 0,0179.$$

$$P_0(n=4, m=3) = \frac{1}{\left(\frac{4^0}{0!} + \frac{4^1}{1!} + \frac{4^2}{2!} + \frac{4^3}{3!} + \frac{4^4}{4!}\right) + \frac{4^4}{4!} \cdot 3} = \frac{1}{34,332 + 31,998} = 0,0150.$$

$$P_0(n=4, m=4) = \frac{1}{\left(\frac{4^0}{0!} + \frac{4^1}{1!} + \frac{4^2}{2!} + \frac{4^3}{3!} + \frac{4^4}{4!}\right) + \frac{4^4}{4!} \cdot 4} = \frac{1}{34,332 + 42,664} = 0,0129.$$

$$P_0(n=4, m=5) = \frac{1}{\left(\frac{4^0}{0!} + \frac{4^1}{1!} + \frac{4^2}{2!} + \frac{4^3}{3!} + \frac{4^4}{4!}\right) + \frac{4^4}{4!} \cdot 5} = \frac{1}{34,332 + 53,33} = 0,0114.$$

$$P_0(n=5, m=2) = \frac{1}{\left(\frac{5^0}{0!} + \frac{5^1}{1!} + \frac{5^2}{2!} + \frac{5^3}{3!} + \frac{5^4}{4!} + \frac{5^5}{5!}\right) + \frac{5^5}{5!} \cdot 2} = \frac{1}{91,415 + 52,082} = 0,0069.$$

$$P_0(n=5, m=3) = \frac{1}{\left(\frac{5^0}{0!} + \frac{5^1}{1!} + \frac{5^2}{2!} + \frac{5^3}{3!} + \frac{5^4}{4!} + \frac{5^5}{5!}\right) + \frac{5^5}{5!} \cdot 3} = \frac{1}{91,415 + 78,12} = 0,0058.$$

$$P_0(n=5, m=4) = \frac{1}{\left(\frac{5^0}{0!} + \frac{5^1}{1!} + \frac{5^2}{2!} + \frac{5^3}{3!} + \frac{5^4}{4!} + \frac{5^5}{5!}\right) + \frac{5^5}{5!} \cdot 4} = \frac{1}{91,415 + 104,164} = 0,0051.$$

$$P_0(n=5, m=5) = \frac{1}{\left(\frac{5^0}{0!} + \frac{5^1}{1!} + \frac{5^2}{2!} + \frac{5^3}{3!} + \frac{5^4}{4!} + \frac{5^5}{5!}\right) + \frac{5^5}{5!} \cdot 5} = \frac{1}{91,415 + 130,205} = 0,0045.$$

$$P_0(n=6, m=2) = \frac{1}{\left(\frac{6^0}{0!} + \frac{6^1}{1!} + \frac{6^2}{2!} + \frac{6^3}{3!} + \frac{6^4}{4!} + \frac{6^5}{5!} + \frac{6^6}{6!}\right) + \frac{6^6}{6!} \cdot 2} = \frac{1}{244,6 + 129,6} = 0,0026.$$

$$P_0(n=6, m=3) = \frac{1}{\left(\frac{6^0}{0!} + \frac{6^1}{1!} + \frac{6^2}{2!} + \frac{6^3}{3!} + \frac{6^4}{4!} + \frac{6^5}{5!} + \frac{6^6}{6!}\right) + \frac{6^6}{6!} \cdot 3} = \frac{1}{244,6 + 194,4} = 0,0022.$$

$$P_0=(n=6, m=4)=\frac{1}{\left(\frac{6^0}{0!}+\frac{6^1}{1!}+\frac{6^2}{2!}+\frac{6^3}{3!}+\frac{6^4}{4!}+\frac{6^5}{5!}+\frac{6^6}{6!}\right)+\frac{6^6}{6!}\cdot 4}=\frac{1}{244,6+259,2}=0,0019.$$

$$P_0=(n=6, m=5)=\frac{1}{\left(\frac{6^0}{0!}+\frac{6^1}{1!}+\frac{6^2}{2!}+\frac{6^3}{3!}+\frac{6^4}{4!}+\frac{6^5}{5!}+\frac{6^6}{6!}\right)+\frac{6^6}{6!}\cdot 5}=\frac{1}{244,6+324}=0,0017.$$

$$P_0=(n=7, m=2)=\frac{1}{\left(\frac{7^0}{0!}+\frac{7^1}{1!}+\frac{7^2}{2!}+\frac{7^3}{3!}+\frac{7^4}{4!}+\frac{7^5}{5!}+\frac{7^6}{6!}+\frac{7^7}{7!}\right)+\frac{7^7}{7!}\cdot 2}=\frac{1}{656,55+326,8}=0,0010.$$

$$P_0=(n=7, m=3)=\frac{1}{\left(\frac{7^0}{0!}+\frac{7^1}{1!}+\frac{7^2}{2!}+\frac{7^3}{3!}+\frac{7^4}{4!}+\frac{7^5}{5!}+\frac{7^6}{6!}+\frac{7^7}{7!}\right)+\frac{7^7}{7!}\cdot 3}=\frac{1}{656,55+490,2}=0,0008.$$

$$P_0=(n=7, m=4)=\frac{1}{\left(\frac{7^0}{0!}+\frac{7^1}{1!}+\frac{7^2}{2!}+\frac{7^3}{3!}+\frac{7^4}{4!}+\frac{7^5}{5!}+\frac{7^6}{6!}+\frac{7^7}{7!}\right)+\frac{7^7}{7!}\cdot 4}=\frac{1}{656,55+653,60}=0,0007.$$

$$P_0=(n=7, m=5)=\frac{1}{\left(\frac{7^0}{0!}+\frac{7^1}{1!}+\frac{7^2}{2!}+\frac{7^3}{3!}+\frac{7^4}{4!}+\frac{7^5}{5!}+\frac{7^6}{6!}+\frac{7^7}{7!}\right)+\frac{7^7}{7!}\cdot 5}=\frac{1}{656,55+817}=0,0006.$$

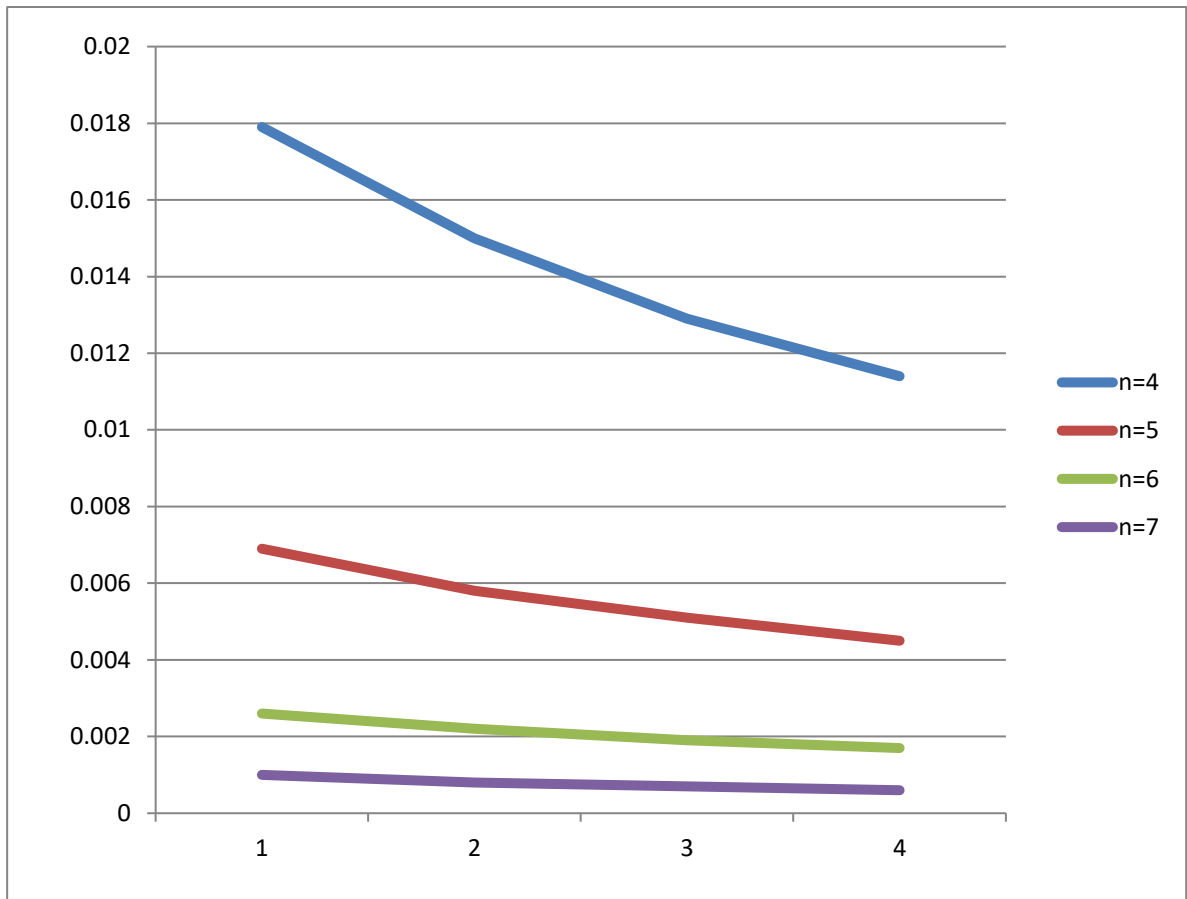


Рис. 3.9. Графічна залежність для визначення ймовірності відмови в перевезенні

При збільшенні кількості каналів обслуговування (див. рис. 3.9.) з 4 до 7 ймовірність відмови знижується у 9 разів, при обмеженій черзі в 1 одиницю. Таке ж збільшення кількості каналів обслуговування при збільшенні кількості місць в черзі до 4 знижує ймовірність відмови у 2 рази. Це говорить про те, що кількість місць в черзі не є значущим фактором організації зупинок, а визначається кількістю каналів обслуговування.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1. Заходи по підвищенню безпеки руху. Основні методи організації дорожнього руху

Комплекс інженерно-технічних і організаційних заходів направлений на максимальне використання транспортними потоками можливостей обумовлених геометричними параметрами дороги і її станом [8, 17, 20]. Основними методами організації руху є – розділ потоків на однорідні групи транспортних засобів і раціональному розподілу їх по видам, місці і часу, щоб зменшити ймовірність конфліктів між окремими типами транспортних засобів, а також між транспортними засобами, що рухаються з різними швидкостями і в різних напрямках.

Основні технічні засоби руху:

- розмітка;
- направляючі улаштування;
- дорожні знаки і показники;
- світлофори;
- покращання дорожніх умов в процесі ремонту
- покращання планування пересічень;
- улаштування додаткових рядів на підйомах;
- направляючих островків.

При розділенні транспортних потоків по походженню і призначенню враховують слідує види:

- транзитні по відношенню до даного району або населеного пункту (безперервний транзит);
- потоки із інших транспортних районів або населених пунктів (входовий перерваний транзит);

- виникаючий в даному районі або населеному пункті і призначений для іншого району або міста (виходячий перерваний транзит);
- виникаючі і закінчуючи в даному районі або місті (внутрішній районний або міський рух).

Для організації безперервного транзиту вигідно використовувати об'їзні дороги. Якщо вони відсутні то для транзитного руху виділяють малозагружені ділянки доріг і вулиць, які підходять для цього, розробляють схеми безперервного і перервного транзиту з розділенням транспортних потоків по призначенню шляхом встановлення знаків і розмітки доріг і вулиць .

Розділення потоків по видам є ефективно для зменшення ДТП і транспортних затримок. Потоки розділяють знаками, які забороняють рух велосипедистів ,тракторів, тяжких гужових автомобілів, сільськогосподарської та іншої техніки по дорогах загального користування , і світлофорів на пересіченнях в одному рівні, влаштування підземних і наземних переходів, пересічень типу „зебра”, тротуарів, і т.п.

Для розділення потоків по рівням будують пересічення з дорогами і залізницею в різних рівнях. Розділення потоків по напрямленням дозволяє упорядкувати транспортні потоки і виділити для кожного напрямлення окремі ряди. Розділення транспортних потоків по швидкостям має велике значення для підвищення зручностей руху і безпеки руху і зменшує кількість обгонів.

З цією метою при експлуатації доріг влаштовують додаткові ряди для повільно рухаючи автомобілів на підйомах, розширюють проїзну частину і виділяють ряди розгону і гальмування на пересіченнях , автобусних зупинках . Розділення рухаючи транспортних засобів від зупинених автомобілів проводиться шляхом улаштування укріпленого узбіччя . Всі засоби організації дорожнього руху повинні бути зрозумілими для водіїв і чітко сприйматися вночі ,вдень і при складних погодних умовах.

До складних ділянок по організації руху відносяться пересічення і примикання доріг, населені пункти ,дороги в гірський місцевості. Головна задача на таких ділянках – розділити потоки по напрямленням, швидкостям,

видам транспортних засобів з допомогою розмітки індивідуальних знаків, направляючих островків і островків безпеки, додаткових рядів руху.

Умови на дорогах суттєво міняються по періодам року [15]. Тому розробляються спеціальні схеми руху по періодам року, які включають в себе схему розмітки дороги і розстановки знаків, об'їздів засніжених ділянок. На туманних ділянках застосовуються міри по покращанню орієнтації водіїв. Це - направляючі стовпчики, планки із світло відбивачами, дорожні знаки і вказівними, спеціальні сигнальні улаштування, світлові табло із змінною інформацією, які попереджують про тумани, ожеледицю, осадки, стаціонарне освітлення, освітлення покриття, будівництво крайніх рядів із кольорових матеріалів, шорсткі поверхневі обробки.

На вітронебезпечних ділянках доріг високих категорій будують вітрозахисті споруди: посадки, огороження, сітки, галереї, які є сигналами попередження. На ділянках 1-3 категорій де найбільше число випадків ожеледиці встановлюють автоматичні світлові табло.

Великі труднощі виникають при організації руху в зимовий період, коли неможливо швидко видалити накат і слизькість на дорогах. Тоді виставляють попереджуючі і забороняючі знаки на дорогах перед початком небезпечних ділянок і дублюють їх декілька разів на всій ділянці, організовують колонний рух автомобілів з встановленою швидкістю і дистанцією між ними. На крутих підйомах і спусках пропускають одиночні транспортні засоби, при цьому концентрують інші автомобілі на безпечній відстані від вершини підйому і на кінці спуску, організовується патрульний рух тягачів на небезпечних ділянках.

Часто виникає необхідність організації руху коли на покритті є неприбраний сніг, який при ущільненні утворює сніговий накат. Якщо стійкість ущільненого снігу збільшується, то коефіцієнт зціплення зменшується. А при збільшенні температури стійкість снігу зменшується і при температурі 0 градусів. Снігове покриття непридатне для руху і його потрібно прибрати.

## **4.2. Організація праці водіїв пасажирського транспорту та основні положення охорони праці**

До роботи на пасажирських транспортних засобах та їх обслуговування допускаються особи, що мають посвідчення водія категорії "Д" та пройшли медичний огляд, вступний інструктаж щодо основних положень з охорони праці.

Згідно встановлених інструкцій з охорони праці для водія пасажирського транспортного засобу до основних вимог щодо роботи на маршруті відносяться наступні [22]:

- дотримання та виконання правил внутрішнього режиму праці та відпочинку;
- невиконання наказів та вказівок, які суперечать правилам з охорони праці та правилам безпеки дорожнього руху;
- надання першої домедичної допомоги особам, які потерпіли при нещасних випадках чи ДТП;
- вміння використовувати первинні засоби пожежогасіння;
- користування спецодягом та іншими ЗІЗ;
- заборонено працювати при технічному обслуговуванні транспортних засобів несправним.

Водію пасажирського транспорту заборонено:

- керувати ТЗ у стані сп'яніння (алкогольного чи наркотичного);
- знаходитися на лінії маршруту у нездоровому стані;
- при працюючому двигуні внутрішнього згоряння відпочивати у транспортному засобі на стоянці;
- передавати органи управління транспортним засобом стороннім особам;
- допускати знаходження пасажирів у транспортному засобі у кількості що перевищує встановлені норми для даного типу транспортного засобу.

До робочого часу водія пасажирського транспорту відноситься:

- час управління транспортним засобом;



- час простою для короткочасного відпочинку на маршруті руху та на кінцевих пунктах;
- час на виконання підготовчо-заключних робіт перед виїздом на лінію і після повернення з лінії в організацію (0,4 год.);
- час, що затрачається на проходження медичного контролю водієм перед виїздом та після повернення з маршруту у АТП;
- час простою на пунктах посадки та висадки пасажирів;
- час простою на лінії, що не пов'язана з провиною водія маршрутного транспортного засобу;
- час проведення робіт з ремонту пасажирського транспорту.

На рисунку 4.1 зображені основні види режимів роботи водіїв пасажирських транспортних засобів.

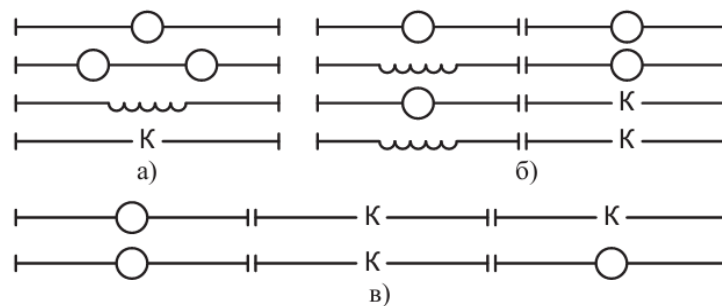


Рис. 4.1 - Основні види режимів роботи водіїв автобусів

— - початок роботи; — - кінець роботи; —|— - перезмінка водіїв; ⊙ - обідня перерва водія; ~ - внутрішні перерва (розрив); —к— - короткочасна перерва на відпочинок водія без обідньої перерви.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Одним із найважливіших завдань у сфері міських пасажирських перевезень є раціональне розміщення зупиночних пунктів громадського транспорту, які на сучасному етапі автомобілізації населення не в повній мірі відповідають потребам щодо інтенсивності руху пішохідних та транспортних потоків.

2. Дослідження та моделювання руху громадського пасажирського транспорту в межах розміщення зупиночних пунктів є актуальним завданням, яке необхідно вирішувати із використанням сучасних методів та засобів транспортних технологій. Можливість використання імітаційного моделювання процесу обслуговування пасажирів в системі міського пасажирського транспорту досить широко розкрита у наукових працях вітчизняних та зарубіжних дослідників.

3. Крім загальних стандартів розташування зупиночних пунктів для громадського транспорту загального користування, існують також окремі інструкції для автобусних і тролейбусних зупинок, що вносить додатковий фактор невизначеності при прийнятті управлінського рішення щодо місць їхнього розташування.

4. Для дослідження були обрані зупинки громадського транспорту, які розташовані в транспортних районах із найбільшим пасажирообміном. Дослідження відбувалися шляхом підрахунку пасажирообміну за часовими проміжками (кожні 15 хвилин). На основі отриманих даних побудовано графічні залежності пасажиропотоку на досліджуваних зупиночних пунктах від часових показників.

5. Проведено моделювання функціонування зупиночних пунктів громадського транспорту з позиції теорії масового обслуговування.

6. При збільшенні кількості каналів обслуговування з 4 до 7 ймовірність відмови знижується у 9 разів, при обмеженій черзі в 1 одиницю.

Таке ж збільшення кількості каналів обслуговування при збільшенні кількості місць в черзі до 4 знижує ймовірність відмови у 2 рази. Це говорить про те, що кількість місць в черзі не є значущим фактором організації зупинок, а визначається кількістю каналів обслуговування.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вакуленко К. Є., Доля К. В. Управління міським пасажирським транспортом: навч. посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 257 с.
2. Вдовиченко В.О. Методологічні основи формування системної ефективності громадського пасажирського транспорту в умовах сталого розвитку: монографія. Харків: ХНАДУ, 2017. 212 с.
3. Вдовиченко В.О. Розподіл маршрутів між зупиночними пунктами транспортно-пересадочного терміналу міського громадського пасажирського транспорту. Комунальне господарство міст. 2017. №139. С. 33-38.
4. Гілевська К.Ю. Удосконалення організації перевезень пасажирів міським громадським транспортом за критеріями якості: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Київ, 2017. 193 с.
5. Давідіч Ю. О., Чумаченко І. В. Моніторинг впливу параметрів системи міського пасажирського транспорту на якість обслуговування населення. Комунальне господарство міст. 2016. №128. С. 89-93.
6. Денисенко О. В., Вдовиченко В. А., Калиниченко А. П. Некоторые аспекты решения сетевой задачи организации дорожного движения в городах. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2005. №30. С. 88-90.
7. Єрмак О. М. Розташування зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / О. М. Єрмак; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х., 2010. – 14 с.
8. Закон України про дорожній рух [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF/page>
9. Калюжний М. В. Визначення довжини перегону маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / М. В. Калюжний; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х., 2011. – 21 с.
10. Колій О.С. Раціональне розташування зупиночних пунктів автобусних та тролейбусних маршрутів відносно регульованих перехресть: дис.

на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» (275 - Транспортні технології (на автомобільному транспорті))/ Колій О.С.; Харк. нац. автомобільно-дорожній універ. - Х., 2017. – 247с

11. Лобашов О. О. Моделювання впливу мережі паркування на транспортні потоки в містах: монографія. Х.: ХНАМГ, 2010. 170 с.

12. Луб'яний П. В. Ефективність пасажирської маршрутної мережі міст: дис. канд. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2005. 175 с.

13. Любий Є. В. Критерій оцінки ефективності функціонування маршрутних мереж малих міст. Автомобильный транспорт. 2009. №24. С. 109-112.

14. Маруніч В.С., Вакарчук І.М. Логістичне управління проектами розробки міських пасажирських маршрутних систем. LXVII науково-практична конференція науково-педаг. працівн., аспір., структ. підр. НТУ.: тези допов. Київ, 2011. С. 211-212.

15. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень : ДБН 360–92. – [Чинний від 2009–04–10]. – К.: Державний комітет україни у справах містобудування і архітектури, 2009. – 142 с.

16. О.Л. Ляшук, У.М. Плекан, О.П. Цьонь, Т.Б. Пиндус. Планування діяльності автотранспортного підприємства. Методичні аспекти / Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 5(36), ч.І, с. 256-262, 2022.

17. О.Л. Ляшук, О.П. Цьонь, В.О. Дзюра, М.В. Бабій, М.Є. Кристопчук, С.В. Лисенко, Ю.Д. Бодоряк. Дослідження безпеки дорожнього руху на автошляхах / Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 5(36), ч.І, с. 311-317, 2022.

18. Свічинський С. В. Формування функцій розселення міського населення для визначення потреб у перевезеннях громадським транспортом: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.01 / С. В. Свічинський ; Харк. нац. автомоб. – дор. ун – т. – Х., 2015. – 20 с.

19. Системологія на транспорті. Основи теорії систем і управління / за

заг. ред. М. Ф. Дмитриченко. К.: Знання України, 2005. 344 с.

20. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів : ДБН В.2.3–5–2001. – [Чинний від 2001–08–01]. – К.: Управлінням інженерного захисту територій та промислової забудови Держбуду України, 2001. – 49 с.

21. Теорія систем масового обслуговування : навч. посібник /А. Л. Литвинов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. –Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.

22. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з охорони праці Наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці 26.01.2005 №15 – Режим доступу: [www.licinfo.com.ua](http://www.licinfo.com.ua).

23. Турченко М.О. Планування діяльності автотранспортного підприємства / Турченко М.О., Швець М.Д., Кристопчук М.Є.– Рівне: НУВГП, 2013 – 299 с.

24. Фоменко Г. Р. Транспортна інфраструктура і проблеми міст. Проблеми розвитку міського середовища. 2016. №2. С. 177-185.

25. Щурова В.А. Архітектурно-планувальна організація міської забудови у зоні впливу транспортно-пересадочних вузлів: автореф. дис. ... канд. арх. наук: 18.00.04. Київ, 2005. 20 с.

26. Яновський П.О. Пасажирські перевезення: Навчальний посібник. – Київ.: НАУ, 2008.- 469 с.