

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Обґрунтування розміщення зупиночних пунктів на маршрутах
комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія»»

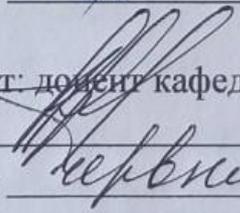
Виконав: студент 2-го курсу, групи ІТТ-23мз
спеціальності 275 – Транспортні технології

 Старжиський В.Ю.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ

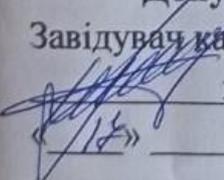
 Митко М.В.
« 11 » 06 2025 р.

Опонент: доцент кафедри ГМ

 Поліщук О.В.
« 10 » червня 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

 к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« 18 » 06 2025 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Спеціальність 275 – Транспортні технології (за видами)
Спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
Освітньо-професійна програма – Транспортні технології на автомобільному транспорті

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувача кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.
«21» 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Старжинському Валерію Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування розміщення зупиночних пунктів на маршрутах комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» керівник роботи Митко Микола Васильович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «20» березня 2025 року № 96.

2. Строк подання студентом роботи: 09.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Запропонувати удосконалення розміщення транспортно-пересадочних вузлів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» з метою підвищення ефективності міської транспортної мережі. Проаналізувати структуру маршрутів, типи рухомого складу та особливості роботи підприємства. Дослідити три перехрестя у місті Вінниця як потенційні локації для оптимізації пересадочних процесів. Запропонувати цільову функцію, що враховує середній час пересадки, відстань між зупинками та зручність пішохідного переміщення. На основі досліджень виконати порівняння існуючої та удосконаленої схем розташування зупинок. За результатами розрахунків сформувати рекомендації щодо оптимального розміщення зупинок для зменшення часу пересадки та підвищення зручності для пасажирів.

4. Зміст текстової частини:

1 Аналіз роботи КП «Вінницька транспортна компанія».

2 Теоретичні дослідження методики організації транспортно-пересадкових вузлів.

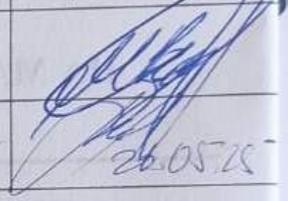
3 Практичні дослідження методики організації транспортно-пересадкових вузлів.

4 Результати досліджень розміщення зупинок транспорту на транспортно-пересадкових вузлах.

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

- 1-2 Тема, мета та завдання дослідження.
 3-4 Загальний вигляд трамвайних вагонів, що експлуатуються на КП "ВТК".
 5-6 Загальний вигляд тролейбусів, що експлуатуються на КП "ВТК".
 7 Загальний вигляд автобуса, що експлуатуються на КП "ВТК".
 8 Схема руху громадського транспорту м. Вінниця.
 9 Діаграма ілюстрації компонентів транспортно-транзитного вузла.
 10 Основні проблеми функціонування сучасних ТПВ.
 11-13 Загальна актуальна схема розташування зупинок на перехресті.
 14-16 Загальна схема розташування (супутниковий знімок) та нумерація зупинок перехресті.
 17-19 Схема-пропозиція (супутниковий знімок) розташування зупинок на перехресті.
 20 Діаграма порівняння середнього часу пересадки на перехрестях.
 21-22 Висновки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

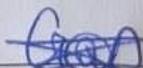
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Митко М.В., к.т.н., доцент кафедри АТМ		
Визначення ефективності запропонованих рішень	Макарова Т.В., доцент кафедри АТМ	25.05.25	26.05.25

7. Дата видачі завдання « 21 » березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	17.02-02.03.2025	Викон
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	03.03-16.03.2025	Викон
3	Обґрунтування методів досліджень	17.03-31.03.2025	Викон
4	Розв'язання поставлених задач	01.04-26.05.2025	Викон
5	Виконання розділу «Практичні дослідження методики організації транспортно-пересадкових вузлів»	05.05-26.05.2025	Викон
6	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	27.05-04.06.2025	Викон
7	Перевірка роботи на плагіат	05.06-06.06.2025	Викон
8	Попередній захист МКР	09.06-11.06.2025	Викон
9	Допуск завідувача кафедри до захисту МКР	12.06-17.06.2025	Викон
10	Рецензування МКР	18.06-20.06.2025	Викон
11	Захист МКР	23.06-24.06.2025	Викон

Студент


(підпис)

Старжинський В.Ю.

Керівник роботи


(підпис)

Митко М.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 656.1.07

Старжинський В.Ю. Обґрунтування розміщення зупиночних пунктів на маршрутах комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 275 – транспортні технології, освітня програма - транспортні технології на автомобільному транспорті. Вінниця: ВНТУ, 2025. 82 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 36 назв; рис.: 18; табл. 22.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення структури транспортно-пересадочних вузлів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» з метою покращення організації пасажирських перевезень у місті Вінниця. У розділі 1 проаналізовано діяльність підприємства, маршрутну мережу та характеристики рухомого складу. У розділі 2 проведено теоретичне обґрунтування вибору місць розміщення пересадочних вузлів із урахуванням зручності пасажирських пересадок та логістичних особливостей. У розділі 3 розроблено методику експериментально-розрахункового визначення ефективності запропонованих змін на основі середнього часу виконання пересадок. У розділі 4 виконано порівняльний аналіз існуючих і удосконалених схем розміщення зупинок на трьох ключових перехрестях міста та сформульовано рекомендації для підвищення зручності й ефективності пересадочних процесів.

Графічна частина складається з 13 плакатів із результатами моделювання.

Ключові слова: зупинка громадського транспорту, оптимізація, пересадка, перехрестя, транспортно-пересадковий вузол, транспорт.



ABSTRACT

Starzhynskiy V.Yu. Justification of the placement of stopping points on the routes of the municipal enterprise "Vinnytsia Transport Company". Master's qualification work in the specialty 275 - transport technologies, educational program - transport technologies in road transport. Vinnytsia: VNTU, 2025. 82 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 36 titles; fig.: 18; tabl. 22.

The master's qualification thesis addresses the improvement of the structure of transport interchange hubs of the municipal enterprise "Vinnytsia Transport Company" in order to enhance the organization of passenger transportation in the city of Vinnytsia. Chapter 1 analyzes the company's operations, the route network, and the characteristics of the rolling stock. Chapter 2 provides a theoretical justification for the selection of locations for interchange hubs, taking into account passenger transfer convenience and logistical features. Chapter 3 develops a methodology for the experimental and calculated assessment of the effectiveness of the proposed changes based on the average transfer time. Chapter 4 proposes conducts a comparative analysis of the current and improved stop placement schemes at three key intersections in the city, and formulates recommendations to improve the convenience and efficiency of transfer processes.

The graphic part consists of 13 posters with simulation results.

Keywords: Public transport stop, optimization, transfer, intersection, transport hub, transport.



ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ РОБОТИ КП «ВІННИЦЬКА ТРАНСПОРТНА КОМПАНІЯ».....	9
1.1 Загальні відомості про підприємство	9
1.2 Аналіз рухомого складу підприємства	10
1.3 Особливості експлуатації рухомого складу	21
1.4 Маршрутна мережа підприємства	25
1.5 Критерії і методи визначення ефективності розміщення зупинок на маршрутах КП “ВТК”	33
Висновки до розділу 1	35
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДКОВИХ ВУЗЛІВ	38
2.1 Загальна характеристика транспортно-пересадкових вузлів	38
2.2 Типи ТПВ та їх функціональне призначення	40
2.3 Критерії вибору місця розташування ТПВ.....	43
2.4 Проблеми та недоліки функціонування сучасних ТПВ.....	45
2.5 Цільова функція оптимального розміщення зупинок громадського транспорту на ТПВ	46
2.6 Математична модель для оптимального розміщення автобусних зупинок	49
Висновки до розділу 2	51
3 ПРАКТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДКОВИХ ВУЗЛІВ.....	53
3.1 Загальна характеристика транспортно-пересадкових вузлів	53
3.2 Статистичні дослідження транспортно-пересадкових вузлів	57
3.3 Дослідження середнього часу пересадки на обраних транспортно-пересадкових вузлах	65
Висновки до розділу 3	66
4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗМІЩЕННЯ ЗУПИНОК ТРАНСПОРТУ НА ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДКОВИХ ВУЗЛАХ	68

4.1 Аналіз даних про пересадки на досліджуваних перехрестях	68
4.2 Недоліки та варіанти покращення розміщення зупинок на перехрестях	69
4.3 Аналіз варіантів покращення розміщення зупинок на перехрестях	73
Висновки до розділу 4	77
ВИСНОВКИ.....	79
ДОДАТОК А.....	86
ДОДАТОК Б	100



ВСТУП

Актуальність теми. Однією з ключових проблем розвитку міського пасажирського транспорту в сучасних українських містах є недостатня ефективність організації транспортно-пересадочних вузлів, що призводить до зниження зручності пересадки пасажирів, збільшення тривалості поїздок та загального навантаження на транспортну мережу. Особливо гостро це питання постає у містах із розвиненою маршрутною інфраструктурою та високим пасажиропотоком, таких як Вінниця. Комунальне підприємство «Вінницька транспортна компанія» обслуговує значну частину міських перевезень, і ефективність його роботи безпосередньо залежить від якості організації пересадочних процесів. Удосконалення розміщення транспортно-пересадочних вузлів дозволяє скоротити середній час пересадки, підвищити зручність руху для пасажирів і сприяти оптимізації транспортних потоків. Тому розробка методичних засад вибору місць розташування ТПВ з урахуванням логістичних, технічних та економічних факторів є надзвичайно актуальним завданням у сфері міського транспортного планування.

Сучасні підходи до організації пасажирських перевезень передбачають не лише розвиток рухомого складу та маршрутної мережі, а й створення зручної, швидкої та безпечної системи пересадок. При цьому особливе значення має просторове розміщення зупинок громадського транспорту на перехрестях — місцях з високою інтенсивністю руху та пересадок між різними маршрутами. Рациональне формування таких вузлів дає змогу зменшити втрати часу пасажирів, покращити умови пересадок та зробити громадський транспорт конкурентоспроможним порівняно з приватними перевезеннями.

Зважаючи на це, проведення комплексного аналізу діючої інфраструктури та розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору оптимальних місць розташування транспортно-пересадочних вузлів є важливим кроком до формування ефективної та зручної системи міських перевезень. Дослідження, що базуються на оцінці середнього часу пересадки,

транспортної логістики та пасажирських потоків, дозволяють впровадити зміни, які відповідають як технічним можливостям підприємства, так і потребам мешканців міста.

Мета і завдання дослідження. Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є розробка методичних засад вибору оптимального розміщення транспортно-пересадочних вузлів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» з урахуванням зменшення середнього часу пересадки пасажирів, підвищення ефективності маршрутної мережі та покращення якості обслуговування пасажирів у місті Вінниця.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз організаційної структури та функціонування маршрутної мережі КП «Вінницька транспортна компанія».
2. Дослідити існуючі транспортно-пересадочні вузли на прикладі трьох ключових перехресть у місті Вінниця.
3. Визначити основні фактори, що впливають на зручність та тривалість пересадок пасажирів.
4. Побудувати цільову функцію оцінки ефективності розміщення зупинок із урахуванням часу пересадки, відстані та інфраструктурних умов.
5. Розробити та апробувати експериментально-розрахункову методику визначення оптимального розміщення ТПВ.
6. Провести порівняльний аналіз існуючих і запропонованих варіантів розміщення зупинок.
7. Надати практичні рекомендації щодо удосконалення пересадочних процесів та зменшення втрат часу пасажирів.

Об'єктом дослідження – є система міських пасажирських перевезень у місті Вінниця, зокрема організація транспортно-пересадочних вузлів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія».

Предмет дослідження– процеси розміщення зупинок громадського транспорту в межах транспортно-пересадочних вузлів на міських перехрестях та їх вплив на тривалість і зручність пересадок пасажирів.

Методи дослідження. Відповідно до мети та завдань у роботі використано комплекс методів дослідження, зокрема:

- аналіз і узагальнення нормативних документів, статистичних та технічних даних підприємства;
- картографічний аналіз просторового розташування зупинок і маршрутів;
- математичне моделювання цільової функції для оцінки ефективності розміщення пересадочних вузлів;
- експериментально-розрахунковий метод для визначення середнього часу пересадки пасажирів;
- порівняльний аналіз існуючого та запропонованого варіантів організації транспортно-пересадочних вузлів.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Удосконалено підхід до вибору місць розташування транспортно-пересадочних вузлів у міському середовищі шляхом урахування середнього часу пересадки пасажирів як одного з ключових критеріїв ефективності.
2. Запропоновано цільову функцію для оцінювання варіантів розміщення зупинок громадського транспорту, яка враховує просторову близькість, типи зупинок, інтенсивність пасажиропотоків та логістику маршрутної мережі.
3. Розроблено експериментально-розрахункову методику аналізу тривалості пересадочних процесів на прикладі конкретних перехресть у місті Вінниці.
4. Сформульовано практичні рекомендації щодо оптимізації пересадочних процесів, які можуть бути використані при модернізації маршрутної мережі міського транспорту.

Практична значимість одержаних результатів. Результати дослідження мають важливе практичне значення для органів місцевого самоврядування, транспортних підприємств та фахівців у галузі міського планування. Запропоновані підходи до вибору місць розташування транспортно-пересадочних вузлів можуть бути використані для оптимізації маршрутної мережі громадського транспорту, підвищення якості обслуговування пасажирів та зменшення часу їх переміщення між пересадочними пунктами. Експериментально обґрунтовані рішення щодо удосконалення організації зупинок можуть бути впроваджені в діяльність КП «Вінницька транспортна компанія» для підвищення ефективності транспортної системи міста Вінниця. Одержані результати також можуть слугувати основою для подальших досліджень у сфері транспортної логістики та розробки стратегічних планів розвитку міської інфраструктури.

Достовірність теоретичних положень. Достовірність теоретичних положень та отриманих результатів підтверджується використанням сучасних наукових підходів, логічною послідовністю етапів дослідження, а також застосуванням перевірених методів аналізу та математичного моделювання. При формуванні цільової функції враховувалися актуальні нормативні документи, статистичні дані, реальні технічні характеристики маршрутної мережі та інфраструктури КП «Вінницька транспортна компанія». Експериментальна перевірка запропонованої методики здійснювалася на основі фактичних даних щодо пересадочних процесів на ключових перехрестях міста Вінниця. Узагальнені результати не суперечать положенням транспортної теорії та логістики, що підтверджує їх обґрунтованість та можливість практичного застосування.

Публікації.

1. В. Ю. Старжинський, М. В. Митко. Цільова функція оптимального розміщення зупинок громадського транспорту на перехрестях. IV Міжнародна науково-технічна конференція “Перспективи розвитку машинобудування та

транспорту – 2025” 03 – 05 червня 2025 р. Вінниця, ВНТУ URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2025/paper/view/25179> [16].

2. В. Ю. Старжинський, М. В. Митко. Оптимізація розташування зупинок громадського транспорту визначеного перехрестя. LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2025). 24 – 27 березня 2025 року, Вінниця, ВНТУ. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2025/paper/view/23568> [3].



1 АНАЛІЗ РОБОТИ КП «ВІННИЦЬКА ТРАНСПОРТНА КОМПАНІЯ»

1.1 Загальні відомості про підприємство

КП "Вінницька транспортна компанія" (далі КП "ВТК") – це комунальне підприємство-перевізник. Підприємство-перевізник – це компанія, яка надає послуги з транспортування вантажів або пасажирів. В Україні діяльність таких підприємств регулюється законодавством, яке визначає їхні обов'язки та відповідальність. Підприємства-перевізники можуть спеціалізуватися на різних видах транспорту: автомобільному, залізничному, авіаційному чи водному. Вони забезпечують перевезення товарів або пасажирів між пунктами призначення, дотримуючись встановлених правил і стандартів безпеки. Для здійснення своєї діяльності такі підприємства повинні мати відповідні ліцензії та дозволи, а також дотримуватися вимог щодо технічного стану транспортних засобів і кваліфікації персоналу[26].

КП "ВТК" одне з провідних підприємств міського електротранспорту України, яке забезпечує функціонування трамвайної, тролейбусної та автобусної мережі у Вінниці. Історія підприємства розпочалася у 1913 році, коли 28 жовтня була здана в експлуатацію перша лінія міського трамвая довжиною 7 км. Новою лінією почали працювати перші трамвайні вагони німецького виробництва "MAN".

У 1963 році було споруджено першу лінію тролейбуса, вже 18 лютого 1964 року перші тролейбуси ЯТБ-4 та МТБ-82М почали перевозити вінничан за маршрутом "Жовтнева площа - Рибзбут".

15 травня 2008 року було запущено перший муніципальний маршрут автобуса "Педучилище - Залізничний вокзал". Цей маршрут почали обслуговувати автобуси марки ЛАЗ які належали новоствореному автопарку КП "Вінницьке трамвайно-тролейбусне управління" (сьогодні КП "ВТК")[21].

Сьогодні комунальне підприємство "Вінницька транспортна компанія" – це велика компанія, на якій працює близько 1700 осіб. Воно має технологічне

обладнання для експлуатації різного типу рухомого складу, власну енергогосподарську базу, трамвайне та тролейбусне депо, автопарк, базу відпочинку службу колії. Безперебійну роботу трамваїв і тролейбусів забезпечує розвинена ремонтна база, що дозволяє виконувати всі види ремонту рухомого складу, впроваджувати сучасні технології відновлення агрегатів, а також виготовляти та реставрувати понад 750 видів запасних частин[13]. Технічна база КП "ВТК" є однією з найкращих серед подібних підприємств в Україні. Підприємство має власну ремонтну базу, що дозволяє обслуговувати і модернізувати рухомий склад, виготовляти запасні частини та впроваджувати сучасні технології у сфері міських перевезень.

1.2 Аналіз рухомого складу підприємства

КП "Вінницька транспортна компанія" експлуатує три основні види громадського транспорту: трамваї, тролейбуси та автобуси. Кожен із цих видів транспорту відіграє важливу роль у забезпеченні якісних перевезень у Вінниці. Рухомий склад який знаходиться на балансі компанії різноманітний.

Рухомий склад — це всі транспортні засоби, які використовуються на певному виді транспорту для перевезення пасажирів або вантажів. За видом роботи рухомий склад поділяється на: пасажирський, вантажний та службовий або спеціального призначення [22].

1.2.1 Аналіз рухомого складу трамвайного депо

Трамвайне депо — це комплекс споруд і об'єктів, призначених для зберігання, ремонту та технічного обслуговування трамвайного рухомого складу[14].

Основні функції трамвайного депо:

- Зберігання та відстій трамваїв: депо забезпечує місце для стоянки трамваїв поза робочим часом, під час обідів у водіїв та техніки яка виведена з експлуатації або перебуває на консервації.

- Технічне обслуговування та ремонт: у депо проводяться регулярні огляди, технічні огляди та середні і капітальні ремонти для забезпечення безпечної та надійної експлуатації трамвайних вагонів.
- Підготовка до виїзду на лінію: Перед виїздом на маршрут трамваї проходять перевірку та необхідну підготовку та щоденний огляд.
- Забезпечення санітарного стану трамвайних вагонів, що експлуатуються.

Станом на 2025 рік, на балансі трамвайного депо перебувають 140 трамвайних вагонів, які введені в експлуатацію. За типом призначення на підприємстві є пасажирські та спеціальні вагони. До спеціальних відносяться службові (за різним видом призначення: зварювальні, снігоприбиральні тощо) та екскурсійні. У таблиці 1.1 представлено модельний ряд трамваїв які перебувають на балансі підприємства. Зазначену інформацію було отримано з відкритих джерел, зокрема порталу AlltransUA[12].

Рухомий склад трамвая у Вінниці нараховує 132 пасажирських вагони (серед яких є моторні та причіпні вагони) та 8 спеціальних вагонів (службові та екскурсійні).

На основі інформації, яка подана в таблиці 1.1 складено опис трамвайних вагонів з їх характеристики:

- T4UA VinWay: односекційний вагон, який обладнаний низькопідлоговою площадкою. Вагони T4UA були модернізовані на основі чехословацьких вагонів Tatra T4 з 2016 по 2018 рік. Обладнаний 3 дверима;
- KT4MB VinWay: двосекційний вагон, модернізований на основі трамвая Tatra KT4 у 2015 році. Обладнаний 4 дверима;
- KT4UA VinWay: трисекційний вагон, який обладнаний низькопідлоговою площадкою. Вагони KT4UA були модернізовані на основі чехословацьких вагонів Tatra KT4 з додаванням середньої частково низькопідлогової секції з 2016 по 2018 рік. Обладнаний 5 дверима;
- Tatra KT4: двосекційний вагон чеського виробництва, що експлуатуються ще з радянських часів (2 вагони модернізовані). Виготовлялися

з 1973 по 1997 роки. Обладнаний 4 дверима;

Таблиця 1.1 – Рухомий склад трамвайного депо

Модель	Кількість од.		Початок експлуатації	Довжина, м	Примітки
	Пасажирський	Спеціальний			
T4UA VinWay	5	-	2016	16	Частково низькопідлоговий
KT4MB VinWay	1	-	2015	20	
KT4UA VinWay	4	-	2016	31	Частково низькопідлоговий
Tatra KT4SU	6	-	1981	18	
Tatra T4SU	-	4	1971	16	
Be 4/4 Karpfen	8	5	2007	16	
B4 Karpfen	7	-	2007	16	Причпний
Be 4/6 Mirage	72	-	2008	21	
Be 4/6 Mirage Kuh	3	-	-	21	Причпний
Be 4/6 Tram 2000	22	-	2023	21	
CX-2	-	1	1953	8	Службовий
T57	2	-	1957	8	Екскурсійний
Всього, од.:	132	8			
	140				

• Tatra T4: односекційний вагон чеського виробництва, що експлуатуються ще з радянських часів. Перебувають в спеціальній експлуатації. Виготовлялися з 1967 по 1987 роки. Обладнаний 3 дверима;

- Ве 4/4 Karpfen: односекційний моторний вагон швейцарського виробництва. Виготовлялися з 1959 по 1960 роки. Обладнаний 3 дверима;
- В4 Karpfen: односекційний причіпний вагон швейцарського виробництва. Обладнаний 3 дверима;
- Ве 4/6 Mirage: трисекційний моторний вагон швейцарського виробництва. Виготовлялися з 1966 по 1968 роки. Обладнаний 4 дверима;
- Ве 4/6 MirageKuh: трисекційний причіпний вагон швейцарського виробництва. Обладнаний 4 дверима;
- Ве 4/6 Tram 2000: трисекційний моторний вагон швейцарського виробництва. Виготовлялися у періоди з 1976 по 1978 роки та з 1985 по 1991 роки. Обладнаний 4 дверима;
- СХ-2: снігоприбиральний вагон українського виробництва 50-х років минулого сторіччя;
- Т57: екскурсійний трамвай типу Gotha Т57 німецького виробництва 50-х років минулого сторіччя. Обладнаний 2 дверима.

На рисунку 1.1 зображено фото основної одиниці рухомого складу трамвая - вагон серії Ве 4/6 Mirage.



Рисунок 1.1 –Трамвайний вагон Ве 4/6 Mirage.

Також на балансі депо перебувають 9 вагонів серії VinWay, які обладнані низькопідлоговою вставкою. На рисунку 1.2 зображено фото трамвая T4UA VinWay.



Рисунок 1.2 – Трамвайний вагон T4UA VinWay.

1.2.2 Аналіз рухомого складу тролейбусного депо

Тролейбусне депо — це комплекс споруд і об'єктів, призначених для зберігання, технічного обслуговування та ремонту тролейбусів [14].

Основні функції тролейбусного депо:

- Зберігання тролейбусів: забезпечення місця для стоянки тролейбусів поза робочим часом.
- Технічне обслуговування та ремонт: проведення регулярних оглядів, технічного обслуговування та ремонтних робіт для забезпечення безпечної та надійної експлуатації тролейбусів.

- Підготовка до роботи на маршруті: проведення щоденного огляду та підготовка тролейбусів перед виїздом на маршрут.

Станом на 2025 рік, на балансі тролейбусного депо перебувають 164 тролейбуси, які введені в експлуатацію. За типом призначення на підприємстві є пасажирські та спеціальні тролейбусні машини. До спеціальних відносяться службові (аварійні). У таблиці 1.2 представлено модельний ряд тролейбусів які перебувають на балансі підприємства КП "ВТК"[12].

Таблиця 1.2 – Рухомий склад тролейбусного депо

Модель	Кількість од.		Початок експлуатації	Примітки
	Пасажирський	Спеціальний		
ЗіУ-682В	32	-	1976	
ЗіУ-682Г	39	1	1990	
ЛАЗ Е183Д	1	-	2006	
PTS-12	14	-	2019	
PTS-T12309	17	-	2022	
Богдан Т70117	40	-	2014	
SolarisTrollino12S	21	-	2023	
КТГ-1	-	2	2008	Службовий
Всього, од.:	164	3		
	167			

Рухомий склад тролейбусів у Вінниці нараховує 164 пасажирських тролейбуси (серед яких є високопідлогові та низькопідлогові машини) та 3 спеціальних тролейбуси (службові та навчальний).

На основі інформації, яка подана в таблиці 1.2 складено опис тролейбусів та їх характеристики:

- ЗіУ-682: радянський високопідлоговий односекційний тролейбус, який виготовлявся з 1972 по 2015 роки. Усі тролейбуси у Вінниці пройшли капітальні ремонти з 2012 по 2016 роки. Деякі машини проходили модернізацію.
- ЛАЗ Е183Д: вітчизняний низькопідлоговий односекційний тролейбус, який виготовлявся з 2006 по 2013 роки на Львівському автобусному заводі.
- PTS-12: низькопідлоговий односекційний тролейбус, який виготовлявся з 2019 по 2022 роки. Тролейбуси модифікації VinLine збирали на основі кузова білоруського виробництва Маз у тролейбусному депо Вінниці. Постачальником більшості запчастин було ТОВ "Політехносервіс" (м. Бровари).
- PTS-T12309: низькопідлоговий односекційний тролейбус, який виготовляється з 2022 року. Тролейбуси модифікації VinLine збирали на основі кузова турецького виробництва Акіа у тролейбусному депо Вінниці. Постачальником більшості запчастин є ТОВ "Політехносервіс" (м. Бровари). На рисунку 1.3 зображено тролейбус PTS-T12309.





Рисунок 1.3 – Тролейбус PTS-T12309

- Богдан Т70117: вітчизняний низькопідлоговий односекційний тролейбус, який виготовляється з 2014 року на Автоскладальному заводі №1 у місті Луцьк.
- Solaris Trollino III 12S: низькопідлоговий односекційний тролейбус польського виробництва 2011-2012 років виробництва. До 2023 тролейбуси Solaris перебували в експлуатації у місті Люблін, Польща.
- КТГ-1: службовий тролейбус виробництва Київського заводу електротранспорту.

Згідно з проведеними дослідженнями станом на 2025 рік, зроблено наступні висновки:

- основною одиницею рухомого складу є тролейбус ЗіУ-682. На рисунку 1.4 зображено тролейбуси моделі ЗіУ-682;
- 93 тролейбуси, які перебувають на балансі депо є повністю низькопідлоговими;

- Усі пасажирські тролейбуси мають довжину 12 метрів та обладнані 3 дверима.



Рисунок 1.4 – Тролейбуси ЗиУ-682

1.2.3 Аналіз рухомого складу автобусного парку

Автотранспортне підприємство (АТП) — це підприємство автомобільного транспорту комплексного типу, яке здійснює перевезення вантажів або пасажирів, зберігання, технічне обслуговування та ремонт рухомого складу, а також забезпечення його експлуатаційними матеріалами та запасними частинами[1].

Основні функції автотранспортного підприємства:

- Перевезення пасажирів або вантажів: надання транспортних послуг населенню або бізнесу;
- Зберігання транспортних засобів: забезпечення місця для стоянки автобусів або вантажівок поза робочим часом;

- Технічне обслуговування та ремонт: проведення регулярних оглядів, технічного обслуговування та ремонтних робіт для підтримки транспортних засобів у належному стані;
- Забезпечення матеріалами та запчастинами: постачання необхідних експлуатаційних матеріалів та запасних частин для безперервної роботи транспортних засобів.

Станом на 2025 рік, на балансі автобусного парку перебувають 72 автобуси, які введені в експлуатацію. За типом призначення на підприємстві є виключно пасажирські машини. Службові та спеціальні цілі виконує додатковий автотранспорт. У таблиці 1.3 представлено модельний ряд автобусів які перебувають на балансі підприємства КП "ВТК"[12].

Рухомий склад автопарку у Вінниці нараховує 72 пасажирських автобуси міського класу. Усі автобуси є низько підлоговими.

Таблиця 1.3 – Рухомий склад автобусного парку

Модель	Кількість од.		Початок експлуатації	Примітки
	Пасажирський	Спеціальний		
ЛАЗ-А183	2	-	2008	
Богдан А701	42	-	2011	
Otokar Kent C 12 CNG	10	-	2021	
Ataman A092G6	8	-	2015	
MAN A20 Lion's City Ü NÜ 313 CNG	6	-	2024	
VDL Citea LLE-120	3	-	2024	
Dongyu Skywell NJL6129BEV	1	-	2017	Електробус
Всього, од.:	72	0		
	72			

На основі інформації, яка подана в таблиці 1.3 складено опис автобусів та їх характеристики:

- ЛАЗ-А183: вітчизняний міський дизельний низькопідлоговий автобус довжиною 12 метрів. Випускався до 2014 року на Львівському автобусному заводі. Обладнаний 3 дверима;
- Богдан А701: вітчизняний міський дизельний низькопідлоговий автобус довжиною 12 метрів. Випускається на Автоскладальному заводі №1 у місті Луцьк. Обладнаний 3 дверима;
- Otokar Kent C 12 CNG: турецький міський низькопідлоговий автобус довжиною 12 метрів, що працює на стисненому газі. Обладнаний 3 дверима;
- Ataman A092G6: вітчизняний міський газовий частково низькопідлоговий автобус довжиною 8,5 метрів. Випускається на Черкаському автобусному заводі. Обладнаний 2 дверима;
- MAN A20 Lion's City Ü NÜ 313 CNG: німецький міський низькопідлоговий автобус довжиною 12 метрів, що працює на стисненому газі. Обладнаний 2 дверима;
- VDL Citea LLE-120: міський дизельний низькопідлоговий автобус довжиною 12 метрів виробництва Нідерланди. Обладнаний 2 дверима;
- Dongyu Skywell NJL6129 BEV: міський електробус китайського виробництва із запасом ходу близько 300 км на одному заряді. Обладнаний 2 дверима;

Згідно з проведеним дослідженням станом на 2025 рік, зроблено наступні висновки:

- основною одиницею рухомого складу є вітчизняний автобус Богдан А701. На рисунку 1.5 зображено автобус Богдан А701;
- Усі автобуси мають повністю або частково низьку підлогу;
- Більшість автобусів мають кузовне компонування та три двері.



Рисунок 1.5 –Автобус Богдан А701

1.3 Особливості експлуатації рухомого складу

Аналіз чинного пасажирського рухомого складу КП "ВТК" показав, що на балансі підприємства знаходиться різний модельний ряд трамвая, тролейбуса і автобуса. Експлуатація різних моделей рухомого складу (трамвай чи тролейбус, чи автобус) створює ряд проблем для підприємства, пов'язаних із технічним обслуговуванням, логістикою запчастин, методами ремонту та експлуатаційними особливостями.

Технічне обслуговування та ремонт трамвайних вагонів різних моделей це дещо важчий процес ніж однієї уніфікованої одиниці транспорту. У багатьох містах використовуються як старі, так і нові трамваї (наприклад, у Вінниці – швейцарські «Mirage» і «Karpfen» поряд із чехословацькими Tatra чи модернізованими VinWay). Вони мають різні конструкції ходових частин, електроніки, систем керування. Старші моделі трамваїв потребують оригінальних деталей, які часто вже не виробляються, що змушує підприємство самостійно виготовляти компоненти або шукати аналоги. Кожні 20 тисяч

кілометрів пробігу – роботи, які виконуються в технічні огляди з регулюванням або заміною певних деталей при необхідності. Середній ремонт – 100 тис. км. Капітальний ремонт – через 300 тис. км[4].

Щодо тролейбусних машин ситуація з експлуатацією досить схожа, оскільки тролейбусний парк налічує понад 3 основних моделей тролейбусів які щодня експлуатуються. Сучасні тролейбуси використовують електронні системи керування тяговими двигунами (наприклад, IGBT-транзисторні перетворювачі), тоді як тролейбуси ZiU мають реостатно-контакторну систему.

Залежність від контактної мережі – тролейбуси вимагають добре підтриманої контактної мережі, що потребує постійного обслуговування. Сучасні моделі (наприклад VinLine) оснащені акумуляторами для автономного руху, що створює потребу в додаткових сервісних станціях.

Автобусний парк налічує машини, які працюють на різному типі пального. Є автобуси на дизельному пальному, газу (метан) та один електробус, що ускладнює організацію заправних станцій і техобслуговування. Електробуси вимагають окремої інфраструктури зарядки, а також дорогих акумуляторів, які мають обмежений термін служби.

Окремої уваги потребує інфраструктура для експлуатації рухомого складу. У трамвая це колія, контактна мережа, підстанції тощо. У тролейбуса: контактна мережа, підстанції та дорожнє полотно(останнє притаманне автобусу). Ремонт колій, контактної мережі та дорожнього покриття є критичними компонентами для належної експлуатації громадського транспорту. Останні роки під час реконструкцій трамвайних колій у Вінниці використовують технологію "оксамитовий шлях" (суцільне бетонне покриття під рейками + гумові демпфери для зниження шуму)[20]. Контактна мережа громадського транспорту зазнає численних експлуатаційних проблем, серед яких основною є зношення проводів – мідні або алюмінієві дроти поступово стираються під впливом струмоприймачів. Взимку додатковою складністю стає обмерзання, коли на проводах накопичується лід, що може ускладнювати рух тролейбусів і трамваїв. Крім того, сильний вітер, аварії або падіння дерев

можуть спричиняти обриви проводів, що призводить до зупинки руху. Ще однією проблемою є застарілі трансформаторні підстанції, які забезпечують живлення мережі, оскільки їх зношеність може викликати перебої в подачі напруги, негативно впливаючи на стабільність транспортної системи.

У таблиці 1.4 наведено уніфіковані проблеми експлуатації рухомого складу.

Таблиця 1.4 – Уніфіковані проблеми експлуатації рухомого складу.

Загальна проблема	Опис
Логістика запчастин	<ul style="list-style-type: none"> • Відсутність уніфікації парку змушує мати великий склад запасних частин для різних моделей. • Деякі запчастини доводиться замовляти за кордоном, що збільшує час очікування та витрати.
Кваліфікація персоналу	<ul style="list-style-type: none"> • Для обслуговування різних моделей необхідно навчати персонал на кілька типів транспорту, що збільшує витрати на підготовку. • Дефіцит кваліфікованих спеціалістів, особливо електриків і механіків, які можуть працювати з сучасними електронними системами
Енергетичні витрати	<ul style="list-style-type: none"> • Трамваї та тролейбуси залежать від електромережі, що створює ризики під час аварій або нестачі електроенергії. • Автобуси на дизелі мають високі витрати пального, особливо в міському режимі з частими зупинками.

1.3.1 Досвід європейських країн

Експлуатація громадського транспорту в європейських країнах стикається з низкою проблем. У Німеччині, зокрема в Саксонії, місцева влада та транспортні компанії відзначають суттєве недофінансування галузі, що ускладнює підтримку та розширення послуг громадського транспорту. Зростання витрат на енергоносії, інфраструктуру та персонал, а також зниження доходів через запровадження єдиного квитка призводять до необхідності додаткового фінансування з боку держави, без якого існує ризик скорочення послуг[33].

У Франції громадський транспорт також стикається з викликами, зокрема через страйки працівників. Наприклад, у вересні 2019 року масштабний страйк співробітників громадського транспорту паралізував рух у Парижі, закривши більшість ліній метро та спричинивши значні затори. Причиною страйку стало невдоволення пенсійною реформою, яка могла позбавити працівників певних привілеїв, таких як завчасний вихід на пенсію[17].

Однак не дивлячись на проблеми в Європейських містах, якість надавання послуг з перевезення у них набагато краща ніж в містах України. Згідно з рейтингом *Mayors of Europe*, міста з найкращим громадським транспортом у Європі включають Цюрих, Відень, Росток, Дрезден і Роттердам. Висока задоволеність жителів пояснюється розгалуженими мережами, інтегрованими квитковими системами, екологічними ініціативами та зменшенням використання авто. Також популярні системи *Park&Ride* та каршеринг. У Цюриху лише один квиток потрібен для всіх видів транспорту, а у Відні частка поїздок на авто знизилася на 13% за 20 років[30].

Отже, якщо порівняти експлуатацію громадського транспорту в Україні та європейських країнах необхідно зазначити що в різних країнах різні кліматичні умови, різні державні стандарти та різне фінансування. В європейських країнах інфраструктура краща ніж в містах України, що робить

транспортування більш швидшим та комфортнішим. Однак основні переваги громадського транспорту в Європі порівняно з Україною включають:

- Інтегрована система – єдиний квиток діє на всі види транспорту (метро, автобус, трамвай).
- Рухомий склад в задовільному технічному стані.
- Зручні транспортні хаби, які створені для пересадок між різними видами громадського транспорту.
- Стабільний розклад – точне дотримання графіка та онлайн-моніторинг.
- Якісна інфраструктура – сучасні трамвайні лінії, виділені смуги, комфортні зупинки.
- Екологічність – активне використання електробусів і трамваїв.
- Субсидування – знижені ціни на проїзд, зокрема річні абонементи.

1.4 Маршрутна мережа підприємства

Маршрутна мережа міста — це сукупність усіх маршрутів міського громадського транспорту, на яких на регулярній основі організовуються перевезення пасажирів[28].

Вона включає:

- Типи маршрутів (міські, міжміські, приміські, міжнародні);
- Види транспорту (автобуси, трамваї, тролейбуси, метро, поїзди тощо);
- Зупинки та станції (місця посадки/висадки пасажирів);
- Розклади руху (часові інтервали, графіки роботи транспорту);
- Інфраструктуру (депо, кінцеві станції, пересадкові вузли).

Основна функція маршрутної мережі — забезпечення ефективного та зручного сполучення між різними районами міста, враховуючи потреби мешканців у пересуванні.

При формуванні маршрутної мережі враховуються такі параметри, як щільність мережі, насиченість території лініями транспорту та середня тривалість поїздки.

Це дозволяє оптимізувати витрати часу пасажирів на пересування та підвищити загальну ефективність роботи громадського транспорту.

Маршрутна мережа Вінниці складається з різноманітних видів громадського транспорту, що забезпечують ефективне сполучення між різними районами міста та передмістями. Для відстеження руху громадського транспорту в режимі онлайн мешканці та гості міста можуть скористатися системою спостереження за рухом громадського транспорту Вінниці. Також на сайті Вінницької міської ради доступна схема руху громадського транспорту, яка ознайомлює з трамвайними, тролейбусними та автобусними маршрутами міста, а також інформує про транспортні зупинки. На рисунку 1.6 зображено офіційну актуальну схему руху громадського транспорту міста Вінниці.



Рисунок 1.6 – Схема руху громадського транспорту міста Вінниці

У 2023 році громадський транспорт Вінниці (трамваї, тролейбуси та муніципальні автобуси) перевезли 52 мільйони 101 тисячу пасажирів. Це на 16,9% (або 7 мільйонів 529 тисяч осіб) більше, ніж у 2022 році. Найбільший обсяг перевезень припав на електротранспорт – тролейбуси та трамваї забезпечили 80,5% усіх перевезень, що становить 41 мільйон 918 тисяч пасажирів[11].

У 2024 році електротранспорт Вінниці (трамвай та тролейбус) надав послуги з перевезення 319 мільйонів пасажирів, що на 4% більше за аналогічний період у 2023 році[7].

1.4.1 Аналіз маршрутів трамвая

Трамвайна мережа є основною складовою громадського транспорту міста, що забезпечує перевезення пасажирів у найбільш завантажених напрямках. Основні параметри[5]:

- Довжина мережі: 44 км;
- Кількість маршрутів: 6;
- Середня швидкість руху: 13.2 км/год;
- Середній інтервал руху: 5-25 хвилин (залежно від маршруту та часу доби);
- Час роботи: 05:30 – 23:30;
- Випуск вагонів на лінію: 64 (будній день), 35 (вихідний день).

Використовуючи додаток “Vinnytsia Transport” було зроблено аналіз трамвайних маршрутів міста Вінниці[19]. У таблиці 1.5 наведено маршрути трамвая які обслуговує підприємство КП “ВТК” та їх характеристику.

Таблиця 1.5 – Маршрути трамвая та їх характеристика

№	Маршрут / у зворотному напрямку	Протяжність маршруту / у зворотному напрямку, км.	Кількість зупинок / у зворотному напрямку
1	Залізничний вокзал - Електромережа / Електромережа - Залізничний вокзал	8,9 / 8,3	18 / 17
2	Барське шосе - Вишенька / Вишенька - Барське шосе (Кільцевий)	10,7 / 10,7	27 / 28
3	Вишенька - Електромережа / Електромережа - Вишенька	7,3 / 7,3	19 / 17
4	Залізничний вокзал - Барське шосе / Барське шосе - Залізничний вокзал	10 / 9,3	23 / 20
5	Барське шосе - Електромережа / Електромережа - Барське шосе	7,2 / 7,2	17 / 17
6	Залізничний вокзал - Вишенька / Вишенька - Залізничний вокзал	12,5 / 11,9	29 / 25

1.4.2 Аналіз маршрутів тролейбуса

Тролейбусна мережа Вінниці є найбільшою за протяжністю та кількістю маршрутів серед громадського транспорту міста. Основні параметри тролейбусної мережі[24]:

- Довжина контактної мережі: 90,5 км;
- Протяжність маршрутів: 165,4 км;
- Кількість маршрутів: 22;
- Середній інтервал руху: 5-90 хвилин (залежно від маршруту та часу доби);
- Час роботи: 05:20 – 23:40;
- Випуск тролейбусів на лінію: 95 (будній день), 60 (вихідний день).

Використовуючи додаток “Vinnytsia Transport” було зроблено аналіз тролейбусних маршрутів міста Вінниці[19]. У таблиці 1.6 наведено маршрути тролейбуса які обслуговує підприємство КП ”ВТК” та їх характеристику.

Таблиця 1.6 – Маршрути тролейбуса та їх характеристика

№	Маршрут / у зворотному напрямку	Протяжність маршруту / у зворотному напрямку, км.	Кількість зупинок / у зворотному напрямку
1	ВПЗ - вул. Лугова / вул. Лугова - ВПЗ	13,4 / 13,3	33 / 34
2	Водоканал - Гетьмана Мазепи / Гетьмана Мазепи - Водоканал	7,2 / 7,6	17 / 17
3	ВПЗ - Вишенька / Вишенька - ВПЗ	12,8 / 12,8	28 / 29
4	Вишенька - вул. Лугова / вул. Лугова - Вишенька	12,9 / 13,5	28 / 28
5	Залізничний вокзал - Вишенька / Вишенька - Залізничний вокзал	8,8 / 8,8	18 / 17
6	Залізничний вокзал - Водоканал / Водоканал - Залізничний вокзал	5,6 / 5,8	14 / 14
7	Залізничний вокзал - Вінниччина-Авто / Вінниччина-Авто - Залізничний вокзал	7 / 7	20 / 18
8	Вишенька - Водоканал / Водоканал - Вишенька	9,3 / 9,3	19 / 20
9	вул. Князів Коріатовичів - Водоканал / Водоканал - вул. Князів Коріатовичів	7,3 / 7,3	16 / 16
10	Вишенька - вул. Гетьмана Мазепи / вул. Гетьмана Мазепи - Вишенька	10,2 / 10,8	20 / 21

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4
11	вул. Князів Коріатовичів - Залізничний вокзал / Залізничний вокзал - вул. Князів Коріатовичів	6,8 / 6,8	15 / 14
12	Аграрний університет - вул. Гетьмана Мазепи / вул. Гетьмана Мазепи - Аграрний університет	10,5 / 10,9	21 / 22
13	Аграрний університет - Водоканал / Водоканал - Аграрний університет	9,4 / 9,4	20 / 21
14	Аграрний університет - Залізничний вокзал / Залізничний вокзал - Аграрний університет	9 / 9	19 / 19
15	Вишенька - Муніципальний ринок / Муніципальний ринок - Вишенька	9,4 / 9,4	18 / 20
16	Вишенька - Муніципальний ринок - ВПЗ / ВПЗ - Муніципальний ринок - Вишенька	12,5 / 12,5	25 / 28
17	Залізничний вокзал - мкрн. "Академічний" / мкрн. "Академічний" - Залізничний вокзал	8,8 / 8,8	18 / 18
18	Вишенька - вул. Юзвинська - Залізничний вокзал / Залізничний вокзал - вул. Юзвинська - Вишенька	16 / 16	31 / 31
19	Гніванське шосе - Немирівське шосе / Немирівське шосе - Гніванське шосе	17,7 / 17,7	31 / 31
20	Вишенька - Хутір Шевченка / Хутір Шевченка - Вишенька	11,9 / 13,2	22 / 27
21	Залізничний вокзал - ВПЗ / ВПЗ - Залізничний вокзал	9,3 / 9,3	22 / 22

22	Вишенька - Водоканал - с. Десна / с. Десна - Водоканал - Вишенька	15,5 / 15,9	32 / 33
----	--	-------------	---------

1.4.3 Аналіз маршрутів муніципального автобуса

Мережа муніципальних автобусів Вінниці здебільшого охоплює віддалені райони міста, де немає трамвайної та тролейбусної мережі. Основні параметри автобусної мережі:

- Кількість маршрутів: 16;
- Середній інтервал руху: 12-100 хвилин (залежно від маршруту та часу);
- Час роботи: 05:30 – 23:10;
- Випуск вагонів на лінію: 95 (будній день), 60 (вихідний день).

Використовуючи додаток “Vinnytsia Transport” було зроблено аналіз маршрутів муніципальних автобусів міста Вінниці [19]. У таблиці 1.7 наведено маршрути муніципальних автобусів які обслуговує підприємство КП “ВТК” та їх характеристику.

Таблиця 1.7 – Маршрути муніципального автобуса та їх характеристика

№	Маршрут / у зворотному напрямку	Протяжність маршруту / у зворотному напрямку, км.	Кількість зупинок / у зворотному напрямку
1	2	3	4
1	Залізничний вокзал – Педколедж / Педколедж – Залізничний вокзал	6,7 / 6,9	15 / 15
2	Площа Шкільна – ВПЗ / ВПЗ – Площа Шкільна	10,2 / 10,2	22 / 24
4	вул. Лугова - вул. Лугова / вул. Лугова - вул. Лугова	14,6 / 14,9	31 / 33

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4
5	П'ятничани - вул. Комарова / вул. Комарова - П'ятничани	9,8 / 9,8	23 / 23
6	Олієжиркомбінат – площа Перемоги / площа Перемоги - Олієжиркомбінат	5,1 / 4,5	11 / 11
7	вул. Я. Шепеля – Пирогово / Пирогово– вул. Я. Шепеля	13,4 / 13,4	30 / 30
8	Залізничний вокзал –вул. Бучми (ліс) / вул. Бучми (ліс) - Залізничний вокзал	5,5 / 5,5	12 / 11
11	вул. Ботанічна – Сабарів / Сабарів - вул. Ботанічна	10,2 / 10,2	24 / 24
14	Залізничний вокзал –Будинок відпочинку / Будинок відпочинку - Залізничний вокзал	7,0 / 7,2	16 / 16
16	Водоканал – Барське шосе – Аграрний університет / Аграрний університет – Барське шосе – Водоканал	14,9 / 14,9	30 / 32
17	Залізничний вокзал - Вінниччина-Авто / Вінниччина-Авто - Залізничний вокзал	6,8 / 6,9	17 / 15
19	Вишенька – Вінницькі хутори / Вінницькі хутори – Вишенька	14,0 / 14,6	29 / 29
20	Водоканал – Хутір Шевченка / Хутір Шевченка - Водоканал	9,5 / 10,6	21 / 24
21	Барське шосе – Педколедж / Педколедж – Барське шосе	11,5 / 11,8	24 / 25

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4
22	Залізничний вокзал - мкрн. "Академічний" / мкрн. "Академічний" - Залізничний вокзал	8,9 / 9,2	19 / 18
24	Вишенька – вул. Бучми (ліс) / вул. Бучми (ліс) – Вишенька	13,0 / 12,4	25 / 27
25	Вишенька – Залізничний вокзал /Залізничний вокзал – Вишенька	8,7 / 8,7	18 / 17
27	Лука Мелешківська – Залізничний вокзал / Залізничний вокзал – Лука Мелешківська	11,1 / 11,1	24 / 24
30	с. Десна –Будинок відпочинку / Будинок відпочинку с. Десна	16,5 / 16,5	35 / 35
32	Сабарів – Залізничний вокзал / Залізничний вокзал –Сабарів	11,4 / 11,4	22 / 23

1.5 Критерії і методи визначення ефективності розміщення зупинок на маршрутах КП “ВТК”

Ефективність функціонування маршрутів громадського транспорту значною мірою залежить від раціонального розміщення зупинок. Неправильне планування призводить до збільшення загального часу поїздки, зниження комфорту пасажирів та зменшення привабливості громадського транспорту як альтернативи приватному. З іншого боку, надмірне скорочення кількості зупинок може знизити доступність транспорту для мешканців певних мікрорайонів.

У цьому контексті постає необхідність використання чітко визначених критеріїв оцінки ефективності розміщення зупинок, а також методів аналізу, які дозволяють знаходити оптимальні рішення для конкретних маршрутів з

урахуванням щільності забудови, пасажиропотоків, швидкості руху та інфраструктурних умов [8].

Серед основних критеріїв ефективності можна виділити: мінімізацію загального часу поїздки, максимізацію транспортної доступності, зменшення експлуатаційних витрат, забезпечення безпеки та комфорту пасажирів. Водночас для оцінки й оптимізації розміщення зупинок застосовуються методи математичного моделювання, транспортної логістики, геоінформаційного аналізу, а також сучасні симуляційні платформи.

На дану ефективності розміщення зупинок громадського транспорту було виконано ряд наукових досліджень. У дисертації Maaza Christos[25] (Northeastern University, 2009) розглянуто оптимізацію розміщення зупинок на наявній транспортній мережі. Дослідження враховує час ходьби, час поїздки та операційний час, які оцінюються у вартісному вираженні.

Дослідження авторів Huan Li та Robert L. Bertini[31], розробляє математичну модель для прийняття рішень щодо консолідації зупинок з урахуванням загального часу поїздки пасажирів та бажаної доступності. Модель враховує шість факторів, включаючи відстань між зупинками, пасажирську активність та середню швидкість руху. Результати показують, що оптимізація може призвести до значного зменшення кількості зупинок та економії часу і витрат.

У статті, опублікованій в журналі "Public Transport"[27], розглядається оптимізація кількості та розташування контрольних зупинок (time point stops) для покращення регулярності обслуговування. Дослідження використовує симуляційне моделювання для оцінки впливу різних конфігурацій зупинок на ефективність транспорту.

Враховуючи аналіз маршрутної мережі міста Вінниця та дослідження у сфері розміщення зупинок громадського транспорту виділено основні аспекти які впливають на розміщення зупинок громадського транспорту:

- Кількість зупинок на маршруті;
- Протяжність маршруту

- Оптимальна відстань між зупинками по маршруту;

Доцільно приставити ці залежності у наступному вигляді:

$$N = \frac{L}{d_{\text{опт}}} \quad (1.1)$$

де:

- N — кількість зупинок,
- L — довжина маршруту (в км),
- $d_{\text{опт}}$ — оптимальна відстань між зупинками (в км), залежить від типу ТЗ і міської щільності.

Орієнтовні значення для $d_{\text{опт}}$ наведено у таблиці 1.6

Таблиця 1.6 – Орієнтовні значення для оптимальної відстані між зупинками

Тип місцевості	Автобус/тролейбус	Трамвай
Центр міста	300–500 м	400–600 м
Житлові райони	500-800 м	600-1000 м
Периферія/міжмісто	1000-2000 м	1500-3000 м

Висновки до розділу 1

У результаті аналізу діяльності комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» було визначено, що воно є ключовим оператором громадського транспорту у місті Вінниця, забезпечуючи перевезення пасажирів троллейбусами, трамваями та автобусами.

Дослідження рухомого складу підприємства показало, що він представлений як сучасними, так і старішими моделями трамваїв, троллейбусів та автобусів, значна частина яких була модернізована або оновлена в останні роки. Усі муніципальні автобуси мають повністю або низьку підлогу. Серед

електротранспорту доступними є 9 трамвайних вагонів та 93 тролейбуси. Це сприяє підвищенню рівня комфорту та ефективності перевезень.

Щодо маршрутної мережі, КП «ВТК» обслуговує широку систему маршрутів, що забезпечують покриття основних транспортних напрямків у місті та передмісті. Загальна кількість маршрутів дозволяє оптимально розподіляти пасажиропотоки та забезпечувати високу доступність громадського транспорту. Серед прогресивних рішень, які були задіяні протягом останніх років це модернізація багатосекційних трамвайних вагонів, запуск в експлуатацію тролейбусів з автономним ходом що дозволяє не прокладати контактну мережу та будувати підстанції а також оновлення автопарку електробусом та екологічними автобусами, які працюють на стисненому газу.

Аналізуючи загальний стан підприємства, можна зробити висновок, що КП «Вінницька транспортна компанія» є стабільним перевізником, що має значний потенціал для подальшого розвитку. Впровадження нових технологій у сфері комп'ютерних технологій та логістики, оновлення рухомого складу та оптимізація маршрутної мережі сприятимуть підвищенню ефективності роботи підприємства та покращенню якості транспортних послуг для мешканців Вінницької територіальної громади.

Доцільна кількість зупинок на маршруті громадського транспорту є критично важливим параметром, що безпосередньо впливає на ефективність перевезень, комфорт пасажирів та загальну привабливість маршрутної мережі. Надмірна кількість зупинок уповільнює рух транспорту, збільшує час поїздки та витрати на експлуатацію, тоді як недостатня — знижує доступність та зручність користування для мешканців міста. Тому визначення оптимальної кількості зупинок має ґрунтуватися на балансу між швидкістю обслуговування та транспортною доступністю, з урахуванням типу транспорту, щільності забудови, інтенсивності пасажиропотоку та нормативних вимог. Формульний підхід із використанням середньої оптимальної відстані між зупинками

дозволяє швидко та об'єктивно оцінити необхідну кількість зупинок для конкретного маршруту й забезпечити його ефективне функціонування.



2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДКОВИХ ВУЗЛІВ

2.1 Загальна характеристика транспортно-пересадкових вузлів

Важливою складовою в структурі міського транспорту є транспортно-пересадкові вузли. Транспортно-пересадковий вузол (ТПВ) — це ключовий елемент планувальної структури міста, який виконує функцію пересадки пасажирів між різними видами міського та зовнішнього транспорту, або між різними маршрутами одного й того ж виду транспорту. Також у межах ТПВ може здійснюватися обслуговування населення за допомогою об'єктів соціальної інфраструктури[9].

Хоча в цілому таке визначення є прийнятним, слід зазначити, що воно не охоплює всі можливі типи й рівні ТПВ. Наприклад, вузли нижчого організаційного рівня можуть бути розташовані за межами міських територій і не входить до міської планувальної структури. Крім того, місця пересадки між маршрутами одного виду транспорту, на нашу думку, не слід класифікувати як ТПВ жодного рівня, оскільки головна ідея створення таких вузлів полягає саме у поєднанні щонайменше двох видів транспорту.

Також, хоча ми підтримуємо створення ТПВ різних організаційних рівнів і розвиток об'єктів обслуговування у їхній громадській зоні, вважаємо, що наявність таких об'єктів не є обов'язковою для ТПВ нижчого рівня. Саме ця наявність і має бути однією з головних відмінностей між ТПВ і транспортно-пересадочними комплексами (ТПК).

Разом із магістральними вулицями ТПВ відіграють роль фундаментальних елементів інфраструктури. Ефективна взаємодія у транспортно-пересадкових вузлах позитивно впливає на якість надання транспортних послуг, підвищення швидкості руху на маршрутах, та є ефективним методом скорочення часу при пересуванні містом. Важливим елементом створення ефективної системи маршрутного пасажирського

транспорту є забезпечення високого рівня внутрішньої взаємодії її структурних елементів [15].

На сьогодні в Україні різні види громадського транспорту переважно функціонують автономно, без ефективної координації між собою. Логістичні, організаційні, технологічні та правові механізми взаємодії між транспортними операторами залишаються недостатньо розвиненими або взагалі відсутніми. Це значною мірою зумовлено відсутністю єдиної інтегрованої системи управління міським транспортом, яка б охоплювала всі елементи транспортного ринку — як державних, так і приватних перевізників.

Брак координації призводить до дублювання маршрутів, неузгоджених графіків руху, незручних або непродуманих місць пересадки, що, у свою чергу, знижує привабливість громадського транспорту в очах пасажирів.

Однією з ключових проблем є недосконалість нормативно-правової бази, яка не забезпечує гнучких механізмів для впровадження сучасних технологій, таких як інтегровані білетні системи, цифрові платформи керування трафіком, мобільні додатки тощо. Без законодавчих змін неможливо реалізувати принципи інтермодальності — тобто узгодженого використання кількох видів транспорту в рамках єдиного маршруту — та мультимодальних пасажирських перевезень, де основний акцент робиться на зручності для користувача[2].

Актуальними завданнями в цьому напрямку є розробка договорів на перевезення, визначення прав, обов'язків і відповідальності сторін за надання неякісних послуг. Крім того, окремим питанням є розподіл доходів між підприємствами при запровадженні єдиного квитка. Складовою ефективного функціонування системи маршрутного пасажирського транспорту є забезпечення необхідних ресурсних умов для здійснення технологічних процесів та їх організації. Важливим джерелом організації перевезень є його інтерактивний моніторинг, який може здійснюватися за допомогою телематики та спрямований на покращення інформаційного розвитку транспортної інфраструктури міст [10].

2.2 Типи ТПВ та їх функціональне призначення

Таблиця 2.1 – Класифікація типів транспортно-пересадкових вузлів (ТПВ) і їх функціональне призначення[32]

Вид ТПВ	Функціональне призначення
1	2
Транспортно-пересадкові вузли міського рівня	Забезпечують пересадку пасажирів між різними видами міського транспорту, такими як автобуси, тролейбуси, трамваї, метро. Вони є основою для організації міських пасажирських потоків, забезпечуючи ефективний розподіл транспортних навантажень по різних маршрутах і зменшення перевантаження окремих ділянок. Приклад: вокзали, автостанції, кінцеві зупинки міського транспорту.
Транспортно-пересадкові вузли міжміського рівня	Забезпечують зручний і швидкий перехід між різними видами транспорту на міжміському рівні, зокрема між автобусами, поїздами, літаками та іншими видами транспорту, що з'єднують міста. Вони дозволяють забезпечити безперервність пасажирських перевезень на великі відстані, що є важливим елементом міжрегіональної транспортної мережі. Приклад: міжміські автовокзали, залізничні станції, аеропорти.
Транспортно-пересадкові вузли міжнародного рівня	Це вузли, що поєднують різні види транспорту, забезпечуючи пасажирів зручними умовами для пересадки при міжнародних подорожах. Вони можуть обслуговувати транскордонні перевезення, сприяючи взаємодії між транспортними системами різних країн. Приклад: Міжнародні аеропорти, морські порти, митні пункти на кордонах.

Продовження таблиці 2.1

1	2
Мультиmodalьні транспортно-пересадкові вузли	Забезпечують інтеграцію кількох видів транспорту, зокрема міського, міжміського та міжнародного, в одному місці. Такі вузли дозволяють пасажиром легко змінювати вид транспорту (наприклад, автобус на поїзд або на літак), що знижує час на пересадку та підвищує ефективність транспортування. Приклад: Великі транспортні хаби, що об'єднують автобуси, поїзди, метро та літаки в єдину систему, наприклад, аеропорти, залізничні станції з автобусними терміналами.
Транспортно-пересадкові вузли з обслуговуванням вантажів	Спеціалізуються на перевезеннях вантажів та обслуговують пасажирів, що перевозять великий багаж або вантажі. Вони є важливими для транспортних ланцюгів, що включають перевезення вантажів на великих відстанях, а також для розподілу товарів між різними видами транспорту. Приклад: Логістичні центри, залізничні станції вантажного транспорту, спеціалізовані термінали в аеропортах.

При класифікації транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ) важливо враховувати рівень між транспортних зв'язків, а саме види транспорту, що взаємодіють, через сталу та змінну складові транспортних систем. Стаціонарною складовою є міський пасажирський транспорт (трамваї, автобуси, тролейбуси, монорейка, метрополітен тощо), а змінною — залізничний, авіаційний і морський транспорт.

Існують різні варіанти перетину залежно від видів транспорту:

- автомобільний — автомобільний;
- автомобільний — залізничний;

- автомобільний — авіаційний;
- автомобільний — морський;
- автомобільний — залізничний — морський;
- автомобільний — морський — авіаційний;
- автомобільний — залізничний — авіаційний;
- автомобільний — залізничний — морський — авіаційний.

Окрім транспортної класифікації, існує також містобудівна класифікація транспортно-пересадочних комплексів, яка визначає їх роль як важливого елемента планувальної структури міста та їх розташування в межах системи центрів, що затверджена в генеральному плані розвитку міста. Основним завданням містобудівних центрів є формування поліцентричної структури міста. Окрім центрального ядра міста, виділяються два типи центрів: міські багатофункціональні та локальні громадські[32]

Транспортно-пересадкові вузли (ТПВ) є невід'ємною частиною транспортної інфраструктури, що забезпечує ефективний і зручний перехід пасажирів між різними видами транспорту. Різні типи ТПВ виконують свої специфічні функції, сприяючи оптимізації транспортних потоків на різних рівнях. Транспортно-пересадкові вузли міського рівня створюють умови для зручного переміщення між видами міського транспорту, що є основою для зниження перевантаження транспортних мереж в містах.

Міжміські та міжнародні вузли забезпечують зв'язок між містами та країнами, дозволяючи зберігати безперервність пасажирських перевезень на великих відстанях. Особливо важливими є мультимодальні транспортно-пересадкові вузли, що об'єднують різні види транспорту та інтегрують транспортні потоки, забезпечуючи зручність пересадки для пасажирів. Вони оптимізують час пересування, знижують витрати та покращують доступність транспортних послуг.

Загалом, кожен з цих типів ТПВ виконує важливу роль у розвитку транспортної системи, надаючи можливість для ефективного використання

інфраструктури та забезпечення комфортних умов для пасажирів на всіх етапах подорожі, від міського до міжнародного рівня.

2.3 Критерії вибору місця розташування ТПВ

Ефективне функціонування транспортно-пересадкових вузлів (ТПВ) безпосередньо залежить від правильного вибору їхнього місця розташування. Процес прийняття рішень у цьому напрямі базується на системному аналізі низки критеріїв, які визначають як поточну ефективність ТПВ, так і перспективи його подальшого розвитку.

Одним із ключових критеріїв є транспортна доступність, яка визначається зручністю підходів до вузла з використанням різних видів транспорту: пішохідного, громадського, індивідуального та вело-транспорту. Забезпечення мінімального часу пересадки та чіткого узгодження маршрутів між видами транспорту дозволяє зменшити загальний час у дорозі пасажирів.

Другим важливим чинником є концентрація пасажиропотоків. ТПВ доцільно розміщувати в місцях, де спостерігається високе скупчення пасажирів — поблизу житлових масивів, ділових центрів, вокзалів, аеропортів та торговельних об'єктів. Це сприяє максимальному завантаженню вузлів і зменшує навантаження на інші сегменти транспортної мережі [18].

Необхідною умовою є наявність достатнього територіального ресурсу для розміщення елементів інфраструктури, таких як посадочні платформи, зони очікування, інформаційні табло, паркувальні місця та об'єкти сервісного обслуговування. Недостатність простору може призвести до перевантаження вузла і зниження рівня обслуговування.

Критичне значення має також інтеграція з генеральним планом розвитку міста. Вибір місця розташування ТПВ має бути скоординований з іншими урбаністичними та транспортними стратегіями. Це дозволяє врахувати майбутній розвиток прилеглих територій та можливість масштабування вузла в перспективі.

Серед екологічних та соціальних чинників слід виділити вплив на навколишнє середовище (шум, забруднення) та прийнятність для місцевого населення. Правильно розташований ТПВ повинен бути безпечним і комфортним, без створення соціального напруження.

Останнім, але не менш важливим критерієм є економічна доцільність. Вибір повинен базуватися на співвідношенні вартості реалізації проекту та потенційних вигод для міста й пасажирів. Оцінюються витрати на будівництво, експлуатацію та очікуваний економічний ефект від поліпшення транспортного обслуговування[36].

Таким чином, вибір місця розташування ТПВ повинен бути багатофакторним процесом, який враховує як техніко-економічні, так і соціально-екологічні аспекти з метою забезпечення стійкого розвитку міської транспортної системи.

На рисунку 2.1 зображена діаграма, що ілюструє компоненти транспортно-транзитного вузла. До компонентів входять: транспорт та його інфраструктура, громадська зона(громадські місця що знаходяться поруч або взаємодіють з хабом) та супутні послуги (бізнес послуги, малий та середній бізнес що діє біля транспортного хабу).

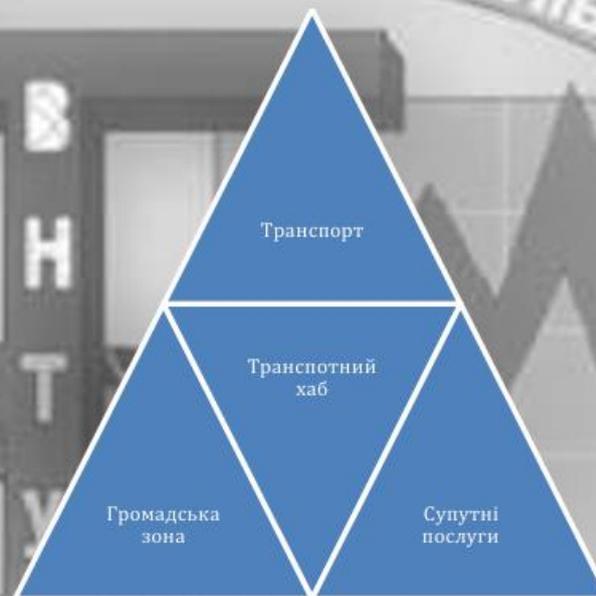


Рисунок 2.1 – Діаграма ілюстрації компонентів транспортно-транзитного вузла.

2.4 Проблеми та недоліки функціонування сучасних ТПВ

Функціонування міських транспортно-пересадкових вузлів в Україні супроводжується низкою проблем, які негативно впливають на ефективність транспортної системи та комфорт пасажирів. На рисунку 2.3 зображено список основних проблем функціонування сучасних ТПВ.



Рисунок 2.2 – Основні проблеми функціонування сучасних ТПВ

Багато з транспортно-пересадкових вузлів в українських містах працюють не ефективно через те, що застаріла інфраструктура не відповідає сучасним вимогам. Зокрема, зупинки громадського транспорту часто не обладнані інформаційними табло, навісами чи зручними місцями для сидіння. Відсутність адаптації для маломобільних груп населення, таких як пандуси чи ліфти, ускладнює доступ до транспорту. Ці фактори знижують привабливість громадського транспорту та спонукають мешканців віддавати перевагу приватним автомобілям.

У багатьох містах України відсутня ефективна координація між різними видами транспорту, такими як автобуси, трамваї, тролейбуси та метрополітен,

приміські потяги. Невідповідність розкладів руху та віддаленість пересадкових пунктів призводять до тривалих пересадок і незручностей для пасажирів.

Зростання кількості приватних автомобілів спричиняє перевантаженість міських доріг і транспортних вузлів. Це особливо помітно в години пік, коли громадський транспорт затримується в заторах, що знижує його надійність і привабливість. У Чернігові, наприклад, проблема заторів є однією з основних причин невдоволення мешканців роботою громадського транспорту[6]

Інфраструктура для велосипедистів та пішоходів у багатьох містах залишається нерозвиненою. Відсутність велодоріжок, велопарковок та безпечних пішохідних зон обмежує використання цих екологічно чистих видів транспорту. У Києві, наприклад, кількість велодоріжок є недостатньою для забезпечення комфортного та безпечного пересування велосипедистів[23].

Вирішення цих проблем потребує комплексного підходу, що включає модернізацію інфраструктури, покращення інтеграції між видами транспорту, стимулювання використання екологічно чистих видів транспорту та впровадження сучасних технологій управління транспортними потоками.

2.5 Цільова функція оптимального розміщення зупинок громадського транспорту на ТПВ

Рациональне планування розміщення зупинок сприяє скороченню часу на поїздку, покращує умови для пересадок між різними видами транспорту та зменшує навантаження на транспортну інфраструктуру. Таким чином, вдосконалення схеми розташування зупинок підвищує рівень пасажирського обслуговування і водночас сприяє створенню більш сталого, зручного й ефективного міського транспортного середовища. Навпаки, хаотичне або невдале розміщення зупинок може спричинити затримки при пересадках, перевантаження пішохідних зон і зниження якості транспортних послуг.

Для розв'язання цієї проблеми доцільно застосовувати формалізований підхід – розробку цільової функції, яка кількісно оцінює ефективність певної

конфігурації зупинок. Такий підхід дає змогу не лише порівнювати альтернативні варіанти розміщення, а й знаходити оптимальне рішення, що зменшує витрати часу та зусиль пасажирів під час пересадок.

Одним із підходів до дослідження цього питання є використання діаграми Вороного [34]. Цей метод дозволяє поділити територію на зони обслуговування, у яких кожна зупинка покриває найближчі до неї точки. Такий підхід сприяє ефективному розміщенню зупинок з метою забезпечення рівномірного охоплення території та зручних умов для пересадок.

У цьому описі представлено математичну модель цільової функції, що враховує як відстані між зупинками, так і інтенсивність пересадкових потоків. Задача належить до класу задач оптимального розміщення об'єктів (FacilityLocationProblems) та адаптована до особливостей функціонування міського громадського транспорту [29]. Запропонована цільова функція спрямована на мінімізацію загальної вартості пересадок, де вартість визначається як добуток відстані між зупинками на перехрестях та кількості пасажирів, що здійснюють пересадку[16]. Формалізоване подання цільової функції наведено у формулі 1.2.

$$\min \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^A I_{ij} d(s_i, s_j) \quad (1.2)$$

Де,

- T - Кількість зупинок одного виду транспорту (наприклад, трамвай);
- A – Кількість зупинок іншого виду транспорту (наприклад, автобус).
- s_i – Координати зупинки i i -го типу (напр., трамвайної).
- s_j – Координати зупинки j j -го типу (напр., автобусної).
- $d(s_i, s_j)$ – Відстань між зупинками s_i і s_j .
- I_{ij} – Вага: інтенсивність пересадки з i і на j j (часто — кількість пасажирів).

Дана цільова функція мінімізується сумарна відстань між зупинками різних видів транспорту. Але окрім відстані доцільно вивести цільову функцію в час, який витрачає на пересадку. Тому удосконалена функція враховує середній час проходження між зупинками:

$$F = \sum_{i,j} I_{i,j} \cdot t_{i,j} \quad (1.3)$$

де:

- $t_{i,j}$ — очікуваний час пересадки з виду транспорту i на j ;
- $\omega_{i,j}$ — інтенсивність пересадок.

Переваги цільової функції щодо часу полягає у тому що ця функція враховує часові перепони(світлофори, пішохідні переходи, тощо) та інші показники часу під час пересадки.

Окрім таких показників як час та відстань існують наступні фактори які мають значення при виконанні пересадок. До таких факторів можна віднести:

- Доступність для людей з обмеженими можливостями;
- Бар'єри, огороження;
- Освітлення;
- Стан пішохідного покриття та зупинок;

Враховуючи подібні фактори можна зобразити мультикритеріальну функцію у вигляді формули:

$$F = \sum_{i,j} I_{i,j} \cdot (\lambda_1 t_{ij} + \lambda_2 b_{ij} + \lambda_3 s_{ij}) \quad (1.4)$$

Де:

b_{ij} - індексбар'єрності;

s_{ij} - індекс стану пішохідного покриття;

λ_n — ваги відповідних коефіцієнтів;

Раціональне розміщення зупинок громадського транспорту на перехрестях відіграє ключову роль у підвищенні ефективності функціонування

міської транспортної системи. Використання цільових функцій, які враховують відстані між зупинками та пасажиропотоки, дає змогу формалізувати процес ухвалення рішень та визначити оптимальні точки розміщення зупинок з метою мінімізації часу, витраченого на пересадки. Застосування просторових моделей, зокрема діаграм Вороного, дозволяє поглибити аналіз і забезпечити більш рівномірне покриття території транспортною інфраструктурою.

2.6 Математична модель для оптимального розміщення автобусних зупинок

Розміщення автобусних зупинок, які забезпечують пересадки на метро, має ключове значення для підвищення ефективності та якості автобусних перевезень. У дослідженні “OptimalLocationsofBusStopsConnectingSubwaysnearUrbanIntersections” [35] з публікації в *MathematicalProblemsinEngineering* запропоновано багатоцільову модель оптимізації, що враховує сумарну відстань, яку долають пасажирі, затримки автотранспорту на перехрестях та час руху автобусів між сусідніми перехрестями. Запропонована модель є доступною та ефективною для визначення оптимального розташування зупинок і підтверджена емпіричним дослідженням на прикладі зупинки поблизу Січжіменя в Пекіні.

Математична модель для оптимального розміщення автобусних зупинок поблизу перехресть, які забезпечують пересадку на метро, з урахуванням:

- мінімізації загальної відстані пішоходів до зупинок;
- мінімізації затримок автомобілів на перехрестях;
- мінімізації часу руху автобусів між зупинками.

Запропонована модель є багатокритеріальною оптимізаційною задачею з трьома цільовими функціями:

1. Функція мінімізації загальної відстані пішоходів до зупинок у форматі формули має наступний вигляд:

$$\min Z_1 = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot d_i \quad (1.5)$$

- ω_i – вага (кількість пасажирів) на маршруті i ;
- d_i – відстань пішоходів до зупинки на маршруті i .

2. Функція мінімізації затримок автомобілів на перехрестях у форматі формули має наступний вигляд:

$$\min Z_2 = \sum_{j=1}^m v_j \cdot t_j \quad (1.6)$$

- v_j – інтенсивність потоку автомобілів на перехресті j ;
- t_j – затримка автомобілів на перехресті j .

3. Функція мінімізації руху автобусів між зупинками:

$$\min Z_3 = \sum_{k=1}^p u_k \cdot s_k \quad (1.7)$$

- u_k – кількість автобусів на маршруті k ;
- s_k – час руху автобусів між зупинками на маршруті k .

Щоб покращити запропоновану модель оптимального розміщення зупинок громадського транспорту поблизу перехресть, було введено додаткову цільову функцію — "мінімізація часу пересадки". Ця функція враховує реальний час, який витрачає пасажир на перехід між автобусною зупинкою та входом до станції метро, з урахуванням часу ходьби, затримок на світлофорах та архітектурних перешкод. Її інтеграція до загальної багатокритеріальної моделі дозволяє точніше відобразити умови пересадки, підвищуючи зручність та ефективність транспортного вузла.

Нехай:

T_{ij} – це час, який потрібен пасажирові, щоб пройти від зупинки i до зупинки або станції j ; може включати час проходження від i до j , світлофори, бар'єри (огорожі, зелені насадження, тощо).

P_{ij} – кількість пасажирів, які роблять таку пересадку між парами (i, j) .

ω_i - ваговий коефіцієнт (наприклад, частота або важливість цієї пари у загальній мережі).

$$\min Z_4 = \sum_i \sum_j \omega_i \cdot P_{ij} \cdot T_{ij} \quad (1.8)$$

Ці пари (i,j) формують матрицю пересадок, яка показує всі можливі комбінації між зупинками громадського транспорту й входами до станцій метро поблизу перехресть. Оптимізація за цими парами дозволяє зменшити середній або сумарний час пересадки пасажирів.

Шляхом інтеграції четвертої цільової функції Z_4 в модель, отримуємо єдину модель у вигляді формули:

$$m = \alpha Z_1 + \beta Z_2 + \gamma Z_3 + \sigma Z_4 \quad (1.9)$$

де $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ — коефіцієнти ваги, що визначають важливість кожної складової.

Висновки до розділу 2

У ході аналізу проблематики функціонування транспортно-пересадкових вузлів (ТПВ), зокрема міських, виявлено низку актуальних викликів, що значною мірою знижують ефективність міської мобільності та комфорт пасажирів. Застаріла інфраструктура, погана інтеграція між видами транспорту, перевантаження, затори та екологічні загрози — усе це формує негативний образ сучасного ТПВ в українських містах. Особливо критичною є ситуація з відсутністю належного просторового планування пересадочних вузлів, що ускладнює швидку та зручну пересадку для пасажирів.

Суттєвою проблемою залишається недостатня адаптація інфраструктури до потреб маломобільних груп населення, а також повільна інтеграція цифрових сервісів та систем управління транспортними потоками. Крім того, виклики безпеки, які загострилися у зв'язку з воєнними діями, вимагають комплексного перегляду підходів до проектування й експлуатації ТПВ, з урахуванням як фізичних, так і логістичних аспектів.

Запропонована мультикритеріальна модель оптимального розміщення зупинок громадського транспорту поблизу міських перехресть дозволяє комплексно врахувати ключові аспекти функціонування транспортної системи, включаючи зручність пасажирів, ефективність руху транспорту та вплив на автомобільний трафік. Додавання цільової функції мінімізації часу пересадки між автобусами і метро підвищує реалістичність моделі та орієнтованість на потреби користувачів. Такий підхід сприяє створенню комфортніших та більш функціональних пересадкових вузлів, а також дає змогу адаптувати транспортну інфраструктуру до умов сучасного міста.



3 ПРАКТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДКОВИХ ВУЗЛІВ

3.1 Загальна характеристика транспортно-пересадкових вузлів

Перехрестя вулиць 600-річчя та Келецької у Вінниці є одним із ключових транспортних вузлів міста, розташованим у найбільш населеному районі — "Вишенька". Тут організовано світлофорне регулювання, що дозволяє ефективно керувати рухом транспорту й пішоходів. Завдяки світлофорам вдається впорядковувати транспортний потік, проте у години пік через значну інтенсивність руху можуть виникати затримки та затори [3].

Через це перехрестя проходить велика кількість маршрутів громадського транспорту, що підкреслює його важливість у транспортній системі Вінниці:

- 3 трамвайних маршрути;
- 9 тролейбусних маршрутів;
- 4 автобусних маршрути;
- 2 маршрути маршрутних таксі.

Рух громадського транспорту здійснюється обома вулицями: по Келецькій курсують усі види транспорту, тоді як по вулиці 600-річчя — лише муніципальні автобуси та маршрутні таксі.

У безпосередній близькості до перехрестя розташовано шість зупинок громадського транспорту, що забезпечує зручні пересадки між різними маршрутами. Частина зупинок є об'єднаними для різних видів транспорту, наприклад для тролейбусів і автобусів або автобусів і маршруток.

На початку 2025 року одну із зупинок на перехресті було оновлено: встановили нові павільйони та касельські бордюри, що дозволяє тролейбусам і автобусам зупинятися максимально близько до бордюру.

Попри стабільну роботу інфраструктури, в районі перехрестя спостерігаються деякі проблеми, що впливають на зручність пасажирів та функціонування транспорту:

- Значне навантаження через великий обсяг приватного транспорту, особливо в години пік, що призводить до відставання громадського транспорту від графіка;
- Накопичення пасажирів на зупинках у пікові періоди через високий пасажиропотік.

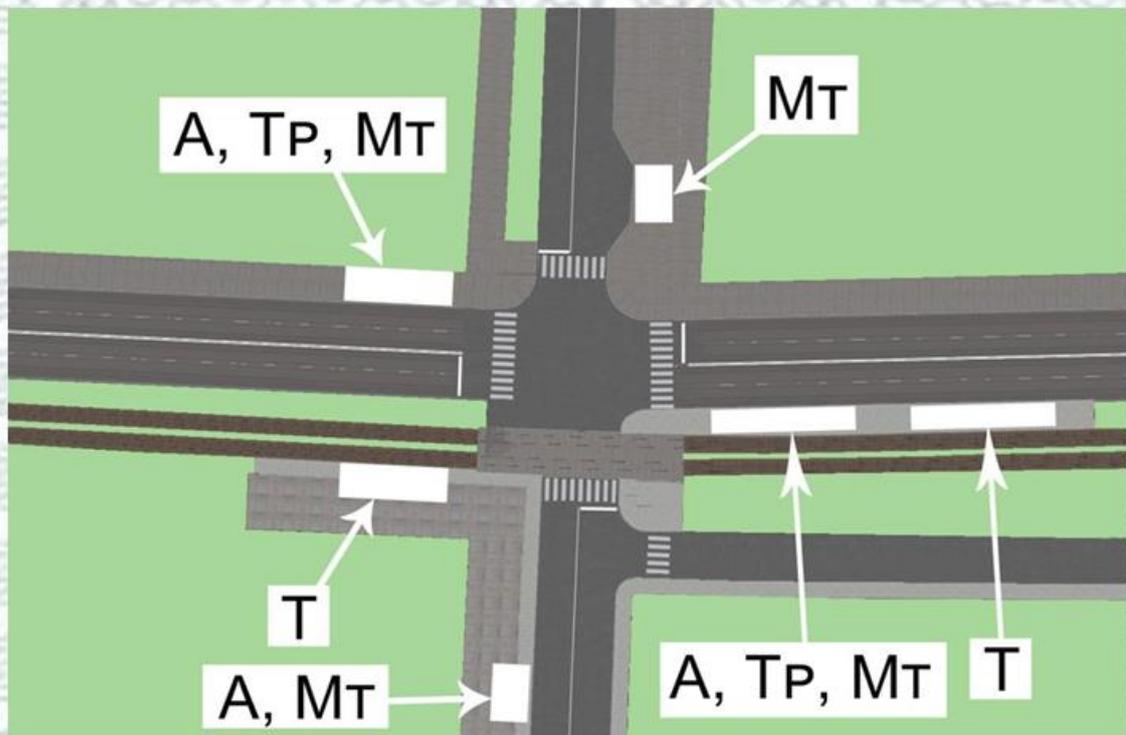


Рисунок 3.1 – Загальна схема розташування зупинок на перехресті

Перехрестя вулиці Келецької та проспекту Юності також є одним із ключових транспортних вузлів у районі — "Вишенька". Тут організовано світлофорне регулювання, що також дозволяє ефективно керувати рухом транспорту й пішоходів. Завдяки світлофорам вдається впорядковувати транспортний потік. Кожна зі проїжджих частин перехрестя має по 3 смуги руху.

Через це перехрестя проходить певна кількість маршрутів громадського транспорту, що підкреслює його важливість у транспортній системі Вінниці:

- 3 трамвайних маршрути;
- 9 тролейбусних маршрутів;
- 6 автобусних маршрути;

- 5 маршрутів маршрутних таксі.

Рух громадського транспорту здійснюється обома вулицями: по Келецькій курсують усі види транспорту, тоді як по проспекту Юності — лише муніципальні автобуси та маршрутні таксі.

У безпосередній близькості до перехрестя розташовано шість зупинок громадського транспорту, що забезпечує пересадки між різними маршрутами. Частина зупинок є об'єднаними для різних видів транспорту, наприклад для тролейбусів і автобусів або автобусів і маршрутних таксі.

Попри стабільну роботу інфраструктури даного перехрестя, в районі спостерігаються деякі проблеми, що впливають на зручність пасажирів та функціонування транспорту:

- Заїзди та другорядні проїзди та провулки (заїзд на паркінг ТРЦ, заїзд до закладу громадського харчування, тощо);
- Накопичення пасажирів на зупинках у пікові періоди через високий пасажиропотік;
- Не вдале розташування зупинок відносно перехрестя та маршрутної мережі міста.

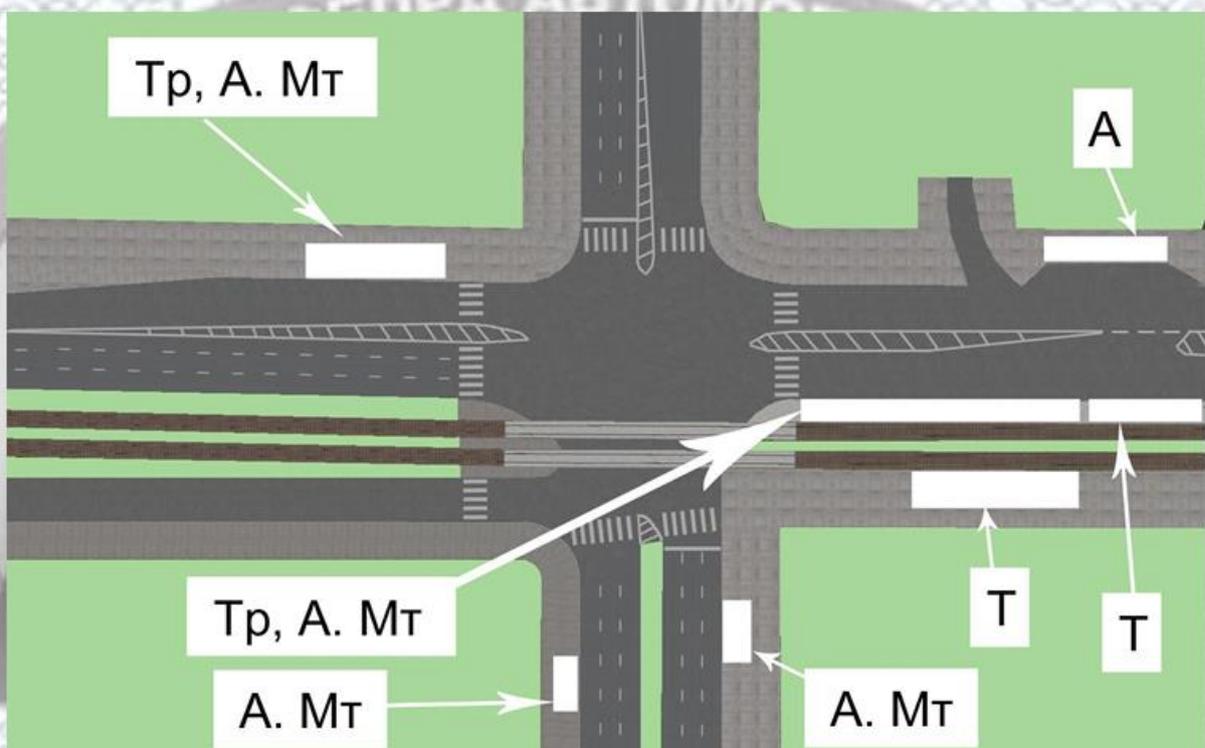


Рисунок 3.2 – Загальна схема розташування зупинок на перехресті

Перехрестя вулиці академіка Янгеля та вулиці Замостянської відноситься до одних з основних перехресь у районі “Замостя”. Як і на минулих перехрестях, тут організовано світлофорне регулювання. Завдяки світлофорам вдається впорядковувати транспортний потік. Вулиця Замостянська має компонування бульварного типу, а частина вулиці академіка Янгеля має односторонній рух по одну з сторін перехрестя.

Через це перехрестя проходить певна кількість маршрутів громадського транспорту, що також підкреслює його важливість у транспортній системі Вінниці:

- 3 трамвайних маршрути;
- 3 тролейбусних маршрутів;
- автобусні маршрути відсутні;
- 4 маршрутів маршрутних таксі.

Хоча рух муніципальних автобусів відсутній на даному перехресті, під час ремонтів сусідніх вулиць деякі маршрути муніципальних автобусів певний час працюють через дане перехрестя.

У безпосередній близькості до перехрестя розташовано п'ять зупинок громадського транспорту, що забезпечує пересадки між різними маршрутами.

Попри стабільну роботу інфраструктури даного перехрестя, в районі спостерігаються проблеми, що впливають на зручність пасажирів та функціонування транспорту:

- Не зовсім вдале розташування зупинок відносно перехрестя та маршрутної мережі міста.
- Зупинки деяких видів транспорту (маршрутне таксі / тролейбус) мають окремі визначені місця для посадки та висадки.

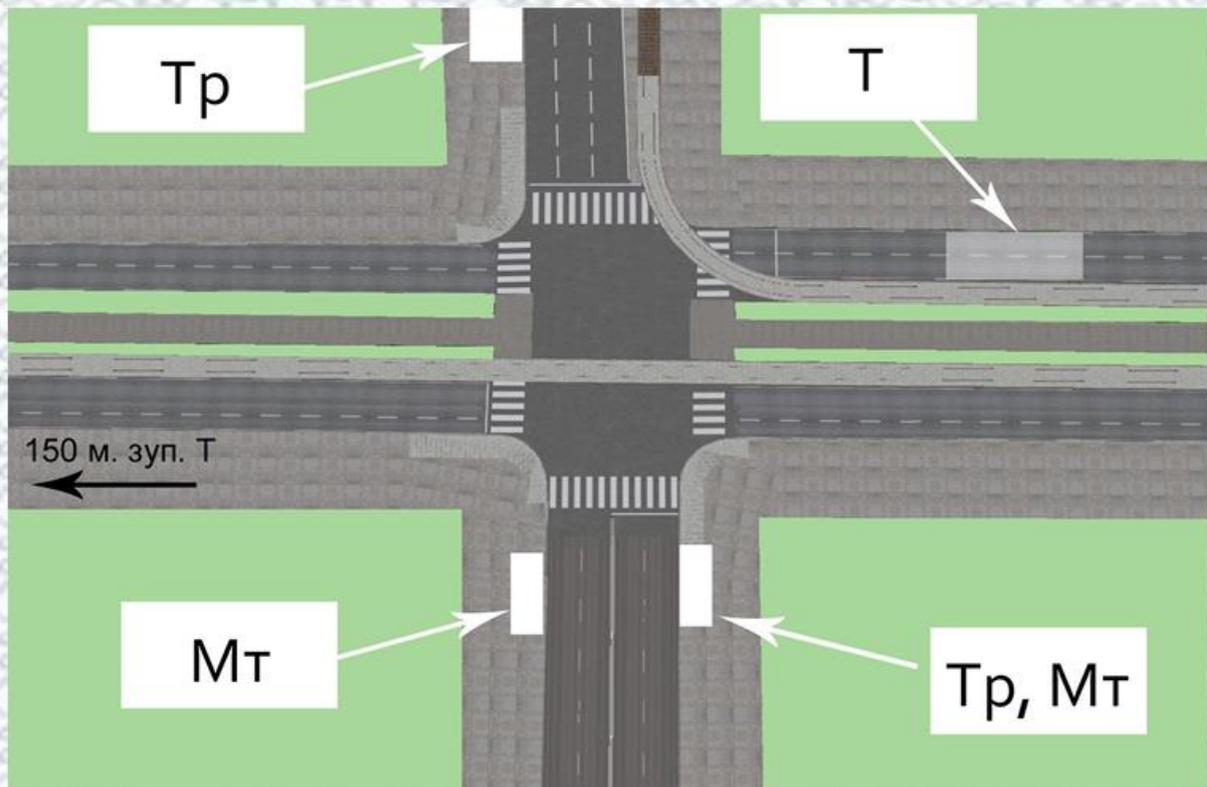


Рисунок 3.3 – Загальна схема розташування зупинок на перехресті

3.2 Статистичні дослідження транспортно-пересадкових вузлів

У межах цього підрозділу здійснено статистичне дослідження функціонування транспортно-пересадкових вузлів, сформованих на базі ключових перехресть вулично-дорожньої мережі. Основна увага приділяється аналізу таких параметрів, як кількість і типи зупинок громадського транспорту, відстані між ними, маршрутне навантаження, напрямки руху, інтенсивність пасажиропотоків, а також рівень забезпеченості інфраструктурою.

Перехрестя розглядаються не лише як місця перетину транспортних потоків, а й як потенційні точки концентрації пересадочних процесів. Завдяки детальному статистичному аналізу можна оцінити ефективність організації ТПВ, виявити проблемні зони для пішохідних пересадок та запропонувати шляхи покращення інтеграції різних видів транспорту.

У таблиці 3.1 наведено узагальнені дані про зупинки громадського транспорту, розташовані в межах перехрестя вулиць 600-річчя та Келецька.

Представлена інформація охоплює тип кожної зупинки відповідно до виду транспорту (трамвайна, автобусна тощо), напрямок руху транспортних засобів, які її обслуговують, а також інтервал руху транспорту у робочий день у період з 08:00 до 20:00. Така деталізація дозволяє оцінити інтенсивність транспортного обслуговування перехрестя, рівень доступності маршрутів та потенціал для здійснення зручних пересадок між різними видами транспорту. Нумерація зупинок відповідає нумерації яка зазначена на рисунку 3.4

Таблиця 3.1 – Дані про зупинки в межах перехрестя вулиць 600-річчя та Келецька

№	Тип транспорту	Напрямок	Інтервал руху
1	Трамвай	Вул. Пирогова	5-12 хвилин
2	Автобус, маршрутне таксі	Вул. А. Первозванного	15-40 хвилин
3	Тролейбус, автобус, маршрутне таксі	Вул. Пирогова	1-5 хвилин
4	Трамвай	Вул. М. Ващука	5-15 хвилин
5	Маршрутне таксі	Хмельницьке шосе	10-35 хвилин
6	Тролейбус, автобус, маршрутне таксі	Вул. М. Ващука	1-5 хвилин

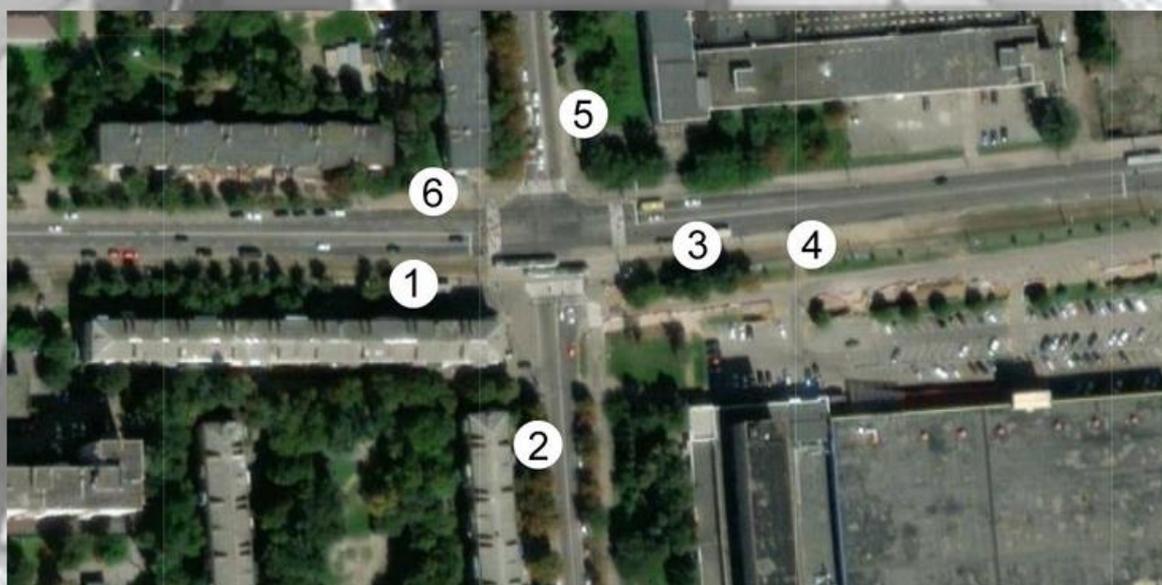


Рисунок 3.4 – Загальна схема розташування та нумерація зупинок на перехресті

Оскільки зупинки, розташовані в межах перехрестя вулиць 600-річчя та Келецька, обслуговують різні напрямки руху транспорту, це створює сприятливі умови для організації пересадок між маршрутами, що прямують у різні частини міста. Така конфігурація дозволяє пасажиром змінювати напрямок поїздки без необхідності додаткових переміщень до віддалених зупинок або пересадочних пунктів. Різноюнаправленість маршрутів підвищує ефективність використання перехрестя як транспортно-пересадкового вузла, тому доцільно саме в межах цього простору планувати й облаштовувати зручні умови для пересадки між різними видами транспорту — автобусами, трамваями, тролейбусами. Це сприятиме скороченню часу пересування, зменшенню навантаження на інші пересадкові пункти та підвищенню загального комфорту для користувачів громадського транспорту.

У таблиці 3.2 проаналізовано дані щодо можливостей пересадки між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя. Окрім фізичної відстані між зупинками, при оцінці зручності пересадки враховувалися також наявність пішохідних переходів, тип дорожнього покриття, необхідність перетину проїжджої частини, наявність бар'єрів (світлофори, огорожі, сходи), а також візуальна доступність зупинок одна відносно одної. Ці чинники суттєво впливають на фактичний час пересадки та комфорт пасажирів, тому їх урахування є важливим при проектуванні ефективного транспортно-пересадкового вузла. Нумерація зупинок відповідає нумерації згідно рисунку 3.4.

Таблиця містить наступну інформацію:

- Зупинка А — початкова зупинка, з якої здійснюється пересадка;
- Зупинка Б — кінцева зупинка, на яку здійснюється пересадка;
- Відстань — фізична відстань між Зупинкою А і Зупинкою Б, виміряна пішохідним маршрутом;
- Час пересадки — орієнтовний час, необхідний пасажиру для переходу від Зупинки А до Зупинки Б, з урахуванням відстані та

інфраструктурних особливостей. Для розрахунку часу було обрано для кожної відстані при середній швидкості людини 1.39 м/с (тобто 5 км/год);

Таблиця 3.2 – Аналіз даних щодо можливості пересадок між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя

Зупинка А	Зупинка Б	Відстань	Час пересадки(хв :сек)	Інфраструктурні перешкоди
1	2	82 м.	~ 0:59	відсутні
1	5	82 м.	~ 0:59– 1:35	Світлофор, пішохідний перехід
3	2	108 м.	~ 1:18 – 1:50	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження
3	5	52 м.	~ 0:37 – 1:08	Світлофор, пішохідний перехід
4	2	155 м.	~1:52– 2:25	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження
4	5	92 м.	~1:06– 1:35	Світлофор, пішохідний перехід
6	2	116 м.	~1:24– 1:55	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження
6	5	62 м.	~ 0:45– 1:15	Світлофор, пішохідний перехід

- Інфраструктурні перешкоди — це елементи міського середовища, які ускладнюють або уповільнюють пересування пішоходів між зупинками громадського транспорту, особливо у межах транспортно-пересадкових вузлів.

Такі перешкоди не завжди є фізично непрохідними, але вони створюють додаткові часові або просторові витрати під час пересадки. Це може бути: світлофори, пішохідні огорожі, сходи, підземні переходи, зелені насадження, клумби, газони, будівельні споруди, кіоски, парканчики.

У таблиці 3.3 подано зведені відомості про зупинки громадського транспорту, розташовані в районі перехрестя вулиці Келецької та проспекту Юності. У ній зазначено тип кожної зупинки відповідно до виду транспорту (трамвайна, автобусна тощо), напрямок руху маршрутів, що її обслуговують, а також інтервал руху в робочі дні з 08:00 до 20:00. Такий рівень деталізації дає змогу проаналізувати інтенсивність транспортного руху на перехресті, доступність маршрутів і можливості для зручної пересадки між різними видами транспорту. Нумерація зупинок відповідає позначенням, наведеним на рисунку 3.5.

Таблиця 3.3 – Дані про зупинки в межах перехрестя вулиці Келецької та проспекту Юності

№	Тип транспорту	Напрямок	Інтервал руху
1	Трамвай	Вул. Пирогова	5-12 хвилин
2	Тролейбус, автобус, маршрутне таксі	Вул. Пирогова	2-8 хвилин
3	Трамвай	Вул. М. Ващука	5-15 хвилин
4	Автобус	Хмельницьке шосе	25-55 хвилин
5	Маршрутне таксі	Хмельницьке шосе	10-35 хвилин
6	Автобус, маршрутне таксі	Вул. А. Первозванного	20-58 хвилин
7	Тролейбус, автобус, маршрутне таксі	Вул. М. Ващука	5-12 хвилин

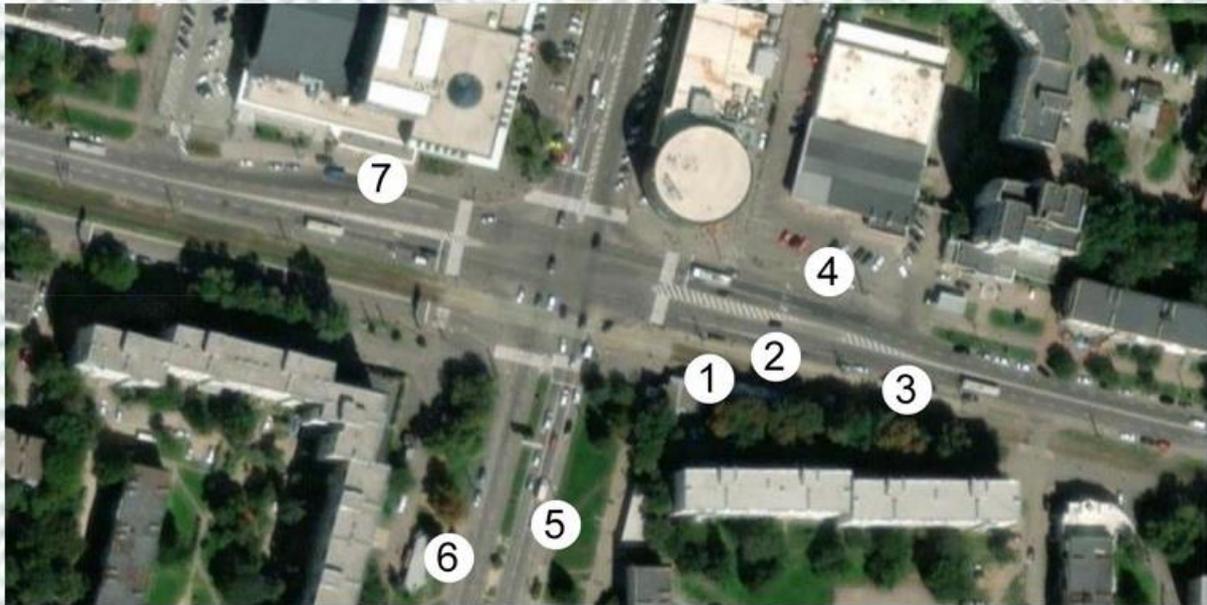


Рисунок 3.5 – Загальна схема розташування та нумерація зупинок на перехресті

У таблиці 3.4 проаналізовано дані щодо можливостей пересадки між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя. Нумерація зупинок відповідає нумерації згідно рисунку 3.4.

Таблиця 3.4 – Аналіз даних щодо можливості пересадок між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя

Зупинка А	Зупинка Б	Відстань	Час пересадки(хв :сек)	Інфраструктурні перешкоди
1	2	3	4	5
1	5	132 м.	~ 1:35	Зелені насадження
1	4	127 м.	~ 1:31 – 1:58	Світлофор, пішохідний перехід, огороження

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
1	6	142 м.	~ 1:42– 2:03	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження, велосмуга
3	5	182 м.	~ 2:11	Зелені насадження
3	4	158м.	~1:52– 2:25	Світлофор, пішохідний перехід, огороження
3	6	220м.	~2:38–2:57	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження, велосмуга
7	5	198м.	~2:22–2:47	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження
7	4	114 м.	~ 1:22 - 1:45	Світлофор, пішохідний перехід, огороження
7	6	127 м.	~ 1:31 - 1:55	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження

Таблиця 3.5 містить узагальнену інформацію про зупинки громадського транспорту, що знаходяться в межах перехрестя вулиці Академіка Янгеля та вулиці Замостянської. У таблиці вказано тип зупинок за видом транспорту (трамвай, автобус тощо), напрямки руху маршрутів, які проходять через ці зупинки, а також інтервал їх курсування у робочі дні в часовому проміжку з 08:00 до 20:00. Надана інформація дозволяє оцінити рівень транспортного

навантаження на перехресті, доступність маршрутної мережі та потенційні можливості для зручної пересадки між різними видами транспорту. Нумерація зупинок відповідає позначкам, зазначеним на рисунку 3.5.

Таблиця 3.5 – Дані про зупинки в межах перехрестя вулиці Академіка Янгеля та вулиці Замостянської

№	Тип транспорту	Напрямок	Інтервал руху
1	Трамвай	Вул. Батозька	3-12 хвилин
2	Тролейбус	Вул. Київська	15-40 хвилин
3	Маршрутне таксі	Вул. Київська	7-25 хвилин
4	Тролейбус, маршрутне таксі	Вул. Стрілецька / Площа Перемоги	10-35 хвилин
5	Трамвай	Площа Перемоги	3-13 хвилин
6	Трамвай	Площа Перемоги	3-13 хвилин



Рисунок 3.6 – Загальна схема розташування та нумерація зупинок на перехресті

Варто зазначити що поряд з перехрестям знаходяться дві послідовні зупинки трамвая, маршрути яких направлені в напрямку площі Перемоги. Від

перехрестя до трамвайної зупинки №5 (ПМ Зоря) відстань 164 м., а до зупинки №6 (вул. Академіка Янгеля) 138 м.

У таблиці 3.6 проаналізовано дані щодо можливостей пересадки між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя. Нумерація зупинок відповідає нумерації згідно рисунку 3.5.

Таблиця 3.6 – Аналіз даних щодо можливості пересадок між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя

Зупинка А	Зупинка Б	Відстань	Час пересадки(хв:сек)	Інфраструктурні перешкоди
1	3	109 м.	~ 1:18	Світлофор, пішохідний перехід
2	5	248 м.	~ 2:58 – 3:30	Світлофор, пішохідний перехід
2	6	246 м.	~ 2:57– 3:58	Світлофор, пішохідні переходи
4	5	202м.	~ 2:25 – 2:49	Світлофор, пішохідний перехід
4	6	156м.	~1:52–1:58	Нерегульований пішохідний перехід
5	3	187м.	~ 2:15	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження, велосмуга
6	3	201 м.	~ 2:25 - 2:45	Світлофор, пішохідні переходи

3.3 Дослідження середнього часу пересадки на обраних транспортно-пересадкових вузлах

У розділі 3.2 було досліджено та отримано часові показники пересадки між зупинками на обраних перехрестях. Щоб визначити середній час пересадки по кожному перехрестю приведемо середній час пересадки на перехресті у вигляді формули:

$$t_c = \frac{\left(\frac{t_{a1}+t_{a2}}{2}\right) + \left(\frac{t_{b1}+t_{b2}}{2}\right) + \dots + \left(\frac{t_{zn}+t_{zn}}{2}\right)}{n} \quad (1.9)$$

Де,

t_{a1}, t_{a2} – часовий проміжок виконання пересадки між різними зупинками.

n – кількість пересадок які можна виконати на окремому перехресті.

В таблиці 3.7 записано середній час пересадки по кожному з обраних перехресть. Розрахунок виконувався на основі даних розділу 3.2.

Таблиця 3.7 – Середній час виконання пересадки по окремим перехрестям

Перехрестя	Середній час
Перехрестя вулиці Келецької та вулиці 600-річчя	1 хв 21 сек (81.25 сек)
Перехрестя вулиці Келецької та проспекту Юності	2 хв. (120.19 сек.)
Перехрестя вулиці Академіка Янгеля та вулиці Замостянської	2 хв. 29сек. (148.79сек.)

Висновки до розділу 3

У результаті проведеного статистичного аналізу транспортно-пересадкових вузлів, розташованих на ключових перехрестях вулично-дорожньої мережі, встановлено, що ефективність їх функціонування значною мірою залежить від структури маршрутної мережі, інтенсивності пасажиропотоків та рівня інфраструктурного забезпечення.

Особливу увагу приділено перехрестям вулиць 600-річчя та Келецької, вулиці Келецьката проспекту Юності та вулиці Замостянської та вулиці Академіка Янгеля, де завдяки різноспрямованим маршрутам створюються сприятливі умови для зручних пересадок між трамваями, автобусами та

тролейбусами без потреби у значних переміщеннях. Аналіз показав, що фізична доступність зупинок, наявність безпечних переходів, комфортність пішохідного середовища та візуальна орієнтація мають вирішальне значення для мінімізації часу пересадки і підвищення зручності користування громадським транспортом.

У дослідженні було вивчено типи зупинок громадського транспорту, які вони обслуговують, а також наведено інтервали руху різних видів транспорту. Проведено аналіз даних щодо можливості пересадок між зупинками різних видів транспорту в межах кожного перехрестя. Крім того, розраховано середній час пересадки по окремих перехрестях, що дозволило оцінити ефективність організації транспортно-пересадкових вузлів і запропонувати заходи для покращення інтеграції маршрутів та комфорту пасажирів.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації існуючих ТПВ, підвищення їх інтегрованості та якості обслуговування пасажирів у межах міської транспортної системи.



4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗМІЩЕННЯ ЗУПИНОК ТРАНСПОРТУ НА ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДКОВИХ ВУЗЛАХ

4.1 Аналіз даних про пересадки на досліджуваних перехрестях

У розділі 3 було проведено збір даних щодо можливостей пересадки між зупинками громадського транспорту, розташованими в межах обраних перехресть. Метою дослідження є визначення зручності пересадки, оцінка часових витрат для пішоходів та виявлення факторів, які впливають на ефективність функціонування транспортно-пересадкових вузлів.

Аналіз ґрунтується на кількох ключових показниках. Перш за все, визначено пари зупинок (Зупинка А → Зупинка В), між якими найчастіше здійснюється пересадка. Для кожної такої пари зафіксовано відстань пішохідного маршруту, що сполучає їх, та орієнтовний час пересадки, який враховує не лише фізичну відстань, а й інфраструктурні перешкоди. До останніх віднесено: наявність світлофорів, пішохідних огорож, сходів, зелених насаджень, а також умови тротуарного покриття, які можуть ускладнювати або сповільнювати рух пасажирів.

У рамках дослідження було також створено схеми перехресть із розміщенням зупинок громадського транспорту, що дозволяє наочно оцінити їхню просторову організацію. Для цього використано супутникові знімки місцевості, а також цифрові карти, на основі яких сформовано графічні плани. Окрім розташування зупинок, на схемах відображено елементи дорожньої інфраструктури, зокрема дорожню розмітку, пішохідні переходи, острівці безпеки, що дає змогу глибше проаналізувати зручність та безпечність пересадок у межах транспортно-пересадкових вузлів.

Крім того, було здійснено заміри інтервалів руху транспорту на кожній із зупинок у години пікового навантаження (з 8:00 до 20:00), що дозволило оцінити частоту обслуговування пасажирів та потенційні очікування на

пересадку. Це забезпечує комплексне уявлення про динаміку функціонування кожного транспортного вузла.

На основі зібраних даних розраховано середній час пересадки для трьох ключових перехресть, які розглядаються у межах дослідження:

- Перехрестя вулиці Келецької та вулиці 600-річчя — середній час пересадки становить 1 хвилина 21 секунда (81.25 секунди). Це найкращий показник серед обраних вузлів, що зумовлено компактним розташуванням зупинок і мінімальними перешкодами.
- Перехрестя вулиці Келецької та проспекту Юності — середній час пересадки складає 2 хвилини (120.19 секунд). Порівняно триваліший час пояснюється наявністю регульованих переходів і складнішою організацією зупинок на діагональних напрямках. Також площа самого перехрестя є більшою у порівнянні з попереднім.
- Перехрестя вулиці Академіка Янгеля та вулиці Замостянської — середній час пересадки зафіксовано на рівні 1 хвилина 25 секунд (84.57 секунд). Основними обмеженнями тут є розірваність зупинок у просторі та необхідність перетину кількох пішохідних зон. Також трамвайної зупинки біля перехрестя в напрямку центру міста немає.

Зазначені результати свідчать про те, що фактори просторової організації зупинок, доступності пішохідних маршрутів та наявності інфраструктурних перешкод істотно впливають на зручність пересадки. Це має бути враховано при подальшому проектуванні або реконструкції транспортних вузлів із метою скорочення часу пересадки та підвищення привабливості громадського транспорту.

4.2 Недолікитаваріанти покращення розміщення зупинок на перехрестях

Ефективність транспортно-пересадкових вузлів значною мірою залежить від просторової організації зупинок та умов здійснення пересадок між різними

маршрутами й видами транспорту. У межах дослідження було виявлено низку характерних недоліків, які суттєво впливають на зручність, безпеку та швидкість пересадки пасажирів на ключових перехрестях міста.

Ці проблеми охоплюють як просторові та інфраструктурні бар'єри, так і планувальні помилки, пов'язані з розміщенням зупинок, відсутністю чіткої навігації та незадовільною пішохідною доступністю. Особливої уваги потребують умови для маломобільних груп населення, а також узгодженість напрямків руху транспорту на суміжних зупинках.

До основних недоліків згідно тематики можна віднести:

- Зупинки розташовані на значній відстані одна від одної, часто — на протилежних боках перехрестя, що ускладнює швидку пересадку;
- Немає чітко визначених місць пересадки між видами транспорту, зокрема між автобусами, трамваями та троллейбусами;
- Зупинки різних маршрутів розташовані під різними напрямками руху, тому пересадка іноді потребує перетину кількох проїжджих частин;
- Світлофори з довгим циклом очікування, особливо у години пік;
- Пішохідні огорожі, які змушують пасажирів робити обхід.

У межах подальшого аналізу запропоновано варіант оптимізації розміщення зупинок громадського транспорту на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецької. Це одне з найбільш завантажених транспортних перехресть міста, яке обслуговує значну кількість пасажиропотоків щоденно. На основі виявлених недоліків, аналізу часу пересадки, типів маршрутів і напрямків руху, сформульовано конкретну пропозицію, яка спрямована на покращення зручності пересадки, зменшення часу переходу між зупинками, а також підвищення загальної ефективності функціонування цього транспортного вузла. У розділі 3.2 детально проаналізовано досліджуване перехрестя, зокрема на рисунку 3.4 зображено актуальну схему розміщення зупинок громадського транспорту. Очевидно, що зупинка №2 на рисунку 3.4 віддалена від перехрестя що є причиною не досить зручної пересадки між

видами транспорту та потоками громадського транспорту. На рисунку 4.1 представлено схему з пропозицією перенесення зупинки ближче до перехрестя з метою скорочення відстані для пересадки та покращення зручності для пасажирів. Перенесену зупинку виділено жовтим кольором.

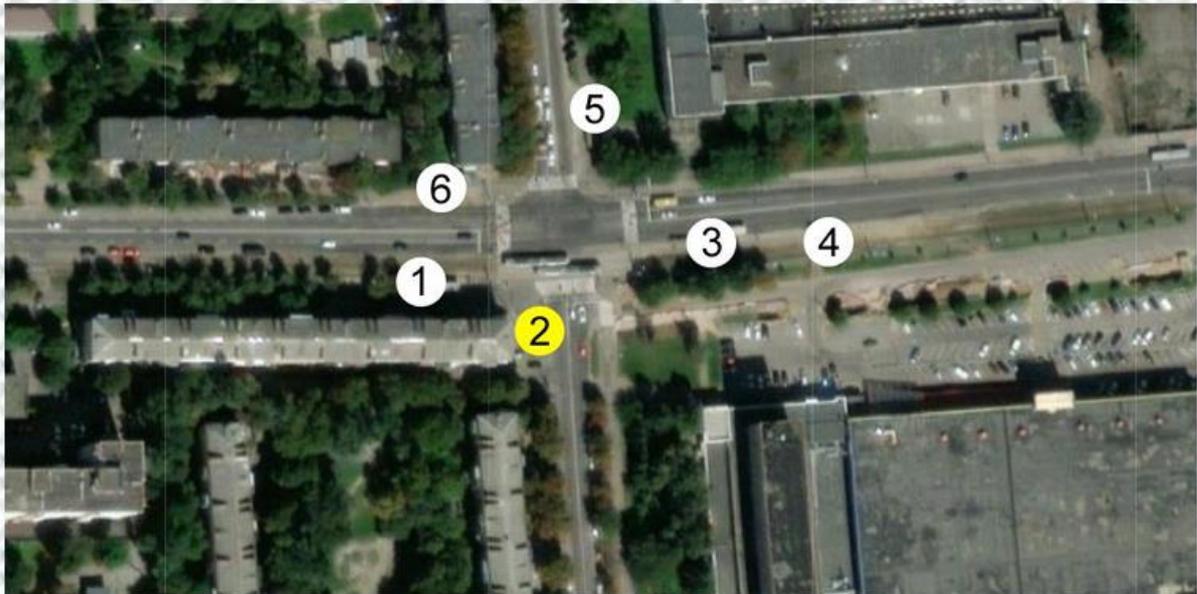


Рисунок 4.1 – Схема-пропозиція розташування зупинок на перехресті вул. 600-річчя та вул. Келецька

У межах дослідження окрему увагу було приділено перехрестю вулиці Келецької та проспекту Юності, яке є важливим вузлом перетину маршрутів громадського транспорту. Аналіз показав, що існуюча організація зупинок створює низку незручностей для пасажирів, зокрема значні відстані між зупинками, неузгодженість напрямків руху та складність пересадки між різними видами транспорту. На основі зібраних даних та просторового аналізу було розроблено варіант оптимізації розміщення зупинок, спрямований на зменшення часу пересадки, підвищення безпеки пішоходів та покращення доступності транспортної інфраструктури на даному перехресті.

Під час аналізу перехрестя у розділі 3 стало очевидно, що зупинки №4 та №5 на рисунку 3.5 обслуговують маршрути транспорту які рухаються в одному напрямку (в сторону Хмельницького шосе). На рисунку 4.2 запропоновано

варіант об'єднання зупинок №4 та №5 в одну спільну зупинку №4, яка розташовується за перехрестям по проспекту Юності в напрямку Хмельницького шосе. Такий підхід дозволяє скоротити відстань для пересадки, уникнути дублювання зупинок поблизу та забезпечити більш зручне пересадкове рішення для пасажирів. Нову зупинку виділено жовтим кольором.

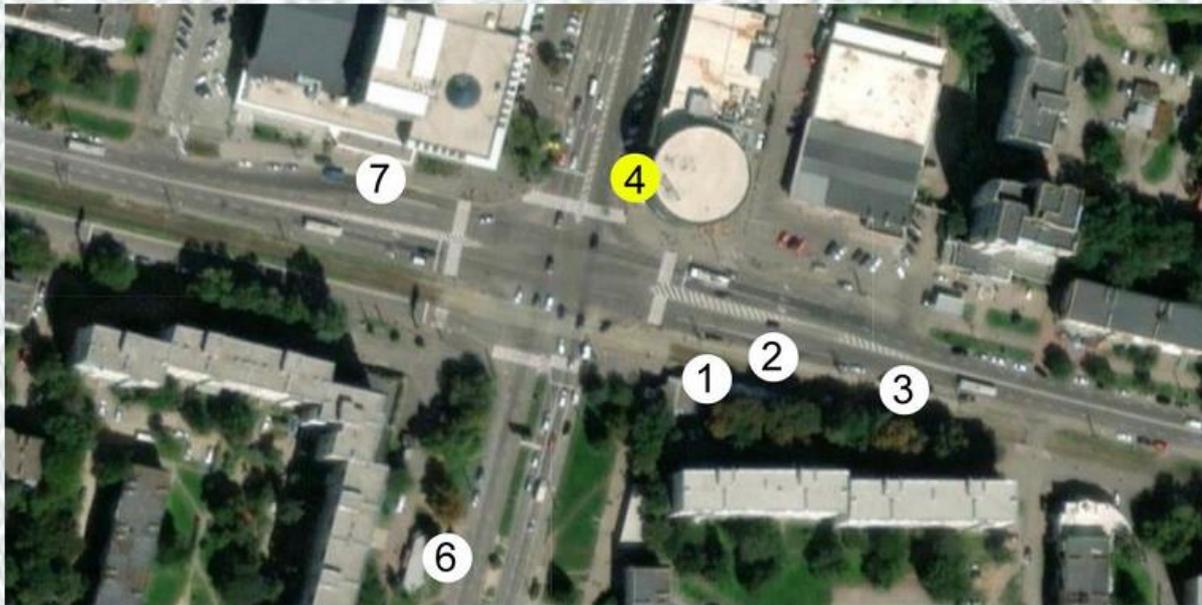


Рисунок 4.2 – Схема-пропозиція розташування зупинок на перехресті вул. Келецька та проспекту Юності

Перехрестя вулиці Замостянської та вулиці Академіка Янгеля є одним із ключових вузлів, де перетинаються маршрути трамваїв, маршрутного таксі та тролейбусів. У процесі дослідження було виявлено низку особливостей, що ускладнюють швидку та зручну пересадку між видами транспорту — зокрема, значну відстань між зупинками, неоднозначну навігацію та розрив напрямків руху. З урахуванням цих факторів було розроблено пропозицію з оптимізації розміщення зупинок, яка передбачає покращення умов пересадки, скорочення часу переходу пішки та підвищення ефективності транспортного обслуговування даного перехрестя.

У ході аналізу перехрестя, проведеного у розділі 3, було встановлено, що зупинки №2 та №3 (див. рисунок 3.6) обслуговують маршрути громадського

транспорту, які прямують в одному напрямку — у бік вулиці Київська. На рисунку 4.3 подано варіант об'єднання цих двох зупинок в одну спільну зупинку №3, розташовану за перехрестям на вулиці Академіка Янгеля. Така пропозиція дає змогу зменшити пішохідну відстань між маршрутами, уникнути зайвого дублювання зупинок поблизу та створити більш зручні умови для пересадки пасажирів. Окрім цього відстань до трамвайних зупинок стає ближче. Нову зупинку виділено жовтим кольором. Така зупинка об'єднана для тролейбусів та маршрутного таксі, пасажирів під час здійснення пересадки або користування громадським транспортом зможуть очікувати обидва види транспорту які рухаються в одному напрямку на єдиній зупинці.



Рисунок 4.3 – Схема-пропозиція розташування зупинок на перехресті вул. Замостянська та вул. Академіка Янгеля

4.3 Аналіз варіантів покращення розміщення зупинок на перехрестях

У розділі 4.3 розглянуто практичні пропозиції щодо вдосконалення просторової організації зупинок громадського транспорту на основі виявлених проблем та статистичних характеристик, наведених у попередніх розділах. Опрацьовуючи зібрані матеріали, а також використовуючи математичні моделі та формули з розділу 3.2, було здійснено перерахунок оновлених показників,

що характеризують умови пересадки на кожному з досліджуваних перехресть. Це дало змогу більш обґрунтовано підійти до формування пропозицій та візуалізації варіантів оптимізації, які сприятимуть підвищенню ефективності транспортно-пересадкових вузлів.

У таблиці 4.1 представлено аналіз умов пересадки між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя вул. 600-річчя та вул. Келецька. Нумерація зупинок у таблиці відповідає оновленій схемі розташування зупинок, зображеній на рисунку 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз даних щодо можливості пересадок між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя

Зупинка А	Зупинка Б	Відстань	Час пересадки(хв:сек)	Інфраструктурні перешкоди
1	2	34 м.	~ 0:25	відсутні
1	5	82 м.	~ 0:59– 1:35	Світлофор, пішохідний перехід
3	2	65 м.	~ 0:47 – 1:19	Світлофор, пішохідний перехід
3	5	52 м.	~ 0:37 – 1:08	Світлофор, пішохідний перехід
4	2	111 м.	~1:20– 1:57	Світлофор, пішохідний перехід
4	5	92 м.	~1:06– 1:35	Світлофор, пішохідний перехід
6	2	67 м.	~0:48– 1:20	Світлофор, пішохідний перехід
6	5	62 м.	~ 0:45– 1:15	Світлофор, пішохідний перехід

У таблиці 4.2 проаналізовано дані щодо можливостей пересадки між зупинками різних видів транспорту в межах вулиці Келецької та проспекту Юності. Нумерація зупинок відповідає нумерації згідно рисунку 4.2.

Таблиця 4.2 – Аналіз даних щодо можливості пересадок між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя

Зупинка А	Зупинка Б	Відстань	Час пересадки (хв:сек)	Інфраструктурні перешкоди
1	4	98 м.	~ 1:11 – 1:32	Світлофор, пішохідний перехід, огороження
1	6	142 м.	~ 1:42– 2:03	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження, велосмуга
3	4	132м.	~1:35– 1:57	Світлофор, пішохідний перехід, огороження
3	6	220м.	~2:38–2:57	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження, велосмуга
7	4	68 м.	~ 0:49 - 1:18	Світлофор, пішохідний перехід, огороження
7	6	127 м.	~ 1:31 - 1:55	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження

У таблиці 4.3 проаналізовано дані щодо можливостей пересадки між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя вулиці Замостянської та вулиці Академіка Янгеля. Нумерація зупинок відповідає нумерації згідно рисунку 4.3.

Таблиця 4.3 – Аналіз даних щодо можливості пересадок між зупинками різних видів транспорту в межах перехрестя

Зупинка А	Зупинка Б	Відстань	Час пересадки (хв:сек)	Інфраструктурні перешкоди
1	3	109 м.	~ 1:18	Світлофор, пішохідний перехід
4	5	202м.	~ 2:25 – 2:49	Світлофор, пішохідний перехід
4	6	156м.	~1:52–1:58	Нерегульований пішохідний перехід
5	3	187м.	~ 2:15	Світлофор, пішохідний перехід, зелені насадження, велосмуга
6	3	201 м.	~ 2:25 - 2:45	Світлофор, пішохідні переходи

У розділі 3.3 було досліджено середній час пересадки на обраних перехрестях. Виходячи з отриманих результатів, для подальших розрахунків використано формулу середнього часу 1.9. Використовуючи цю формулу, обчислено середній час проходження відстаней, поданих у таблицях 4.1, 4.2 та 4.3. Отримані результати зведено до узагальненої таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Середній час виконання пересадки по окремим перехрестям згідно схем пропозицій

Перехрестя	Середній час
вул. Келецької та вул. 600-річчя	1 хв 5 сек (65.06 сек)
вул. Келецької та проспекту Юності	1 хв 46 сек (105.7сек.)
вул. Академіка Янгеля та вул. Замостянської	2 хв. 8сек. (128сек.)

На рисунку 4.4 зображено діаграму середнього часу пересадок на досліджуваних перехрестях. Синім кольором на діаграмі виділено показники середнього часу пересадки на перехрестях у сучасному стані, а червоним кольором середній час згідно пропозицій оптимізації зупинок.



Рисунок 4.4 – Діаграма порівняння середнього часу пересадки на перехрестях

Висновки до розділу 4

У розділі 4 виконано детальний аналіз даних про пересадки на досліджуваних перехрестях. Виявлено існуючі недоліки в організації пересадок та запропоновано варіанти покращення розміщення зупинок на перехрестях для підвищення ефективності пересадки і комфорту пішоходів.

1. Перехрестя вулиці Келецької та вулиці 600-річчя
У розділі 3.3 було досліджено середній час пересадки на обраних перехрестях, зокрема на цьому. Використовуючи формулу середнього часу зі швидкістю 1,39 м/с, було розраховано середній час проходження відстаней, представлених у таблицях 4.1, 4.2 та 4.3, і узагальнено у таблиці 4.4. За реальними даними середній час пересадки становив 1 хв 21 сек (81,25 сек), тоді як після

запровадження змін він знизився до 1 хв 5 сек (65,06 сек). Це свідчить про суттєве покращення умов пересадки і скорочення часу очікування.

2. Перехрестя вулиці Келецької та проспекту Юності
Аналогічно було проведено розрахунки на основі таблиць 4.1–4.3 із використанням формули середнього часу. За реальними вимірюваннями час пересадки був 2 хв (120,19 сек), а після внесених змін — 1 хв 46 сек (105,7 сек). Зниження середнього часу пересадки на приблизно 14 секунд демонструє позитивний вплив змін на пропускну здатність і комфортність пересування.

3. Перехрестя вулиці Академіка Янгеля та вулиці Замостянської
Згідно з даними розділу 4, із застосуванням формули середнього часу і показників із таблиць 4.1–4.3, отримано розрахункові значення. Реальний середній час пересадки тут становив 2 хв 29 сек (148,79 сек), а після запровадження змін він зменшився до 2 хв 8 сек (128 сек). Зниження приблизно на 21 секунду вказує на покращення організації пересадки та скорочення часу очікування.

На основі аналізу середнього часу пересадки з урахуванням розрахунків за формулою та реальних даних (таблиці 4.1–4.4) встановлено, що впроваджені зміни позитивно вплинули на ефективність пересадки на усіх трьох досліджуваних перехрестях. Скорочення середнього часу пересадки сприяє підвищенню комфортності пішоходів і оптимізації руху на перехрестях. Запропоновані у розділі 4 рекомендації щодо розміщення зупинок дозволять додатково покращити організацію пересадок.



ВИСНОВКИ

1. У результаті дослідження діяльності комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» було встановлено, що воно є стратегічним елементом транспортної системи міста Вінниця, який забезпечує перевезення пасажирів трьома основними видами транспорту: трамваями, тролейбусами та автобусами. Підприємство має сучасну маршрутну мережу та оновлений парк рухомого складу, що включає низькопідлогові автобуси, тролейбуси з автономним ходом і модернізовані багатосекційні трамваї. Здійснений аналіз показав, що завдяки модернізації транспортної інфраструктури та впровадженню енергоефективних технологій, КП «ВТК» демонструє високий рівень адаптації до сучасних вимог мобільності населення. Особливу увагу в дослідженні приділено питанню оптимізації кількості зупинок на маршрутах, оскільки саме цей параметр значно впливає на швидкість, комфорт та рентабельність перевезень. Запропоновано підхід до визначення доцільної кількості зупинок із урахуванням щільності забудови, інтенсивності пасажиропотоку та технічних характеристик транспорту, що дозволяє підвищити ефективність функціонування транспортної мережі загалом.

2. У результаті аналізу сучасного стану транспортно-пересадочних вузлів в українських містах, зокрема у міському середовищі, виявлено низку системних проблем, що негативно впливають на ефективність функціонування міського пасажирського транспорту. Застаріла інфраструктура, слабка інтеграція між видами транспорту, недостатнє просторове планування та низький рівень доступності для маломобільних груп населення значно ускладнюють процес пересадки та знижують рівень транспортного комфорту. Особливої актуальності набуває необхідність переосмислення підходів до організації ТПВ в умовах сучасних безпекових викликів та урбаністичних змін. Запропонована мультикритеріальна модель оптимального розміщення зупинок поблизу перехресть дозволяє забезпечити баланс між потребами пасажирів і ефективністю транспортного руху. Формування цільової функції з урахуванням мінімізації часу пересадки забезпечує орієнтацію моделі на практичні потреби користувачів. Це створює підґрунтя для формування сучасної, зручної та

безпечної пересадкової інфраструктури, яка відповідає вимогам мобільності в умовах динамічного розвитку міського середовища.

3. У результаті проведеного статистичного аналізу транспортно-пересадкових вузлів, розташованих на стратегічно важливих перехрестях вулично-дорожньої мережі міста Вінниця, встановлено, що ефективність їх функціонування тісно пов'язана з інфраструктурними характеристиками, організацією маршрутної мережі та інтенсивністю пасажиропотоків. Особливу увагу приділено трьом перехрестям, які мають високий потенціал для здійснення швидких та зручних пересадок між різними видами транспорту без суттєвих переміщень пішки. Результати дослідження підтвердили, що якісне пішохідне середовище, наявність безпечних переходів і зручне розміщення зупинок суттєво впливають на зменшення часу пересадки. У ході аналізу також було досліджено типи зупинок, частоту руху транспорту та надано оцінку середнього часу пересадки, що дало змогу об'єктивно порівняти ефективність різних ТПВ. На основі отриманих результатів сформульовано пропозиції щодо покращення інтеграції маршрутів громадського транспорту та підвищення якості транспортного обслуговування пасажирів у місті.

4. У четвертому розділі було проведено детальний аналіз організації пересадок на трьох ключових перехрестях міста Вінниця, зосереджений на оцінці середнього часу пересадки до і після запровадження змін. За результатами розрахунків, виконаних із використанням формули середнього часу проходження пішоходами заданої відстані, встановлено, що запропоновані варіанти оптимізації розміщення зупинок суттєво покращують зручність пересадок. Зокрема, на перехресті вулиць Келецької та 600-річчя середній час пересадки скоротився з 81 до 65 секунд, на перехресті Келецької та проспекту Юності — зі 120 до 105 секунд, а на перехресті Академіка Янгеля та Замостянської — з 149 до 128 секунд. Така динаміка свідчить про реальне покращення умов для пішоходів та зменшення часу очікування. Отримані результати підтверджують доцільність запропонованих заходів і дають підстави для подальшої інтеграції подібних підходів у планування міської транспортної інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автотранспортне підприємство. ВУЕ. URL: https://vue.gov.ua/Автотранспортне_підприємство?utm_source (дата звернення: 19.03.2025).
2. Великодний Д.О., Вдовиченко В.О. Підвищення ефективності взаємодії міського пасажирського транспорту в пересадочному транспортному вузлі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали ІV міжнародної науково-практичної інтернет конференції, Вінниця: ВНТУ. 15-16 квітня 2016. С. 25-27.
3. Валерій Юрійович Старжинський, Микола Васильович Митко. Оптимізація розташування зупинок громадського транспорту визначеного перехрестя. [Текст] / В. Ю. Старжинський, М. В. Митко // Матеріали LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2025). Вінниця, ВНТУ. 24.03.2025 – 27.03.2025 URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2025/paper/view/23568/19480>
4. Громадський транспорт у Вінниці постійно підтримують у робочому стані. Телеканал ВІТА ТБ – головні новини та події міста Вінниці. URL: <https://vitatv.com.ua/misto/hromadskyy-transport-u-vinnytsi-postiyno> (дата звернення: 25.03.2025).
5. Дослідження трамвайних маршрутів в містах України у 2023 році. Громад. орг. “VisionZero”, 2024. 36 с. URL: <https://enefcities.org.ua/upload/files/Publications/Urban%20Mobility/Trams.pdf> (дата звернення: 19.03.2025).
6. Застарілі маршрутки, затори, розбиті дороги. Проблеми транспорту в Україні – у марафоні Суспільного. Суспільне Чернігів. URL: <https://suspilne.media/chernihiv/142626-zastarili-marsrutki-zatori-rozbiti-dorogi-problemi-transportu-v-ukraini-v-marafoni-suspilnogo/> (дата звернення: 09.05.2025).
7. МАЙЖЕ дев'ять Україн перевіз вінницький електротранспорт. Скільки заробили на пасажирях? - 20 хвилин. URL:

<https://vn.20minut.ua/Podii/mayzhe-devyat-ukrayin-pereviz-vinnitskiy-elektrotransport-skilki-zarob-11949095.html> (дата звернення: 19.03.2025).

8. Митко Микола, Бурлака Сергій, Ярошук Роман. Аналіз технічних і технологічних форм взаємодії різних видів транспорту. [Текст] / Микола Митко, Сергій Бурлака, Роман Ярошук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. Том 349 № 2 (2025). – С. 77-82.

9. Мельник Т. С., Христофор О. В., Красноштан О. М. Роль транспортно-пересадочних комплексів у розвитку транспортної системи країни: соціальний і сервісний аспекти. Review of transport economics and management. 2021. № 5 (21). С. 59–69. URL: <https://doi.org/10.15802/rtem2021/224970> (дата звернення: 08.04.2025).

10. Никончук В., Кристопчук М., Пашкевич С. Підвищення ефективності функціонування транспортно-пересадочних вузлів транспортної системи міста. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2022. Т. 2, № 19. С. 16–24. URL: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i19.899> (дата звернення: 08.04.2025).

11. Понад 52 мільйони пасажирів перевіз вінницький транспорт за рік – скільки на цьому заробили? - 20 хвилин. URL: <https://vn.20minut.ua/Podii/ponad-52-milyoni-pasazhiriv-pereviz-vinnitskiy-transport-za-rik-a-skil-11919622.html> (дата звернення: 19.03.2025).

12. Про підприємство КП "ВТК". AllTransUA -. URL: <https://alltransua.com/database/enterprise/1285> (дата звернення: 19.03.2025).

13. Про підприємство. Вінницький трамвай. URL: <https://depo.vn.ua/content/pro-p-dpri-mstvo> (дата звернення: 19.03.2025).

14. Про затвердження Правил експлуатації трамвая і тролейбуса. Офіційний веб портал парламенту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z0353-20?utm_source#Text (дата звернення: 19.03.2025).

15. Селиванов С. Е., Бажинов А. В. Экологические проблемы Харькова транспортный аспект. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2010. №49. С. 143-153.

16. Старжинський В. Ю., Митко М. В. Перспективи розвитку машинобудування та транспорту-2025. КОНФЕРЕНЦІЇ ВНТУ електронні наукові видання. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2025/paper/view/25179> (дата звернення: 11.06.2025).

17. Столицю Франції паралізував масштабний страйк громадського транспорту. Новинарня – новини України, що воює. URL: <https://novynarnia.com/2019/09/13/stolitsyu-frantsiyi-paralizuvav> (дата звернення: 25.03.2025).

18. Суворова О. Концепція “здорових міст” та роль у ній транспортних хабів. ПроМобільність транспортне планування та моделювання. URL: <https://pro-mobility.org/svit/konczepczyia-zdorovyh-mist-ta-u-nij-transpotnyh-habiv/> (дата звернення: 23.05.2025).

19. Транспорт Вінниці. URL: <https://map.et.vn.ua/> (дата звернення: 19.03.2025).

20. У Вінниці реконструюють вулицю з «оксамитовою» трамвайною колією - Хмарочос. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2023/05/17/u-vinnyczi-rekonstruyuyut-vulyczyu-z-oksamytovoyu-tramvajnoyu-koliiyeyu/> (дата звернення: 25.03.2025).

21. У Вінниці з'явиться новий автобусний маршрут - 20 хвилин. URL: <https://vn.20minut.ua/Podii/u-vinnitsi-zyavitsya-noviy-avtobusniy-marshrut-121667.html> (дата звернення: 19.03.2025).

22. Учасники проєктів Вікімедіа. Рухомий склад – Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Рухомий_склад (дата звернення: 19.03.2025).

23. Учасники проєктів Вікімедіа. Транспортний вузол – Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Транспортний_вузол (дата звернення: 11.06.2025).

24. Учасники проектів Вікімедіа. Вінницький тролейбус – Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Вінницький_тролейбус (дата звернення: 19.03.2025).
25. Bus stop spacing optimization on a realistic street network. Civil and Environmental Engineering Theses and Dissertations. 2010. URL: <https://repository.library.northeastern.edu/files/neu:822> (дата звернення: 26.04.2025)
26. Carrier vs Freight Forwarder. freightsmart.oocl.com. URL: <https://freightsmart.oocl.com/en/news/carrier-vs-freight-forwarder/> (дата звернення: 19.03.2025)
27. Cats O., Mach Ruffi F., Koutsopoulos H. N. Optimizing the number and location of time point stops. Public Transport Planning and Operations. 2014. No. 6. P. 215–235. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12469-014-0092-1> (дата звернення: 09.05.2025)
28. Chuiko S. P., Shumlyakivsky V. P. AIN PARAMETERS AND THE SUBJECT OF THE ROUTE NETWORK DEVELOPMENT OF THE BUS CITY TRANSPORTATION. Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences. 2022. No. 5. P. 337–342. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/52> (дата звернення: 19.03.2025)
29. Facility location problem – Cornell University Computational Optimization Open Textbook – Optimization Wiki. URL: https://optimization.cbe.cornell.edu/index.php?title=Facility_location_problem (дата звернення: 22.05.2025)
30. Kelly L. These are the European cities with the best public transport, according to locals. Time Out World wide. URL: <https://www.timeout.com/news/the-eight-european-cities-with-the-best-public-transport-according-to-time-out-032125> (дата звернення: 25.03.2025)
31. Li H., L. Bertini R. Optimal Bus Stop Spacing for Minimizing Transit Operation Cost. 2008. URL:

https://www.researchgate.net/publication/237369817_Optimal_Bus_Stop_Spacing_for_Minimizing_Transit_Operation_Cost (date accessed: 24.04.2025)

32. Markovskyy A., Krepka I. CLASSIFICATION OF PASSENGER TRANSPORT HUBS. Theory and practice of design. 2022. No. 26. P. 53–60. URL: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2022.26.7> (дата звернення: 08.04.2025)

33. News D. Місцева влада та транспортні компанії вимагають більше грошей на громадський транспорт. News portal für Sachsenmitaktuellenregionalen Nachrichten. URL: <https://www.diesachsen.de/uk/ekonomiky/istseva-vlada-ta-transportni-kompaniyi-vumahayut-bilshe-hroshey-na-hromadskyy-2947702> (дата звернення: 25.03.2025)

34. Optimization Method for Conventional Bus Stop Placement and the Bus Line Network Based on the Voronoi Diagram / F. Wang et al. Sustainability. 2022. Vol. 14, no. 13. P. 7918. URL: <https://doi.org/10.3390/su14137918> дата звернення: 22.05.2025)

35. Optimal Locations of Bus Stops Connecting Subways near Urban Intersections / Y. Cui et al. Mathematical Problems in Engineering. 2015. Vol. 2015. P. 1–9. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/537049> (дата звернення: 11.06.2025).

36. Pivtorak H. V., Gits I. I., Zhyla M. P. ESTIMATE OF PASSENGER FLOW DISTRIBUTION IN EXTERNAL TRANSPORT HUB. Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences. 2022. No. 2. P. 175–180. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.2/30> (дата звернення: 08.04.2025).



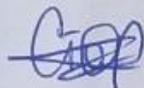
ДОДАТОК А
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

до магістерської кваліфікаційної роботи
зі спеціальності 275 – «Транспортні технології»

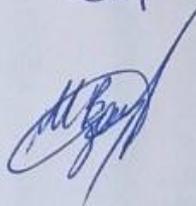
ОБґРУНТУВАННЯ РОЗМІЩЕННЯ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТИВ НА МАРШРУТАХ КОМУНАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ВІННИЦЬКА ТРАНСПОРТНА КОМПАНІЯ»

Розробив студент гр. ІТТ-23мз



Старжинський В. Ю.

Керівник роботи: к.т.н., доцент



Митко М. В.

Вінниця ВНТУ – 2025 року

- **Мета дослідження** - розробка методичних засад вибору оптимального розміщення транспортно-пересадочних вузлів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» з урахуванням зменшення середнього часу пересадки пасажирів, підвищення ефективності маршрутної мережі та покращення якості обслуговування пасажирів у місті Вінниця.
- **Завдання дослідження:**
 1. Провести аналіз організаційної структури та функціонування маршрутної мережі КП «Вінницька транспортна компанія».
 2. Дослідити існуючі транспортно-пересадочні вузли на прикладі трьох ключових перехресть у місті Вінниця.
 3. Визначити основні фактори, що впливають на зручність та тривалість пересадок пасажирів.
 4. Побудувати цільову функцію оцінки ефективності розміщення зупинок із урахуванням часу пересадки, відстані та інфраструктурних умов.
 5. Розробити та апробувати експериментально-розрахункову методику визначення оптимального розміщення ТПВ.
 6. Провести порівняльний аналіз існуючих і запропонованих варіантів розміщення зупинок.
 7. Надати практичні рекомендації щодо удосконалення пересадочних процесів та зменшення втрат часу пасажирів.
- **Об'єктом дослідження** - є система міських пасажирських перевезень у місті Вінниця, зокрема організація транспортно-пересадочних вузлів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія».
- **Предмет дослідження** - процеси розміщення зупинок громадського транспорту в межах транспортно-пересадочних вузлів на міських перехрестях та їх вплив на тривалість і зручність пересадок пасажирів.

Таблиця А.1 – Рухомий склад трамвайного депо

Модель	Кількість од.		Початок експлуатації	Довжина, м	Примітки
	Пасажи́рський	Спеці́альний			
T4UA VinWay	5	-	2016	16	Частково низькопідлоговий
KT4MB VinWay	1	-	2015	20	
KT4UA VinWay	4	-	2016	31	Частково низькопідлоговий
Tatra KT4SU	6	-	1981	18	
Tatra T4SU	-	4	1971	16	
Be 4/4Karpfen	8	5	2007	16	
B4 Karpfen	7	-	2007	16	Причіпний
Be 4/6Mirage	72	-	2008	21	
Be 4/6Mirage Kuh	3	-	-	21	Причіпний
Be 4/6Tram 2000	22	-	2023	21	
CX-2	-	1	1953	8	Службовий
T57	2	-	1957	8	Експурсійний
Всього, од.:	132	8			
	140				



Рисунок А.1 –Трамвайний вагон Be 4/6 Mirage.



Рисунок А.2 –Трамвайний вагон T4UA VinWay

Таблиця А.2 – Рухомий склад тролейбусного депо

Модель	Кількість од.		Початок експлуатації	Примітки
	Пасажирський	Спеціальний		
ЗіУ-682В	32	-	1976	
ЗіУ-682Г	39	1	1990	
ЛАЗ Е183Д	1	-	2006	
PTS-12	14	-	2019	
PTS-T12309	17	-	2022	
Богдан Т70117	40	-	2014	
Solaris Trollino 12S	21	-	2023	
КТГ-1	-	2	2008	Службовий
Всього, од.:	164	3		
	167			



Рисунок А.3 – Тролейбус PTS-T12309.



Рисунок А.4 – Тролейбуси ЗіУ-682

Таблиця А.3 – Рухомий склад автобусного парку

Модель	Кількість од.		Початок експлуатації	Примітки
	Пасажирський	Спеціальний		
ЛАЗ-А183	2	-	2008	
Богдан А701	42	-	2011	
Otokar Kent C 12 CNG	10	-	2021	
Ataman A092G6	8	-	2015	
MAN A20 Lion's City Ü NÜ 313 CNG	6	-	2024	
VDL Citea LLE-120	3	-	2024	
Dongyu Skywell NJL6129BEV	1	-	2017	Електробус
Всього, од.:	72	0		
	72			



Рисунок А.5 – Автобус Богдан А701



Рисунок А.6 – Маршрутна мережі м. Вінниця

Важливою складовою в структурі міського транспорту є транспортно-пересадкові вузли. Транспортно-пересадковий вузол (ТПВ) — це ключовий елемент планувальної структури міста, який виконує функцію пересадки пасажирів між різними видами міського та зовнішнього транспорту, або між різними маршрутами одного й того ж виду транспорту. Також у межах ТПВ може здійснюватися обслуговування населення за допомогою об'єктів соціальної інфраструктури.

На рисунку А.7 зображена діаграма, що ілюструє компоненти транспортно-транзитного вузла. До компонентів входять: транспорт та його інфраструктура, громадська зона (громадські місця що знаходяться поруч або взаємодіють з хабом) та супутні послуги (бізнес послуги, малий та середній бізнес що діє біля транспортного хабу).

На рисунку А.8 зображено список основних проблем функціонування сучасних ТПВ.



Рисунок А.7 – Діаграма ілюстрації компонентів транспортно-транзитного вузла.



Рисунок А.8 – Основні проблеми функціонування сучасних ТПВ.

У цьому описі представлено математичну модель цільової функції, що враховує як відстані між зупинками, так і інтенсивність пересадкових потоків. Задача належить до класу задач оптимального розміщення об'єктів (Facility Location Problems) та адаптована до особливостей функціонування міського громадського транспорту. Запропонована цільова функція спрямована на мінімізацію загальної вартості пересадок, де вартість визначається як добуток відстані між зупинками на перехрестях та кількості пасажирів, що здійснюють пересадку. Формалізоване подання цільової функції наведено у формулі A.1.

$$\min \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^A I_{ij} d(s_i, s_j) \quad (\text{A.1})$$

- T - Кількість зупинок одного виду транспорту (наприклад, трамвай);
- A – Кількість зупинок іншого виду транспорту (наприклад, автобус).
- s_i, s_j – Координати зупинок i -го та j -го типу (напр., трамвайної та автобусної).
- $d(s_i, s_j)$ – Відстань між зупинками s_i і s_j .
- I_{ij} – Вага: інтенсивність пересадки з i і на j (часто — кількість пасажирів).

Дана цільова функція мінімізується сумарна відстань між зупинками різних видів транспорту. Але окрім відстані доцільно вивести цільову функцію в час, який витрачає на пересадку. Тому удосконалена функція враховує середній час проходження між зупинками:

$$F = \sum_{i,j} I_{i,j} \cdot t_{i,j} \quad (\text{A.2})$$

- $t_{i,j}$ — очікуваний час пересадки з виду транспорту i на j ;
- $\omega_{i,j}$ — інтенсивність пересадок.

Враховуючи фактори (Доступність для людей з обмеженими можливостями; Бар'єри, огороження; тощо) можна зобразити мультикритеріальну функцію у вигляді формули:

$$F = \sum_{i,j} I_{i,j} \cdot (\lambda_1 t_{ij} + \lambda_2 b_{ij} + \lambda_3 s_{ij}) \quad (\text{A.3})$$

- b_{ij} - індекс бар'єрності;
- s_{ij} - індекс стану пішохідного покриття;
- λ_n - ваги відповідних коефіцієнтів;



Математична модель для оптимального розміщення автобусних зупинок поблизу перехресть, які забезпечують пересадку на метро, з урахуванням:

- мінімізації загальної відстані пішоходів до зупинок;
- мінімізації затримок автомобілів на перехрестях;
- мінімізації часу руху автобусів між зупинками.

Запропонована модель є багатокритеріальною оптимізаційною задачею з трьома цільовими функціями:

- Функція мінімізації загальної відстані пішоходів до зупинок у форматі формули має наступний вигляд:

$$\min Z_1 = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot d_i \quad (\text{A.4})$$

- ω_i – вага (кількість пасажирів) на маршруті i ;
- d_i – відстань пішоходів до зупинки на маршруті i .

Функція мінімізації затримок автомобілів на перехрестях у форматі формули має наступний вигляд:

$$\min Z_2 = \sum_{j=1}^m v_j \cdot t_j \quad (\text{A.5})$$

- v_j – інтенсивність потоку автомобілів на перехресті j ;
- t_j – затримка автомобілів на перехресті j .

Функція мінімізації руху автобусів між зупинками:

$$\min Z_3 = \sum_{k=1}^p u_k \cdot s_k \quad (\text{A.6})$$

Нехай:

T_{ij} – це час, який потрібен пасажиру, щоб пройти від зупинки i до зупинки або станції j ; може включати час проходу від i до j , світлофори бар'єри (огорожі, зелені насадження, тощо).

P_{ij} – кількість пасажирів, які роблять таку пересадку між парою (i, j) .

ω_i – ваговий коефіцієнт (наприклад, частота або важливість цієї пари у загальній мережі).

$$\min Z_4 = \sum_i \sum_j \omega_i \cdot P_{ij} \cdot T_{ij} \quad (\text{A.7})$$

$$m = \alpha Z_1 + \beta Z_2 + \gamma Z_3 + \sigma Z_4 \quad (\text{A.8})$$



У розділі 3 роботи було досліджено та отримано часові показники пересадки між зупинками на обраних перехрестях. Щоб визначити середній час пересадки по кожному перехрестю приведемо середній час пересадки на перехресті у вигляді формули:

$$t_c = \frac{\left(\frac{t_{a1}+t_{a2}}{2}\right) + \left(\frac{t_{b1}+t_{b2}}{2}\right) + \dots + \left(\frac{t_{zn}+t_{zn}}{2}\right)}{n} \quad (\text{A.10})$$

t_{a1}, t_{a2} – часовий проміжок виконання пересадки між різними зупинками.

n – кількість пересадок які можна виконати на окремому перехресті.

Час пересадки — орієнтовний час, необхідний пасажирові для переходу від Зупинки А до Зупинки Б, з урахуванням відстані та інфраструктурних особливостей. Для розрахунку часу було обрано для кожної відстані при середній швидкості людини 1.39 м/с (тобто 5 км/год);



Перехрестя вулиці 600-річчя та вулиці Келецька

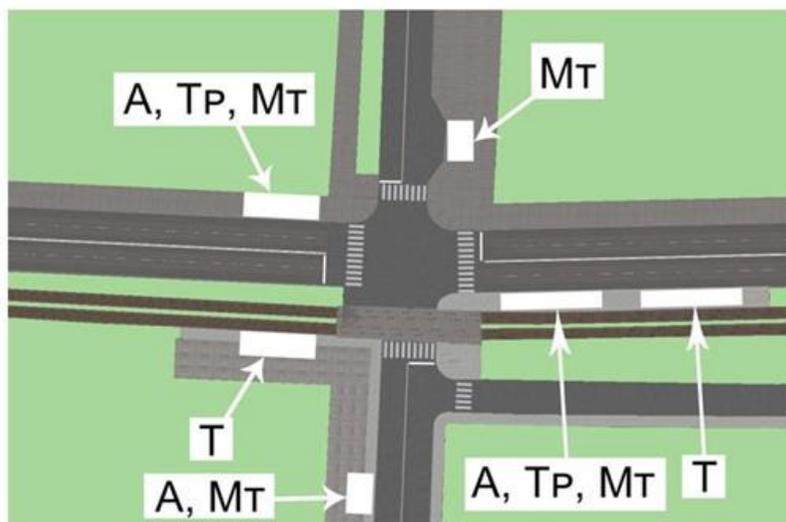


Рисунок А.9 – Загальна схема розташування зупинок на перехресті

Таблиця А.4 – Таблиця основних характеристик перехрестя

Параметр	Актуальна схема	Схема-пропозиція
Найменший час пересадки	~ 0:59 хв. (1 > 2)	~ 0:25 (1 > 2)
Найдовший час пересадки	~ 2:25 хв. (4 > 2)	~ 1:57 хв. (4 > 2)
Середній час пересадки	1 хв 21 сек (81.25 сек)	1 хв 5 сек (65.06 сек)

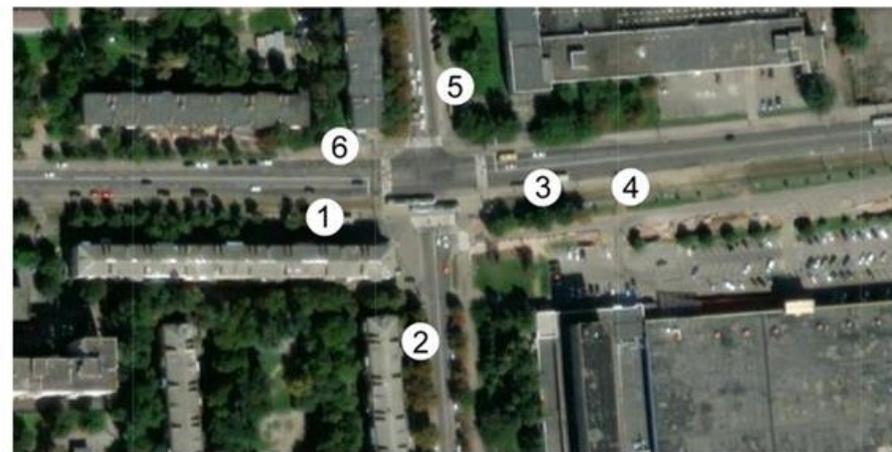


Рисунок А.10 – Загальна схема розташування та нумерація зупинок на перехресті

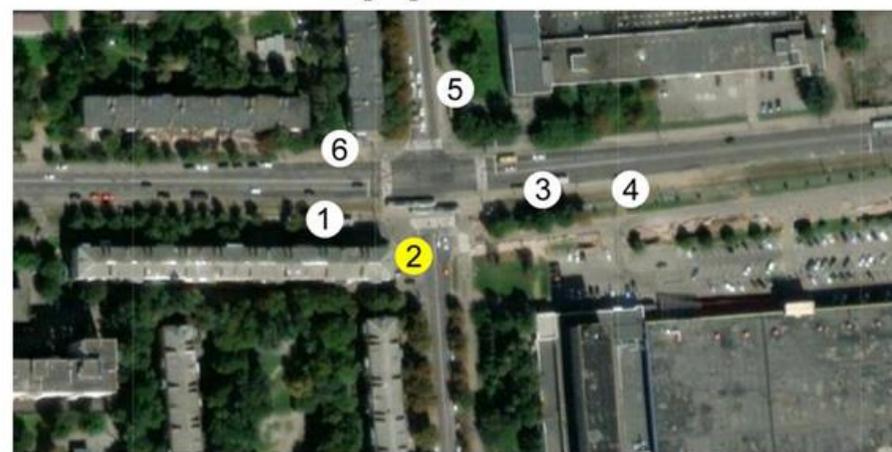


Рисунок А.11 – Схема-пропозиція розташування зупинок на перехресті вул. 600-річчя та вул. Келецька

Перехрестя вулиці Келецької та проспекту Юності

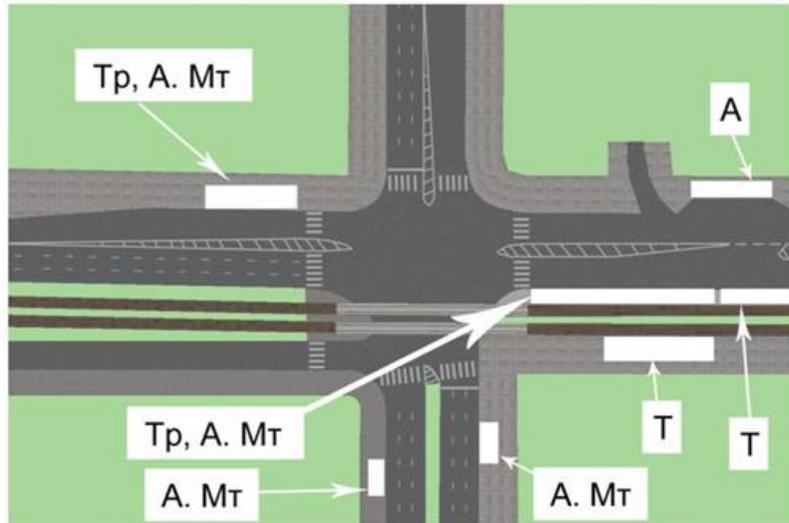


Рисунок А.12 – Загальна схема розташування зупинок на перехресті

Таблиця А.5 – Таблиця основних характеристик перехрестя

Параметр	Актуальна схема	Схема-пропозиція
Найменший час пересадки	~ 1:22 хв. (7 > 4)	~ 0:49 (7 > 4)
Найдовший час пересадки	~ 2:57 хв. (3 > 6)	~ 2:57 хв. (3 > 6)
Середній час пересадки	2 хв (120.19 сек)	1 хв 46 сек (105.7сек.)

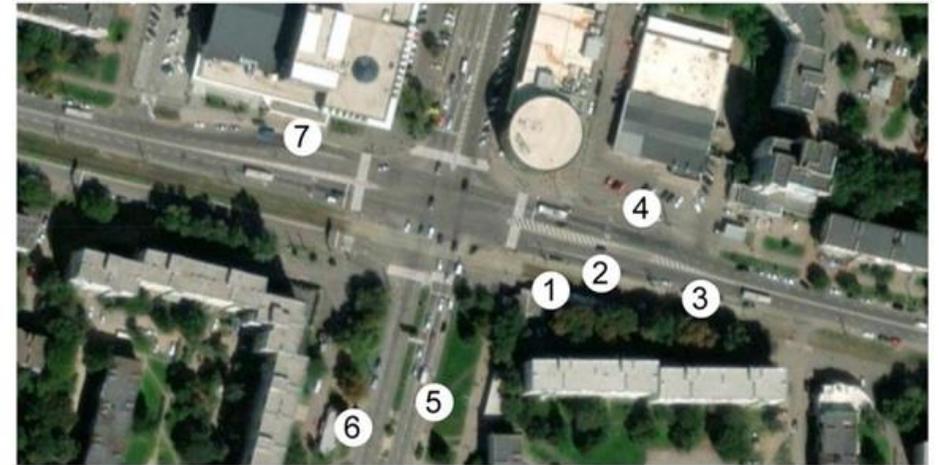


Рисунок А.13 – Загальна схема розташування та нумерація зупинок на перехресті

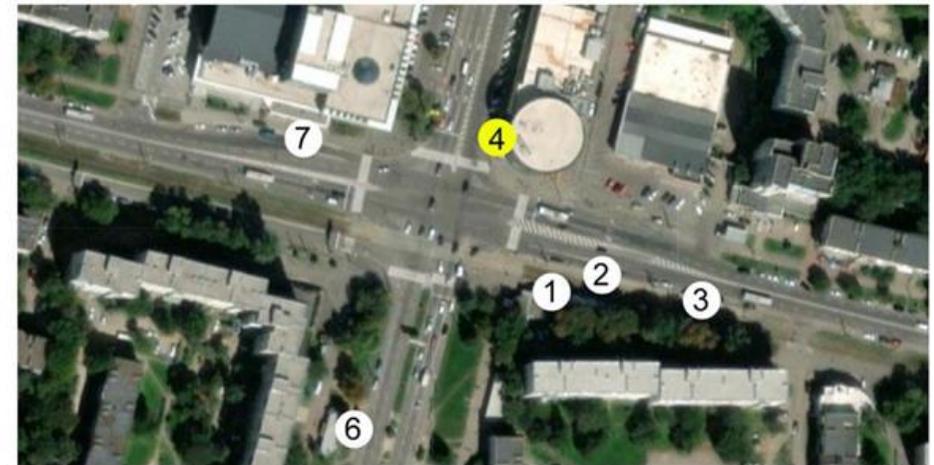


Рисунок А.14 – Схема-пропозиція розташування зупинок на перехресті вул. Келецька та проспекту Юності

Перехрестя вулиці Академіка Янгеля та вулиці Замостянська

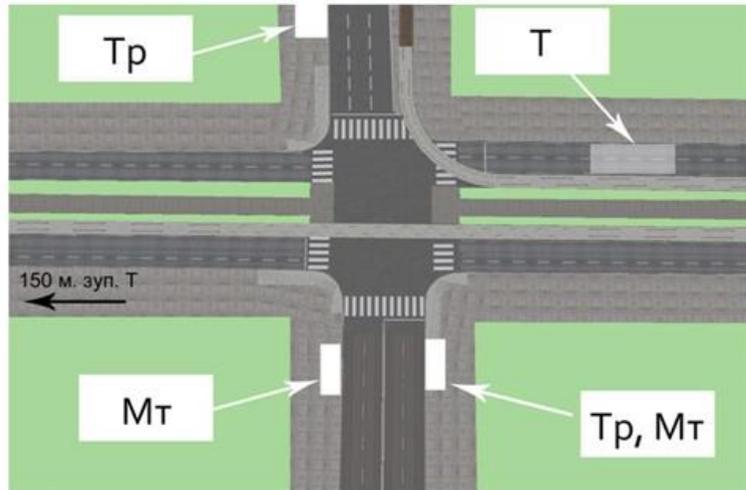


Рисунок А.17 – Загальна схема розташування зупинок на перехресті



Рисунок А.16 – Загальна схема розташування та нумерація зупинок на перехресті



Рисунок А.15 – Схема-пропозиція розташування зупинок на перехресті вул. Замостянська та вул. Академіка Янгеля

Таблиця А.6 – Таблиця основних характеристик перехрестя

Параметр	Актуальна схема	Схема-пропозиція
Найменший час пересадки	~ 1:18 (1 > 3)	~ 1:18 (1 > 3)
Найдовший час пересадки	~ 3:58 хв. (2 > 6)	~ 2:49 хв. (4 > 6)
Середній час пересадки	2 хв. 29 сек. (148.79 сек.)	2 хв. 8 сек. (128 сек.)

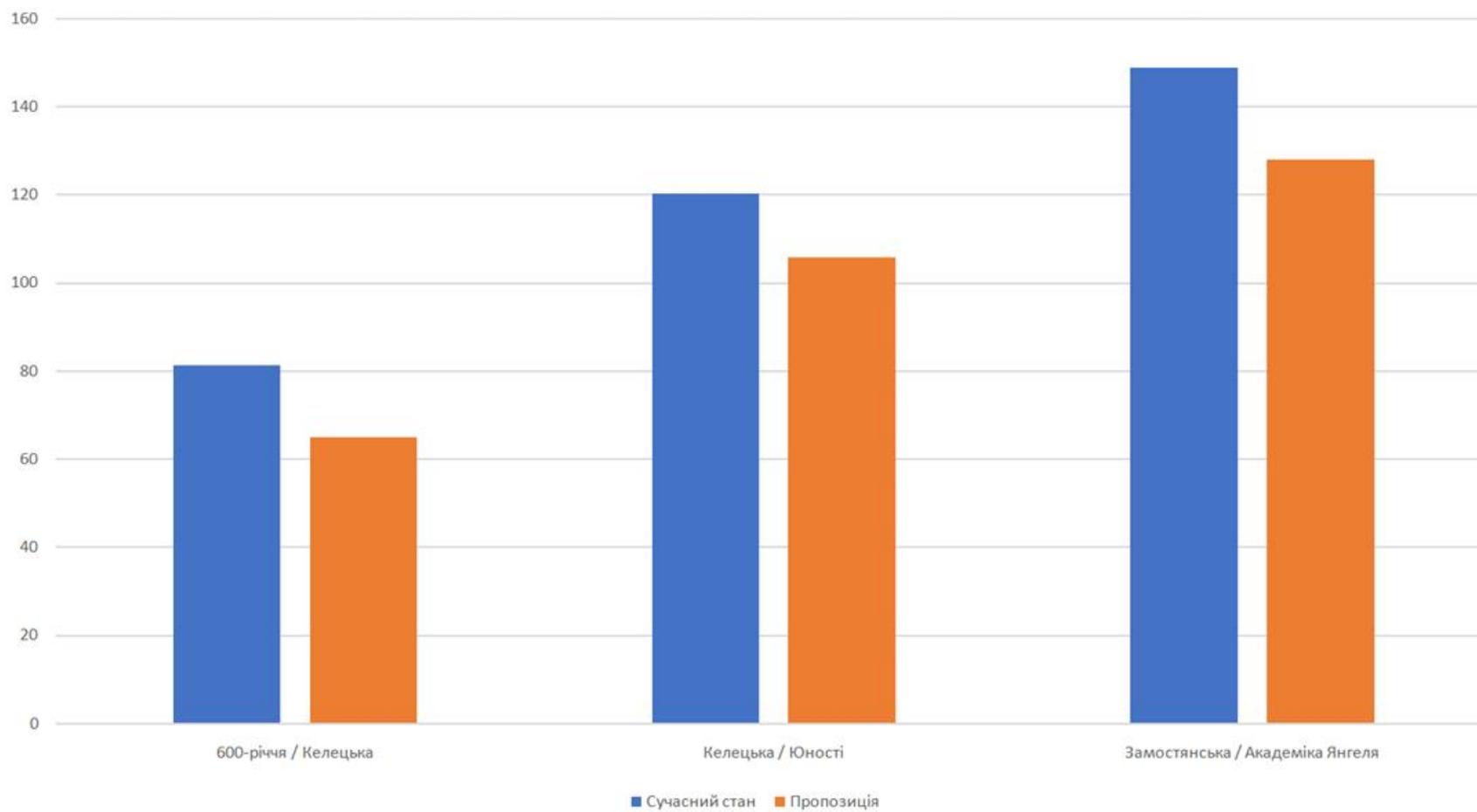


Рисунок А.18 – Діаграма порівняння середнього часу пересадки на перехрестях



Висновки

У результаті дослідження діяльності комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» було встановлено, що воно є стратегічним елементом транспортної системи міста Вінниця, який забезпечує перевезення пасажирів трьома основними видами транспорту: трамваями, тролейбусами та автобусами. Підприємство має сучасну маршрутну мережу та оновлений парк рухомого складу, що включає низькопідлогові автобуси, тролейбуси з автономним ходом і модернізовані багатосекційні трамваї. Здійснений аналіз показав, що завдяки модернізації транспортної інфраструктури та впровадженню енергоефективних технологій, КП «ВТК» демонструє високий рівень адаптації до сучасних вимог мобільності населення.

У результаті аналізу сучасного стану транспортно-пересадочних вузлів в українських містах, зокрема у міському середовищі, виявлено низку системних проблем, що негативно впливають на ефективність функціонування міського пасажирського транспорту. Застаріла інфраструктура, слабка інтеграція між видами транспорту, недостатнє просторове планування та низький рівень доступності для маломобільних груп населення значно ускладнюють процес пересадки та знижують рівень транспортного комфорту. Особливої актуальності набуває необхідність переосмислення підходів до організації ТПВ в умовах сучасних безпекових викликів та урбаністичних змін.

У результаті проведеного статистичного аналізу транспортно-пересадкових вузлів, розташованих на стратегічно важливих перехрестях вулично-дорожньої мережі міста Вінниця, встановлено, що ефективність їх функціонування тісно пов'язана з інфраструктурними характеристиками, організацією маршрутної мережі та інтенсивністю пасажиропотоків. Особливу увагу приділено трьом перехрестям, які мають високий потенціал для здійснення швидких та зручних пересадок між різними видами транспорту без суттєвих переміщень пішки. Результати дослідження підтвердили, що якісне пішохідне середовище, наявність безпечних переходів і зручне розміщення зупинок суттєво впливають на зменшення часу пересадки.



ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Обґрунтування розміщення зупиночних пунктів на маршрутах комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Strikeplagiarism

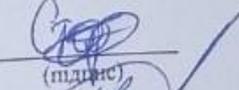
Оригінальність 99,1 % Схожість 0,9 %

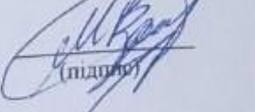
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Цимбал О.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Strikeplagiarism щодо роботи.

Автор роботи  Старжинський В.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Митко М.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)