КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет урбаністики та просторового планування

Кафедра міського будівництва

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Завідувач кафедри
доц. Приймаченко О.В._____
_____
«_____» _____2025р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему

«Підвищення рівня обслуговування пішоходів на перетині вул. Газопровідна та пр. Європейського Союзу у м. Києві »

Виконав : студент IV курсу, групи МБГ-21-3
Галузь знань: 19 Архітектура та будівництво
Спеціальність: 192 Будівництво та цивільна інженерія
ОПП: «Міське будівництво та господарство»

Бас М.Є.
(прізвище та ініціали)

Керівник Чередніченко П.П.
(прізвище та ініціали)

Консультант Беспалов Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(прізвище та ініціали)

м. Київ - 2025

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: **урбаністики та просторового планування**
Кафедра: **міського будівництва**
Освітньо-кваліфікаційний рівень: **бакалавр**
Галузь знань: 19 «Архітектура та будівництво»
Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
ОПП: «Міське будівництво та господарство»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри, доц. Приймаченко О.В.

_____

“____” _____2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бас М.Є.
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема проекту **«Підвищення рівня обслуговування пішоходів на перетині вул. Газопровідна та пр. Європейського Союзу у м. Києві»**

консультант проекту ст. викл. Беспалов Д.О.
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

керівник проекту Доцент Чередніченко П.П.
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу №587/25/25 від «14» 05.2025 року

2. Термін подання студентом роботи 16.06.2025р.

3. Вихідні дані до проекту: *матеріали генерального плану м. Києва; нормативно-законодавча база на проектування; матеріали транспортної комплексної схеми м. Києва; учбово-методична література; натурні обстеження; вихідні дані згідно індивідуального завдання.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (*перелік розділів, які потрібно розробити):*

№ розділу	Найменування розділів пояснювальної записки	Орієнтовний об’єм пояснювальної записки (аркушів ФА4)
1	Вступ	≤ 2
2	Аналітичний розділ	≤ 10
3	Розрахунково-проєктний розділ	≤ 20
4	Конструктивний розділ	≤ 5
5	Висновки	≤ 2
6	Список літератури	≤ 2
	Разом:	≤ 40

5. Перелік графічного матеріалу

№ розділу	Найменування розділів проєкту	Об'єм креслень (аркушів формату А1)
1	Аналіз існуючого перетину	1
2	Варіанти інженерно-планувальних рішень	1
3	Поперечні профілі магістралей	1
4	Транспортні моделі планувальних рішень	1
5	Поздовжні профілі	1
6	Вертикальне планування для обраного варіанту	1
7	Конструктивні рішення та висновки	1
	Разом:	7

6. Консультанти розділів проекту.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1			
2			

7. Дата видачі завдання: 02.05.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапу проекту	Примітка
1	Видача завдання.	02.05.2025	
2	Збір вихідних даних.	20.05.2025	
3	Робота над графічною частиною проєкту.	09.06.2025	
4	Оформлення пояснювальної записки.	15.06.2025	
5	Подача на рецензію та перевірку на плагіат.	17.06.2025	
6	Захист проекту.	24.06.2025	

Студент _____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1. ВСТУП **5**
2. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ **7**
2.1 2.1 Аналіз існуючуго дорожньо-транспортного вузла 8
2.2 2.2 Аналіз методу підвищення рівня обслуговування пішоходів 14
2.3 2.3 Аналіз існуючуго рівня обслуговування пішоходів на вузлі 18
3. РОЗРАХУНКОВО-ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ **23**
3.1 Розгляд альтернативних проєктних рішень та їхнє порівняння 24
3.2 Розробка поперечних профілів магістральних вулиць на підходах до перехресть 26
3.3 Розрахунок ширини пішохідної частини тротуарів 34
3.4 Обґрунтування вибору схеми організації дорожнього руху на перетині міських магістралей 37
3.5 Розрахунок та проєктування геометричних розмірів саморегульованого кільцевого перетину 43
3.6 Аналіз рівня обслуговування пішоходів для проектних пропозицій 47
3.7 Проєктування поздовжніх профілів на перетині магістральних вулиць 49
3.8 Вертикальне планування території скп 51
3.9 Планування поверхневого стоку в межах перетину магістралей та розміщення дощеприймальних колекторів 51
3.10 Визначення обсягів земляних робіт 52
3.11 Кошторисно-фінансовий розрахунок 53
3.12 Визначення техніко-економічних показників проекту 55
4. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ **65**
4.1 Влаштування гобо-проекційних пішоходних переходів 66
4.2 Влаштування острівців безпеки 68
4.3 Освітлення 69
4.4 Озеленення 69
4.5 Дорожній одяг 69
4.6 Зупинки громадського транспорту 70
5. ВИСНОВКИ **70**
6. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ **71**

ВСТУП

Актуальність теми дипломної роботи обумовлена постійним зростанням рівня автомобілізації у великих містах України, що призводить до значного навантаження на транспортну інфраструктуру та ускладнює пересування пішоходів. Станом на 2021 рік автомобілізація Києва досягла приблизно 407 авто на 1000 мешканців, при тому що по Україні це близько 250 авто/1000, що відчутно більше середнього по країні.**[]** Тому особливе значення має вдосконалення умов руху пішоходів у місцях інтенсивного транспортного руху, де виникають високі ризики для безпеки та комфорту пересування. Одним із таких місць є перетин вулиці Газопровідної та проспекту Європейського Союзу в місті Києві, що характеризується значними транспортними потоками, через що існує необхідність підвищення рівня обслуговування пішоходів на цьому вузлі.

Сучасні міста орієнтуються на створення комфортних умов для всіх учасників руху, особливо пішоходів. Тому транспортне планування сьогодні передбачає комплексний підхід до вирішення питань мобільності, який враховує не лише автомобільний рух, а й зручність та безпеку пішоходів.

В якості методу оцінки рівня обслуговування пішоходів на досліджуваному перетині в дипломній роботі обрано методику PLOS (Pedestrian Level of Service), яка дозволяє кількісно оцінити якість умов пересування пішоходів. Використання цієї методики обґрунтоване її всебічністю та можливістю враховувати різні аспекти взаємодії пішоходів із транспортною інфраструктурою, зокрема: інтенсивність руху пішоходів та транспорту, розміри та стан тротуарів, час очікування на світлофорах, наявність відповідних переходів та інших зручностей для пішоходів.

Предметом дослідження в роботі є організація пішохідного руху та оцінка його рівня обслуговування за допомогою методики PLOS. Об'єктом дослідження виступає перехрестя вул. Газопровідна та проспекту Європейського Союзу, що розташоване у Подільському районі міста Києва . Вибір об’єкта зумовлений його

важливістю в структурі міста та актуальністю проблем, що виникли через недосконалу організацію руху пішоходів.

Метою дипломної роботи є визначення та обґрунтування шляхів підвищення рівня обслуговування пішоходів на зазначеному перетині за допомогою оцінки PLOS, а також розробка варіантів щодо оптимізації інфраструктури на перетині для покращення комфорту та безпеки пішохідного та транспортного руху.

Завдання дипломної роботи передбачають проведення детального аналізу існуючого стану, визначення ключових проблемних аспектів існуючого пішохідного руху, проведення кількісної оцінки за допомогою методики PLOS, розробку, порівняння та обирання варіантів проектних рішень, що дозволять оптимізувати рух пішоходів, забезпечити їхній рівень обслуговування, безпеку та комфорт.

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧУГО ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОГО ВУЗЛА

Об’єктом дослідження є перетин вулиці Газопровідна та проспекту Європейського Союзу у місті Києві, що розташований в Подільському районі.

Рис. 1 – Позиція перетину у масштабі міста Києва

Досліджуваний перетин сформований двома магістральними вулицями районного значення відповідно до вимог ДБН [1] та класифікації вулично-дорожньої мережі, які забезпечують зв’язок між ключовими транспортними артеріями міста. Проспект Європейського Союзу виконує функцію важливої транзитної осі, що з’єднує різні частини міста, тоді як вулиця Газопровідна переважно обслуговує місцевий рух, забезпечуючи під’їзд до житлових кварталів, соціальної інфраструктури та об’єктів місцевого призначення. Перехрестя щоденно обслуговує пішохідний потік, до складу якого входять мешканці навколишніх будинків, пасажири громадського транспорту, а також відвідувачі торгових закладів, індивідуальних гаражних боксів, підприємств і сервісних об’єктів.

Перехрестя розташоване поблизу великого торгівельно-розважального центру «Ретровіль», який щоденно приваблює значну кількість відвідувачів та генерує високий транспортний потік, зокрема легкових автомобілів. Крім того, зі сторони проспекту Європейського Союзу спостерігається будівництво нових житлових комплексів. Це, у свою чергу, свідчить про потенційне зростання як транспортної, так і пішохідної інтенсивності в районі перехрестя, що зумовлює необхідність удосконалення існуючої інфраструктури вцілому. Серед найближчих значущих точок тяжіння пішоходів варто відзначити торгівельно-продуктовий супермаркет «АШАН», а також ділянки гаражної забудови та транспортно-перевізне підприємство «Trans Tempo», які додатково формують локальні потоки людей і транспорту.

Рис. 2 – Розташування перехрестя відносно навколишньої забудови

Рис. 3 – Загальний вигляд дорожньо-транспортного вузла

На рис. 3 чітко простежується, що перехрестя оточене гаражною забудовою з трьох боків, що формує специфічне середовище з обмеженим рухом для пішоходів. З південного боку до перехрестя прилягає територія транспортно-логістичного підприємства «Trans Tempo», яка використовується для зберігання, обслуговування та маневрування вантажного транспорту.

У ході аналізу перехрестя було виявлено велодоріжку з боку проспекту Європейського Союзу, що належить до велосипедного маршруту 2-ї категорії. Згідно з Концепцією розвитку велосипедної інфраструктури у місті Києві, маршрути 2-ї категорії відносяться до другорядних, але обслуговують значну частину населення району. Вони характеризуються меншою кількістю перетинів із маршрутами 1-ї категорії, проте залишаються функціонально значущими для

забезпечення безпечного та комфортного велосипедного руху на локальному рівні.

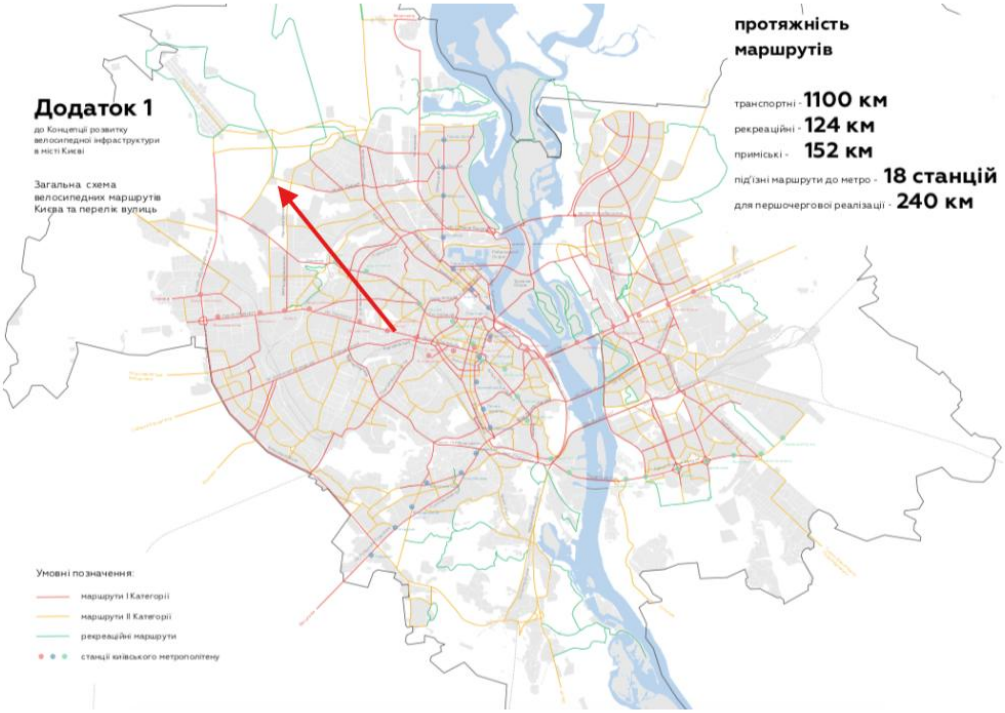


Рис. 4 – Велоінфраструктура Києва згідно з Концепцією розвитку велосипедної інфраструктури

Рис. 5 – Панорамний вигляд проспекту Європейського Союзу

На основі аналізу фотоматеріалів сервісів Google Maps та Google Street View, а також вимірювань, виконаних за допомогою сервісу Google Earth по проспекту Європейського Союзу, було отримано дані, що дозволили визначити геометричні параметри проїзної частини, тротуарів, та наявних елементів велоінфраструктури, що забезпечило відображення фактичної конфігурації вуличного простору існуючого положення.

Проведене візуальне обстеження території перехрестя дозволило зафіксувати задовільний технічний стан тротуарного покриття та проїзної частини. Покриття дороги не має суттєвих дефектів, а тротуари перебувають у прийнятному експлуатаційному стані. Водночас слід зазначити, що дорожня розмітка, смугові лінії та пішохідні переходи, є частково стертими, що ускладнює орієнтування учасників дорожнього руху та знижує рівень безпеки на вузлі.

Аналіз отриманих даних дозволив встановити, що ширина проїзної частини проспекту, яка включає дві смуги руху в одному напрямку, становить 14 метрів. Ширина однієї смуги руху — 3,5 метри, що відповідає нормативним вимогам для магістральних вулиць районного значення, але відсутні відокремлюючі смуги між крайніми смугами руху та бортовим каменем.

Ширина тротуарів по обидва боки вулиці є різною. З лівого боку, що прилягає до території транспортно-логістичного підприємства, тротуар має

ширину лише 1,8 метра, що не відповідає мінімально допустимій ширині 2,25 метра, встановленій для магістральних вулиць районного значення згідно з нормативами ДБН **[1]**. З цієї ж сторони відсутня розділювальна смуга (озеленення або технічна зона), яка повинна фізично відокремлювати пішохідну зону від проїзної частини. Відповідно до ДБН **[1]**, така смуга є обов'язковою та повинна мати ширину не менше 1 метра для магістралей районного значення.

З протилежного боку вулиці тротуар має ширину 2,25 метра, що відповідає мінімальним вимогам. Крім того, з цього боку передбачено двосторонню велодоріжку шириною 2,5 метра.

До проспекту Європейського Союзу прилягають маршрути громадського транспорту — автобус №103 та маршрутне таксі №512, які забезпечують сполучення з іншими районами міста. Інтервал руху автобусного маршруту

становить 37 хвилин, маршрутного таксі — 20 хвилин.

Інфраструктура для зупинок громадського транспорту на даній ділянці відсутня.

Рис. 6 – Панорамний вигляд вулиці Газопровідна

Аналогічне обстеження було проведено для прилеглої вулиці Газопровідної, яка примикає до досліджуваного перехрестя з проспектом Європейського Союзу.

Ширина проїзної частини становить 14 метрів та включає дві смуги руху в одному напрямку. Ширина однієї смуги — 3,5 метри, що відповідає нормативам. Водночас було виявлено аналогічні порушення вимог ДБН **[1]**, а саме: відсутність укріпленої (відокремлюючої) смуги між крайньою смугою руху та бортовим каменем.

З боку транспортно-логістичного підприємства облаштовано тротуар шириною 2,25 метра, що відповідає мінімальним нормативним вимогам. За тротуаром розміщена зелена зона шириною 3,25 метра, яка, однак, не виконує функцію розділення між пішохідною та проїзною частинами. Таким чином маємо відсутню розділювальну смугу (озеленення або технічної зони), яка повинна

фізично відокремлювати пішохідну зону від проїзної частини, що протиречить вимогам ДБН **[1].**

З протилежного боку вулиці тротуар відсутній повністю, що унеможливлює безпечний рух пішоходів, а також перешкоджає ефективному розподілу пішохідних потоків, порушуючи принципи формування безбар'єрного середовища, а саме принципи доступності та безперервності маршруту.

До вулиці Газопровідна прилягають ті ж самі маршрути громадського транспорту — автобус №103 та маршрутне таксі №512, які забезпечують сполучення з іншими районами міста. Інтервал руху автобусного маршруту становить 37 хвилин, маршрутного таксі — 20 хвилин.

Інфраструктура для зупинок громадського транспорту на даній ділянці відсутня.

2.2 АНАЛІЗ МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПІШОХОДІВ

Рівень обслуговування пішоходів (PLOS) – це показник та методика оцінки, що використовується для визначення якості умов руху пішоходів у міському середовищі. Він дозволяє кількісно і якісно визначити, наскільки комфортними, зручними та безпечними є наявні пішохідні шляхи (тротуари, переходи тощо), аналогічно до того, як рівні обслуговування застосовуються для автомобільного руху. Загальним результатом оцінки є віднесення умов до певної категорії – від A (найвищий рівень сервісу) до F (найгірший). Таким чином, рівень A означає, що пішоходи мають повну свободу руху і не відчувають затруднень, тоді як рівень F означає сильно переповнені умови, коли швидкість руху різко обмежена і люди змушені просуватися дуже повільно (через дрібні кроки).

Визначення рівня обслуговування пішоходів (PLOS) за щільністю руху пішоходів

Рівень обслуговування (PLOS)	Щільність пішоходів, ped/m²	Характеристика умов руху
A	≤ 0,08	Вільний рух, без обмежень маневрування
B	0,08–0,27	Мінімальні обмеження маневрування
C	0,27–0,45	Помірні обмеження маневрування
D	0,45–0,69	Відчутні обмеження маневрування
E	0,69–1,66	Значні обмеження, рух сильно уповільнений
F	> 1.66	Дуже велика щільність, «заторовий» стан

Для оцінювання PLOS враховується сукупність показників, що відображають інтенсивність пішохідного руху, геометрію тротуарів та якість середовища. Основними кількісними параметрами є ширина і ефективна пропускна спроможність пішохідного маршруту, фактична інтенсивність пішоходів (потік, щільність на одиницю площі) та пов’язана з ними середня швидкість руху пішоходів. Зі зростанням щільності потоку пішоходів їхня швидкість і свобода маневру неминуче знижуються.

Крім показників пропускної здатності, на рівень обслуговування впливають фактори безпеки та комфорту. Важливу роль відіграє наявність буферної зони або фізичних бар’єрів, що відокремлюють тротуар від проїжджої частини (наприклад, смуги озеленення, острівці безпеки), а також відстань між пішохідним потоком і рухомими автомобілями. До уваги береться інтенсивність дорожнього руху поряд із тротуаром, швидкість транспортного потоку. Цей фактор впливаютє на суб’єктивне відчуття безпеки пішоходів під час руху по

тротуару. Також оцінюється кількість потенційних конфліктів пішоходів і транспорту (наприклад, перетинів з рухом авто, виїздів з дворових територій) та рівень аварійності на даній ділянці. На переходах додатково враховується середній час затримки пішохода перед переходом проїзної частини – надмірне очікування зеленого сигналу світлофора погіршує рівень сервісу.

LOS	Затримка, с/т.з.
A	≤ 10
B	>10 – 20
C	>20 – 35
D	>35 – 55
E	>55 – 80
F	>80

Кількісна методика визначення PLOS залежить від обраного підходу. У класичній моделі, описаній у «Manual з пропускної здатності доріг» (Highway Capacity Manual), рівень обслуговування пішоходів на тротуарі визначають за інтенсивністю потоку, скоригованою на ширину тротуару. Розраховується показник потокової щільності, наприклад у вигляді кількості пішоходів за хвилину на фут ширини тротуару (ped/min/ft), який порівнюється з граничними значеннями для категорій A, B, C тощо. За цим критерієм рівень A відповідає малим потокам і фактичній свободі руху, а рівень F – «насиченому» потоку, коли пішоходи рухаються впритул один до одного з мінімальною швидкістю.

Існують і альтернативні підходи до розрахунку. Так, у методиці Діксона (розробленій для м. Гейнсвілл) кожному фактору якості пішохідного середовища призначається бал, і сумарна оцінка переводиться у відповідний рівень від A до F. Модель Landis та співавт. (2001) пропонує регресійне

рівняння, що поєднує декілька ключових змінних (відстань від тротуару до проїжджої частини, наявність буферу, швидкість і обсяг трафіку, частка вантажних автомобілів тощо) для прогнозування суб'єктивно сприйнятого рівня комфорту; результатом розрахунку є числове значення, яке інтерпретується як певний рівень обслуговування. Крім того, у ряді досліджень застосовано багатокритеріальний підхід: наприклад, метод аналізу ієрархій (AHP) використовується для присвоєння ваг різним групам показників (ємність тротуару, безпека, привабливість середовища тощо) і обчислення зведеного індексу PLOS. Такий індекс надалі відносять до певного класу якості – більшість методик використовують 6-бальну шкалу A–F, хоча інколи застосовується 5-рівнева система (A–E) або інші градації.

Методика PLOS вже знайшла застосування у практиці планування транспорту в багатьох містах світу. Наприклад, у Нью-Йорку показник рівня обслуговування пішоходів використовувався для аналізу пропускної спроможності тротуарів у центральних районах: згідно з методикою HCM, визначали значення потоку пішоходів на одиницю ширини і встановлювали, чи відповідають умови бажаному рівню (A, B, C тощо) або наближаються до незадовільного (E–F). У місті Гейнсвілл (Флорида, США) було розроблено власні критерії оцінки пішохідної інфраструктури, що враховували наявність базових зручностей, конфлікти з транспортом, стан утримання тощо; сумарний індекс за цією методикою дозволяв класифікувати тротуари за рівнями від A до F для пріоритезації покращень. Австралійські дослідники адаптували підхід

PLOS до локальних умов: зокрема, Геллін (Gallin, 2001) запропонував оцінювати "дружність" вулиць до пішохода за трьома групами критеріїв, виводячи оцінку від A (ідеальні умови) до E (неприйнятні).

Методики оцінки рівня обслуговування пішоходів активно застосовуються і в країнах, що розвиваються. Так, у місті Танжер (Марокко) проведено дослідження PLOS на тротуарах центральної частини: на основі відеоспостережень визначено потоки пішоходів і ефективну ширину тротуарів, а потім за допомогою кластерного аналізу встановлено місцеві порогові значення для рівнів A–F. Результати показали певні відмінності від стандартних

нормативів HCM через іншу структуру пішохідного руху у Танжері. В Аддис-

Абебі (Ефіопія) комплексна оцінка PLOS (з використанням AHP) дозволила виявити місця з незадовільними умовами для пішоходів: окремі локації отримали найнижчі категорії (“Poor” та “Very poor” за аналогією з E та F), що сигналізує про потребу першочергових заходів для підвищення безпеки і комфорту.

В Україні на даний момент, на жаль, не існує повноцінної системи, аналогічної до PLOS як це реалізовано у США або деяких європейських країнах.

2.3 АНАЛІЗ ІСНУЮЧУГО РІВНЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПІШОХОДІВ НА ВУЗЛІ

Для оцінки поточного рівня обслуговування на транспортному вузлі буде проведено моделювання за допомогою програми PTV Vissim. Додатково буде сформовано перелік критеріїв, за якими здійснюватиметься оцінювання ефективності функціонування.

Для комплексної оцінки умов обслуговування пішоходів на досліджуваному перетині було обрано 2 ключові та 1 додатковий показники, які дозволяють всебічно охарактеризувати як пішохідні, так і транспортні показники функціонування вузла.

1. Щільність пішохідного потоку (ped/м²) — характеризує рівень завантаженості пішохідної інфраструктури, зокрема тротуарів і переходів.
2. Середня затримка транспорту на перетині (с/авто) — дозволяє оцінити ступінь ефективності організації дорожнього руху та взаємодію транспортних і пішохідних потоків.
3. Середня швидкість транспортного потоку на перетині (км/год) — ілюструє динаміку проходження транспортними засобами перехрестя й дозволяє оцінити вплив фази пішохідного руху на загальний трафік. Показник визначається на основі результатів мікромоделювання у середовищі VISSIM окремо для кожного

напрямку або у вигляді усередненого значення.

Таким чином, обрані показники дають змогу здійснити всебічну оцінку умов функціонування перехрестя як для пішоходів, так і для транспортних засобів. На основі отриманих значень за кожним із критеріїв можливо визначити рівень обслуговування пішоходів (PLOS) відповідно до умовної шкали від A (високий комфорт та безпека) до F (критично низький рівень обслуговування та високий рівень конфліктності).

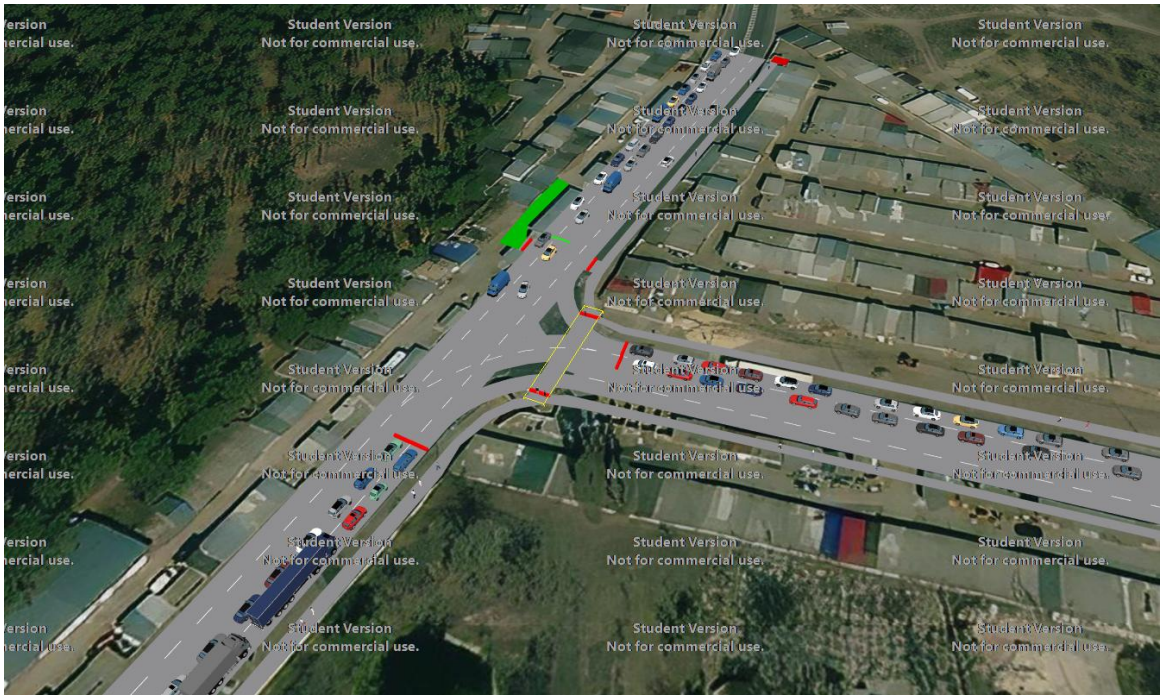


Рис. 6 – транспортна модель існуючого перетину

Для наочного відображення отриманих результатів аналізу кожного з показників були побудовані відповідні картограми, які демонструють умови пішохідного обслуговування на перетині вулиці Газопровідної та проспекту Європейського Союзу.

- Рис **7** ілюструє рівні щільності пішохідного потоку в межах перехрестя;
- Рис **8** відображає середній час очікування пішоходів на перетині;

Візуалізація результатів у вигляді карт дозволяє виявити просторову нерівномірність навантаження, локалізувати критичні ділянки та обґрунтувати

подальші пропозиції щодо покращення інфраструктури.

Показник	Існуючий варіант	Планувальне рішення №1	Планувальне рішення №2
Середня затримка транспорту на перетині (с/авто)	**120,43**	**75,64**	**94,87**
Щільність пішохідного потоку (ped/м²)	**2,24**	**0,11**	**0,12**
Середня швидкість транспортного потоку на перетині (км/год)	**6,03**	**9,51**	**7,19**

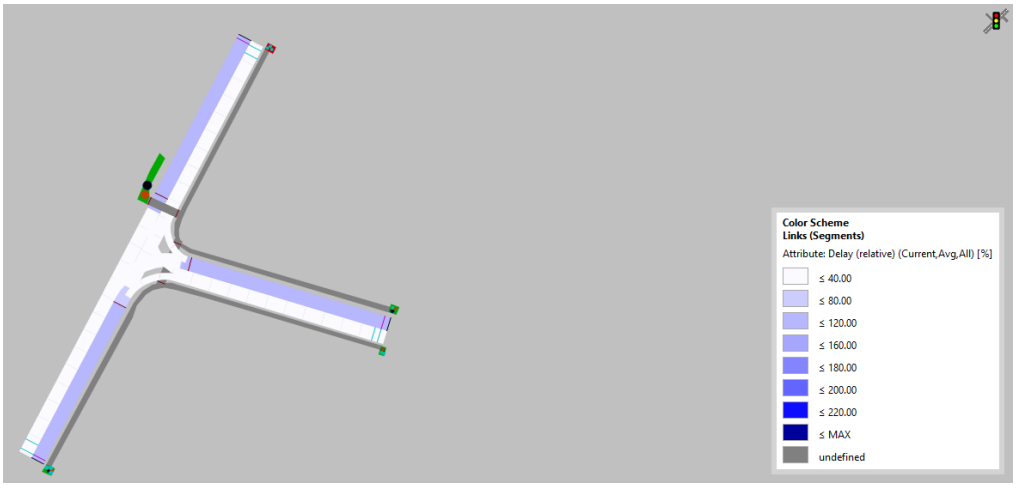


Рис. **7** – показник затримки транспорту на перетині

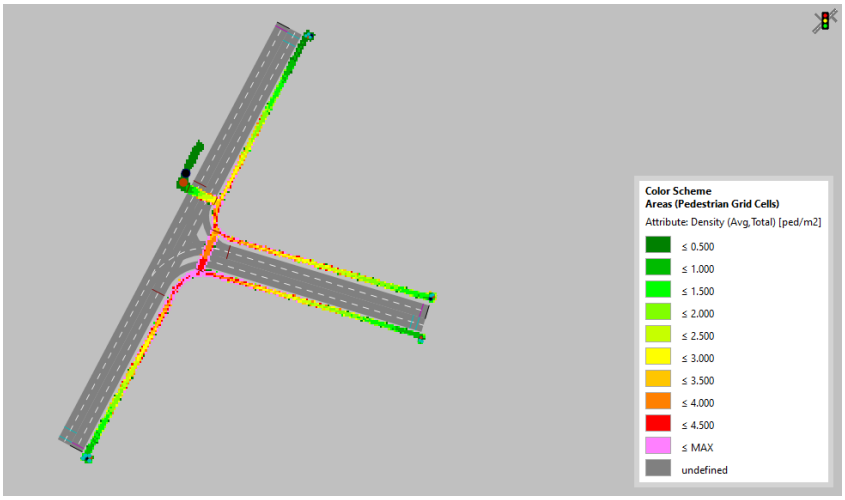


Рис. **8** – показник затримки щільності пішоходів

Таким чином, середня затримка транспортних засобів на перехресті

становить 120,43 с/авто, що є надмірно високим показником і свідчить про суттєве перевантаження вузла та наявність тривалих заторів у години пік. Відповідно до класифікації HCM, така затримка відповідає рівню обслуговування F.

Щільність пішохідного потоку становить 2,24 особи/м², що також значно перевищує допустимі межі комфортного пересування. За шкалою PLOS це відповідає рівню обслуговування F, що характеризується надмірною концентрацією людей, утрудненим рухом і підвищеним ризиком аварійних ситуацій.

Загальна оцінка: F (дуже низький рівень обслуговування, вузол перевантажений)

Висновки за результатами аналізу існуючого стану транспортного вузла

На основі проведеного аналізу геометричних характеристик, пішохідної інфраструктури, а також результатів мікромоделювання у середовищі PTV VISSIM, було виявлено ряд проблем функціонування транспортного вузла на перетині вулиці Газопровідної та проспекту Європейського Союзу:

- Недотримання геометричних параметрів тротуарів та відсутність розділювальної смуги між пішохідною та проїзною частинами, що суперечить вимогам ДБН [1] та суттєво впливає на безпеку і комфорт пересування пішоходів.
- Відсутність тротуару з одного боку вулиці Газопровідної, що унеможливлює безпечний рух пішоходів та створює бар'єри в транспортно-пішохідному сполученні.
- Відсутність інфраструктури для зупинок громадського транспорту, попри наявність маршрутів автобусів і маршрутних таксі.
- За результатами моделювання, середня затримка транспорту становить 120,43 с/авто, що значно перевищує нормативні значення. Це свідчить про перевантаження перехрестя та відповідає рівню обслуговування F.
- Середня щільність пішохідного потоку становить 2,24

особи/м², що значно перевищує допустимі граничні значення за шкалою PLOS та також відповідає рівню F — критичний стан умов для пішоходів.

- Середня швидкість транспортного потоку на вузлі — 6,03 км/год, що вказує на низьку ефективність функціонування вузла і підтверджує наявність заторових умов у пікові години.

Отримані результати свідчать про те, що існуючий стан вузла не відповідає сучасним вимогам до безпеки, пропускної здатності та рівня комфорту для всіх

учасників дорожнього руху. Це вказує на нагальну потребу у впровадженні інженерно-планувальних рішень, спрямованих на підвищення рівня обслуговування пішоходів та покращення транспортної ситуації на даному перетині.

РОЗРАХУНКОВО-ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ

3.1 РОЗГЛЯД АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ТА ЇХНЄ ПОРІВНЯННЯ

У цій роботі розглянуто два альтернативні планувальні рішення, спрямовані на підвищення рівня обслуговування пішоходів на перетині вулиці Газопровідна та проспекту Європейського Союзу. Обидва варіанти передбачають покращення умов пересування для пішоходів, а також оптимізацію роботи транспортного вузла загалом.

Перший варіант - саморегульоване кільцеве перехрестя, яке не потребує світлофорного регулювання і забезпечує безперервний рух транспортних потоків.

Кільцеве прехрестя — це тип організації руху, в якому транспортні потоки спрямовуються по колу з наданням переваги транспортним засобам, що вже перебувають на кільці.

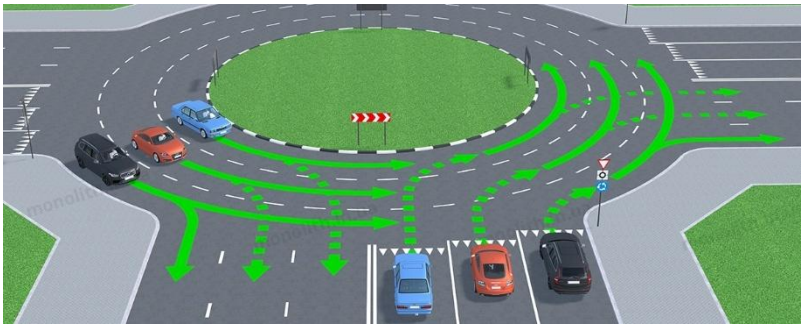


Рис. 9 Схема кільцевого перетину

Другий варіант — каналізований регульований перетин, що базується на застосуванні світлофорного регулювання у поєднанні з чітким розділенням транспортних і пішохідних потоків за допомогою направляючих острівців, виділених смуг і додаткових технічних засобів.

Це звичайне перехрестя на якому здійснено каналізацію потоків — формування спрямувальних острівців, відокремлених смуг повороту, зменшення площі конфлікту між учасниками руху.

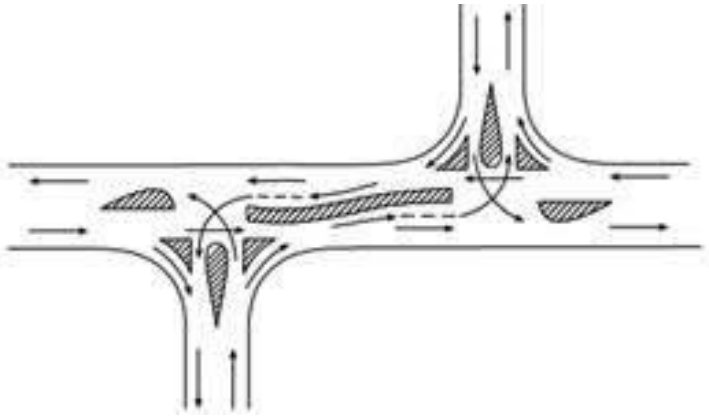


Рис. 10 Схема каналізованного перетину

Обидва рішення проаналізовано з точки зору геометричних, функціональних та безпекових характеристик, а також сформовано порівняльний SWOT-аналіз для обґрунтування доцільності їх впровадження

SWOT аналіз каналізованого регульованого перетину	
Сильні сторони	Слабкі сторони
- Чітке управління потоками забезпечує вищий рівень безпеки для пішоходів і транспорту. - Чітка організація руху з каналізацією підвищує пропускну здатність. - Затримка для учасників дорожнього руху є меншою, ніж у традиційних регульованих або нерегульованих перетинах.	- Обмежена ефективність при надвисоких навантаженнях — виникають черги. - Без чіткої інфраструктури може бути небезпечним для пішоходів.
Можливості	Загрози
- Впровадження адаптивного світлофорного керування для зменшення затримок. - Реалізація безпечних переходів, зручностей для маломобільних груп, велоінфраструктури. - Інтеграція з датчиками інтенсивності для оптимізації потоків.	- При зростанні транспортної інтенсивності — необхідність повної перебудови вузла. - Технічні збої або відсутність електропостачання можуть паралізувати вузол. - Обмежена адаптивність до нестандартних ситуацій (наприклад, аварії або перекриття).

Таблиця 1. SWOT аналіз каналізованого регульованого перетину

SWOT аналіз саморегульованого кругового перехрестя	
Сильні сторони	Слабкі сторони
- Відсутність потреби в електроживленні — нижчі експлуатаційні витрати. - Зменшення затримок і забезпечення безперервності транспортного потоку на перетині. (Вища пропускна здітність)	- Потреба у великій площі. - Може бути складним для орієнтації недосвідчених водіїв. - Площа центрального острівця кільця виключена з транспортного руху.
Можливості	Загрози
- Можливість впровадження острівців безпеки, підвищених пішохідних переходів. - Використання центральної частини кільця для озеленення або навігації. - Завдяки відсутності перехрещень потоків, саморегульовані кільцеві перетини зменшують імовірність ДТП.	- Впровадження саморегульованого кільцевого перетину може ускладнюватися через особливості вже наявної інфраструктури та потребу в адаптації організації руху. - Не справляється з нерівномірним або високим навантаженням з одного напрямку.

Таблиця 2. SWOT аналіз каналізованого регульованого перетину

3.2 РОЗРОБКА ПОПЕРЕЧНИХ ПРОФІЛІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ВУЛИЦЬ НА ПІДХОДАХ ДО ПЕРЕХРЕСТЬ

Обґрунтування вибору розрахункової швидкості на перетині магістралей

Геометричні параметри елементів перетину визначаються значенням розрахункової швидкості руху, а також вимогами до комфортності та безпеки проїзду через відповідні ділянки. Обрана розрахункова швидкість має

відповідати нормативним значенням, установленим залежно від категорії магістралей, що перетинаються.

Нормативна швидкість руху $V_н$ – це гранично допустима швидкість пересування транспортних засобів на перетині з урахуванням вимог безпеки дорожнього руху, встановлених державними стандартами та правилами. Під час проєктування розрахункова швидкість не повинна перевищувати нормативну, що визначається за ДБН [1].

$$V_{розр} \leq V_н \quad (1)$$

Вулиці проектування:

Вул. Газопровідна класифікується як магістраль районного значення відповідно до ДБН [1] і має нормативну швидкість руху 60 км/год.

Пр. Європейського Союзу, який також класифікується як магістраль районного значення відповідно до ДБН [1] і має нормативну швидкість руху 60 км/год.

Згідно з нормами ДБН [1], допустима швидкість $V_н$ має становити не більше 60 км/год, тоді як за правилами дорожнього руху [2] швидкість $V_н$ має становити не більше 50 км/год.

Приймаємо $V_н = 50$ км/год.

З метою досягнення максимальної пропускної здатності перетину, розрахункова швидкість повинна бути не меншою за оптимальне значення швидкості руху через дану ділянку (2).

$$V_з \geq V_{розр} \geq V_{опт}, \quad (2)$$

Задана швидкість $V_з$ буде прийнята на етапі проєктування геометричних елементів схемного ключового перетину (СКП), оскільки проєктований вузол є реальним об'єктом вулично-дорожньої мережі.

Оптимальна швидкість руху $V_{опт}$ — це така швидкість транспортного потоку на перетині, за якої забезпечується теоретично максимальна пропускна здатність перетину за формулою (3):

$$V_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{(l_a + l_б) \cdot 2g \cdot (\varphi + f \pm i)}{k_e - k_1}}, \quad (3)$$

$l_а$ – середня довжина автомобіля (5 м);

$l_б$ – безпечна відстань між автомобілями, що зупинилися (2 – 5 м);

$k_е$ – коефіцієнт нормальних експлуатаційних умов гальмування автомобіля (1,5 – 1,7);

k_1 – коефіцієнт гальмування переднього автомобіля в екстрених умовах (1,0 – 1,2);

g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с^2);

φ – коефіцієнт зчеплення коліс з покриттям проїзної частини (приймається для середніх кліматичних умов 0,4 – 0,45);

f – коефіцієнт опору коченню (для асфальтобетонних покриттів 0,02);

i – поздовжній похил ділянки магістралі.

$$V_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{(5+2) \cdot 2 \cdot 9{,}81 \cdot (0{,}4 + 0{,}02 + 0{,}02)}{1{,}6 - 1{,}1}} = 10{,}99 \text{ м/с} = 39{,}564 \text{ км/год}$$

Приймаємо $V_{\text{опт}} = 40$ км/год.

Оскільки саме перетини обмежують пропускну здатність вулично-дорожньої мережі, виникає потреба у визначенні максимальної пропускної здатності перетину в одному рівні.

Вибір швидкісного режиму на перетині здійснюється з урахуванням характеристик дорожніх умов, типового складу транспортного потоку та просторово-планувальних особливостей прилеглої території.

$$30\left(\frac{\text{км}}{\text{год}}\right) \geq V_{\text{розр на пер}} \geq 40\ \left(\frac{\text{км}}{\text{год}}\right)$$

Приймаємо $V_{\text{розр на пер}} = 30$ км/год.

Визначення необхідної ширини проїзної частини магістральних вулиць

Для визначення ширини проїзної частини магістралей які перетинаються, знаходимо необхідну кількість смуг руху транспорту, для кожної магістралі окремо.

Пропускна спроможність однієї смуги руху на магістралі

Для цього використовуємо формулу (4):

$$N_{\text{см}} = \frac{3600 V_{p\text{озр на маг}}}{l_{\text{а}} + l_{\text{б}} + V_{p\text{озр на маг}} t_p + (k_e - k_1) V^2_{p\text{озр на маг}} / [2g(\phi + f \pm i)]}, \quad (4)$$

$V_{\text{розр на маг}}$ – швидкість руху транспорту, яка приймається залежно від категорії магістралі та умов руху на ній, м/с (див. ДБН [1] табл. 5.1 п. 5.1.1 та згідно правил дорожнього руху [2] для вулиць і доріг з регульованим рухом 50 км/год);

$t_{\text{р}}$ – час реакції водія та період спрацювання гальмівної системи автомобіля (0,5 – 2,0 с).

$l_{\text{а}}$ – довжина розрахункового автомобіля (5 м);

$l_{\text{б}}$ – безпечна відстань між автомобілями, що зупинилися (2 – 5 м);

$k_{\text{е}}$ – коефіцієнт нормальних експлуатаційних умов гальмування транспорту (1,5–1,7);

k_1 – коефіцієнт гальмування автомобіля в екстрених умовах (1,0 – 1,2);

g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с^2);

φ – коефіцієнт зчеплення колеса з покриттям проїзної частини;

f – коефіцієнт опору коченню;

i – поздовжній похил ділянки магістралі.

$$N_{\text{см (3)}} = \frac{3600 * 16{,}7}{5 + 2 + 16{,}7 * 1 + (1{,}6 - 1{,}1) * 16{,}7^2 / [2 * 9{,}81(0{,}4 + 0{,}02 + 0{,}02)]} = 1509 \text{ (авт/год)}$$

$$N_{\text{см (1-2)}} = \frac{3600 * 16{,}7}{5 + 2 + 16{,}7 * 1 + (1{,}6 - 1{,}1) * 16{,}7^2 / [2 * 9{,}81(0{,}4 + 0{,}02 + 0{,}02)]} = 1509 \text{ (авт/год)}$$

Коефіцієнт зниження пропускної здатності магістралі внаслідок світлофорного регулювання

Для цього використовуємо формулу (5):

$$\delta = \frac{L}{L+V_{p\text{озр на маг}}^2/(2a)+V_{p\text{озр на маг}}^2/(2b)+V_{p\text{орз на маг}}(t_\text{ч}+2t_\text{ж})/2}, \quad (5)$$

L – відстань між сусідніми регульованими перетинами на магістралі, м;

a – прискорення автомобіля при розгоні (0,8 – 1,2 м/с^2);

b – сповільнення автомобіля при гальмуванні (0,6 – 1,5 м/с^2);

$t_\text{ч}$, $t_\text{ж}$ – тривалість червоного та жовтого сигналів світлофора для даної магістралі, с.

Відстань між сусідніми регульованими перетинами на магістралі визначається у відповідності до існуючого положення.

Відстані між перетинами на ВДМ:
на магістралі 3 = 525 м
на магістралі 1-2 = 1050 м

Рис. 11 Відстані між перетинами на ВДМ

$$\delta_{(3)} = \frac{525}{525 + \frac{16{,}7^2}{2 * 1} + \frac{16{,}7^2}{2 * 1{,}05} + 16{,}7 * (30 + 2 * 5)/2} = 0{,}46$$

$$\delta_{(1-2)} = \frac{1050}{1050 + \frac{16{,}7^2}{2 * 1} + \frac{16{,}7^2}{2 * 1{,}05} + 16{,}7 * (35 + 2 * 5)/2} = 0{,}61$$

У розрахунках враховується вплив світлофорного регулювання на пропускну здатність перехрестя магістральних вулиць

$$N'_{\text{см}} = N_{\text{см}} \cdot \delta, \qquad (6)$$

де $N'_{\text{см}}$ – пропускна здатність однієї смуги руху транспорту на перегоні;

δ – коефіцієнт впливу світлофорного регулювання на пропускну здатність магістралі.

$$N'_{\text{см (3)}} = 1509 \cdot 0{,}46 = 694 \text{ (авт/год)}$$

$$N'_{\text{см (1-2)}} = 1509 \cdot 0{,}61 = 920 \text{ (авт/год)}$$

Кількість смуг руху транспорту на магістралях

Розрахунок виконується за наступною формулою:

$$n = \frac{N_{\text{розр}}}{N'_{\text{см}}}, \qquad (7)$$

де n – необхідна кількість смуг руху транспорту в одному напрямку (отримана величина округляється в більший бік);

$N_{\text{розр}}$ – максимальна інтенсивність руху транспорту на магістралі в одному напрямку, авт./год.

Таблиця 3.

Перспективна інтенсивність руху транспорту на перетині, прив. од./год.

Напрямки руху		Вихід			
		1	**2**	**3**	
Вхід	**1**	0	190	730	920
	2	170	0	560	730
	3	710	470	0	1180
		880	660	1290	Входів 2830

$$N_{\text{розр (3)}} = 1290 \text{ (авт/год)}$$

$$N_{\text{розр (1–2)}} = 920 \text{ (авт/год)}$$

$$n_{(3)} = \frac{1290}{694} = 1{,}85 \approx 2 \text{(смуги)}$$

$$n_{(1-2)} = \frac{920}{920} = 1 \text{ (смуга)}$$

Розрахована кількість смуг звіряється з нормативами ДБН [1], після чого для проєктування приймається більше з двох значень, але не більше 3 — для магістралей районного значення.

Оскільки фактична кількість смуг є більшою за визначене розрахунком значення, у подальших розрахунках приймаємо:

$$n_{(3)} = 2 \text{ смуги руху в одному напрямку}$$
$$n_{(1-2)} = 2 \text{ смуги руху в одному напрямку}$$

Пропускна здатність магістралей

Для цього використовуємо наступну формулу:

$$N_{\text{маг}} = N'_{\text{см}} \cdot k_n, \quad (8)$$

k_n – коефіцієнт ефективності використання смуг руху транспортом, який приймаємо для однієї смуги руху за 1,0 (за відсутності на перегоні зупинок громадського транспорту або якщо їх влаштовано за межами проїзної частини в «кишенях»), для двох –1,9, для трьох – 2,7, для чотирьох – 3,5.

$N'_{см}$ – встановлена величина пропускної здатності смуги руху транспорту, авт./год.

$$N_{\text{маг (3)}} = 694 \cdot 1{,}9 = 1318 \text{ (авт/год)}$$

$$N_{\text{маг (1-2)}} = 920 \cdot 1{,}9 = 1748 \text{ (авт/год)}$$

Умова забезпечення пропускної здатності магістралі:

$$N_{\text{маг}} \geq N_{\text{розр}}, \quad (9)$$

$$\text{Маг (3): } 1318 > 1290$$
$$\text{Маг } (1-2): 1748 > 920$$

Умови виконуються, переходимо до подальших розрахунків.

Ширина проїзної частини магістралей

Для цього використовуємо таку формулу:

$$B_{\text{маг}} = 2nb + r + 2\Delta, \quad (10)$$

n – прийнята для проєктування кількість смуг руху транспорту;

b – ширина однієї смуги руху транспорту (прийм. відп. до п.7.27 ДБН [1]), м;

r – центральна розділювальна смуга між напрямками руху транспорту (прийм. відп. до п. 5.1.14 ДБН [1]), м;

Δ – ширина укріпленої смуги між крайньою смугою руху і бортовим каменем (прийм. відп. до п. 5.12 ДБН [1]), м.

$$B_{\text{маг (3)}} = 2 * 2 * 3 + 1 + 2 * 0{,}5 = 14 \text{ (м)}$$

$$B_{\text{маг (1–2)}} = 2 * 2 * 3 + 1 + 2 * 0{,}5 = 14 \text{ (м)}$$

3.3 РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ПІШОХІДНОЇ ЧАСТИНИ ТРОТУАРІВ

Ширина тротуарів на магістральних вулицях встановлюється з урахуванням їх категорії та прогнозованої інтенсивності пішохідного руху. У разі наявності заданих показників перспективної розрахункової інтенсивності руху пішоходів, необхідну кількість пішохідних смуг (n) на тротуарі визначають згідно з положеннями ДБН [1]. За відсутності таких даних кількість смуг вважається еквівалентною наявній ширині тротуару.

$$n = N_{\text{зад}}/N_{\text{п.см.}}, \quad (11)$$

Вхід 1 – 1500/800 = 1,87

Вхід 2 – 1200/800 = 1,5

Вхід 3 – 1666/800 = 2,08

$N_{\text{зад}}$ – задана величина інтенсивності пішохідного руху в годину пік.

$N_{\text{п.см.}}$ – пропускна здатність 1 смуги руху.

Таблиця 4

Пропускна здатність смуги руху пішохідної частини тротуарів

Тротуари, розташовані уздовж забудови за наявності в прилеглих будинках магазинів	700
Тротуари, віддалені від будинків з магазинами, а також уздовж громадських будинків і споруд	800
Тротуари в межах зелених насаджень вулиць і доріг	1000
Пішохідні вулиці та доріжки (прогулянкові)	600
Переходи через проїжджу частину в одному рівні	500
Пішохідні тунелі	1000 (750)
Пішохідні містки	2000 (1500)
Сходи	1500 (1250)

Ширину пішохідної частини тротуару $B_{\text{тр}}$ визначаємо за формулою:

$$B_{\text{тр}} = n \cdot 0{,}75, \quad (12)$$

$B_{\text{тр}}$ – ширина пішохідної частини тротуару, м.

Вхід 1 = 1,87*0,75 = 1,40

Вхід 2 = 1,5*0,75 = 1,125

Вхід 3 = 2,08*0,75 = 1,56

Отримане значення порівнюється з нормативними вимогами відповідно до ДБН [1], і для подальшого проєктування приймається більша з величин. У разі відсутності вихідних даних щодо інтенсивності пішохідного руху, ширину пішохідної частини тротуару слід визначати згідно з вимогами ДБН [1], із наступним розрахунком її пропускної здатності. Пропускна здатність пішохідної частини тротуару $N_{\text{тр}}$ визначається за формулою (13):

Вхід 1 = 800*2/0,75 = 2133,3

Вхід 2 = 800*1/0,75 = 1066

Вхід 3 = 800*1,5/0,75 = 1600

Для магістралей районного значення 3 передбачено влаштування тротуарів шириною 2,25 м з одного боку та 4,5 м з іншого, що відповідає вимогами ДБН [1]. Для магістралей 1-2 також приймається аналогічне рішення: 2,25 м та 4,5 м з протилежних боків, оскільки створюється нова пішоходна зона.

Окрім того, згідно з нормативними вимогами ДБН [1], передбачено облаштування розділювальних смуг між проїзною частиною та тротуарами у вигляді **зелених насаджень**, що сприяють підвищенню безпеки руху та покращенню естетичного вигляду міського середовища.

Проєктування велосипедної інфраструктури

Проєктування велосипедної мережі та елементів робимо з врахуванням вимогам ДБН [1] та ДСТУ [5]. Влаштовуємо велосипедні доріжки шириною 2,5 м з двостороннім рухом з одного боку проїзної частини для магістралей 1-2 та 3. За для відповідності параметрів тротуару по пр. Європейського Союзу до ДБН [1] було прийнято рішення перемістити велодоріжку на протилежний бік вулиці.

Поперечні профілі магістралей

Запроектовані поперечні профілі:

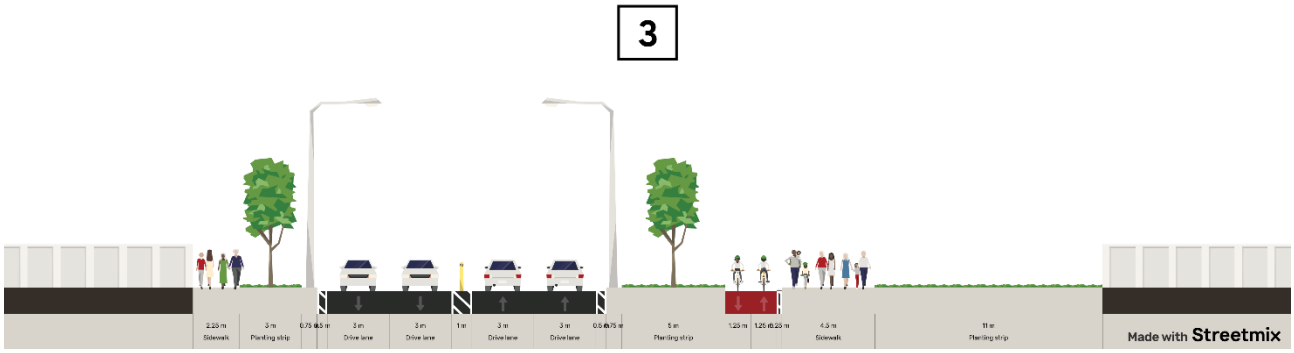


Рис. 12 Поперечний профіль магістралі 3 пр. Європейського Союзу

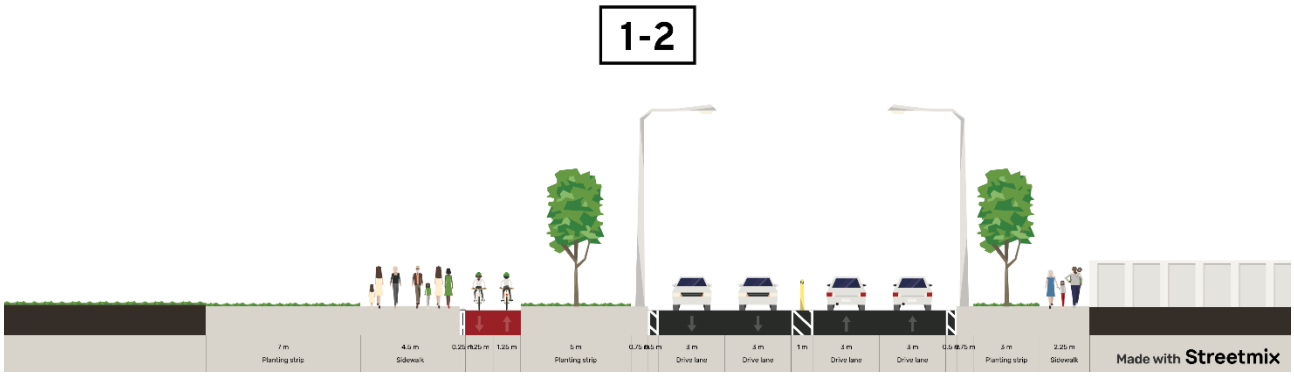


Рис. 13 Поперечний профіль магістралі 1-2 вул. Газопровідна

Існуючі поперечні профілі:

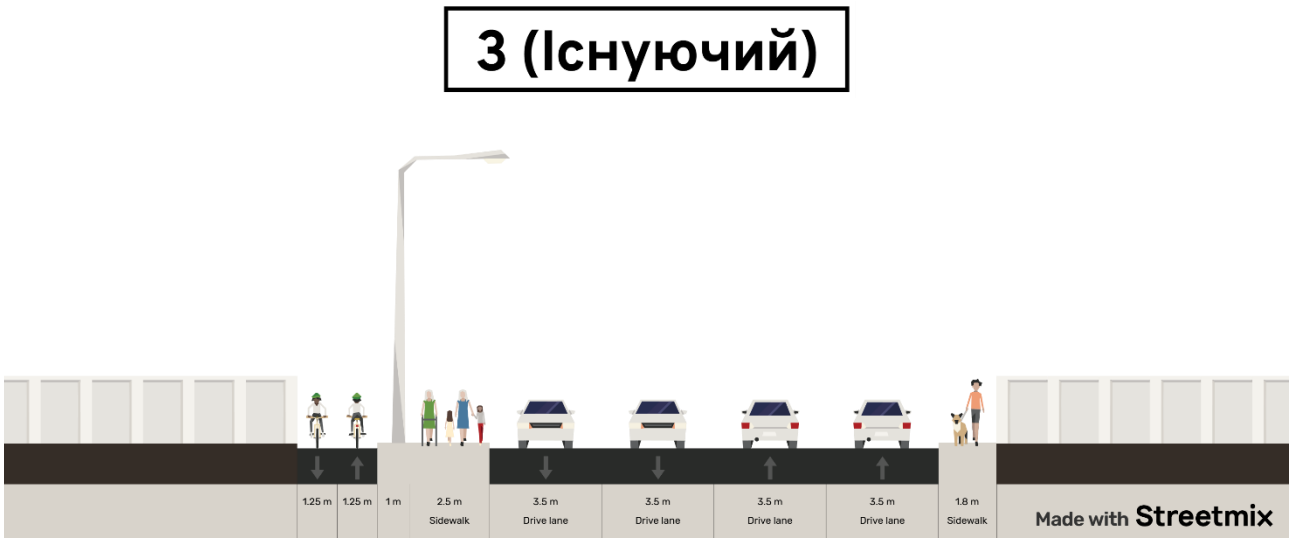


Рис. 14. Поперечний профіль магістралі 3 пр. Європейського Союзу

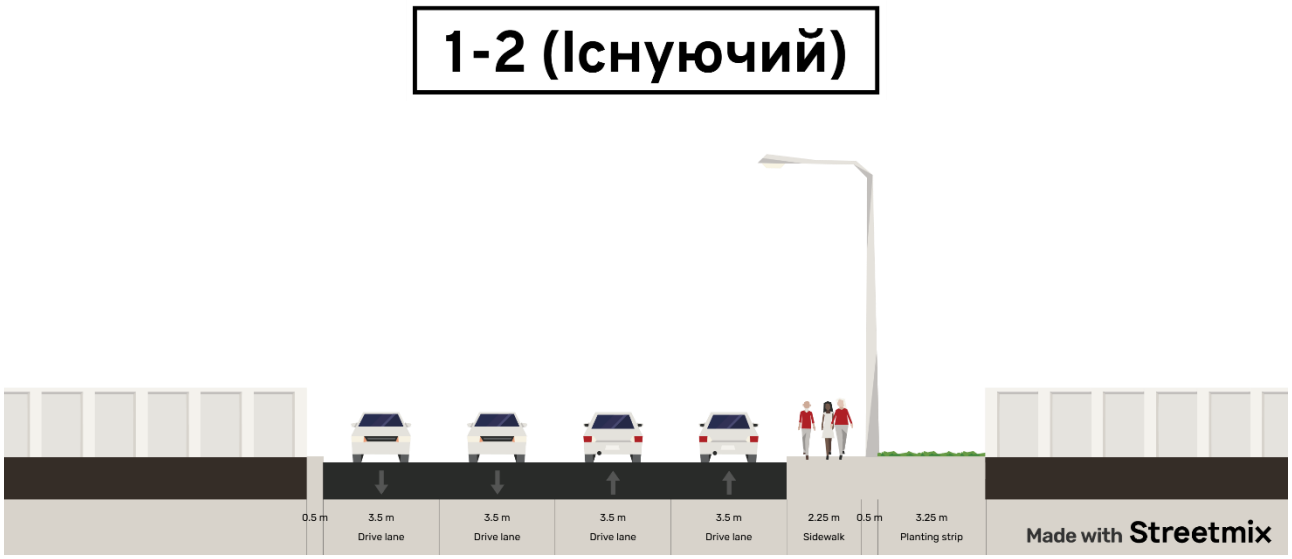


Рис. 15. Поперечний профіль магістралі 1-2 вул. Газопровідна

3.4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕТИНІ МІСЬКИХ МАГІСТРАЛЕЙ

Вибір оптимальної схеми організації дорожнього руху (ОДР) для транспортних і пішохідних потоків на перехресті здійснюється шляхом порівняння розрахункової інтенсивності руху з його пропускною спроможністю. Обґрунтування доцільності впровадження конкретного варіанту ОДР базується на дотриманні умови достатності пропускної здатності, що формалізується у вигляді нерівності (14):

$$\sum N_{\text{пер}} \geq \sum N_{\text{розр}}, \tag{14}$$

$N_{\text{пер}}$ – пропускна здатність перетину, авт/год;

$N_{\text{розр}}$ – розрахункова інтенсивність руху на перетині, авт/год.

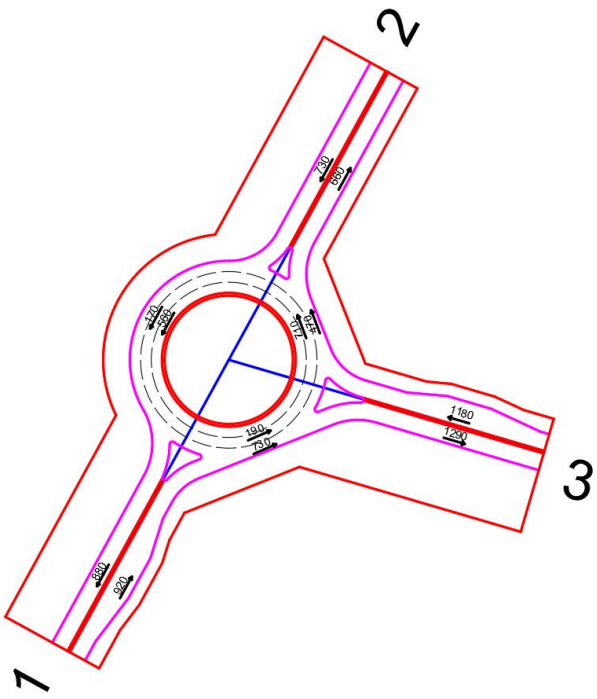


Рис. 16 Схема розрахункової інтенсивності на перетині

Визначення доцільності влаштування нерегульованої схеми ОДР на перетині

Пропускну здатність однієї смуги руху на перетині з нерегульованою схемою ОДР - $N_{\text{см}}$ визначаємо за наступною формулою:

$$N_{\text{см}} = \frac{1800}{t_0}, \tag{15}$$

t_0 – час проходження перетину, що визначається за формулою (16):

$$t_0 = t_{\text{р}} + t_1 + t_2 + t_3 + \Delta t, \tag{16}$$

де $t_{\text{р}}$ – час реакції водія (0,5-2 с, приймаємо 1 с);

t_1 – час вмикання передачі (1-2 с, приймаємо 1 с);

t_2 – час набирання початкової швидкості $V_{\text{поч}}$ = 6 км/год (1-2 с, приймаємо 1 с);

t_3 – час проходження «небезпечної зони» перетину, с, встановлюється за формулою (17);

Δt – час проходження ділянки відстані безпеки завдовжки 10 м (приймаємо 1 с).

Час проходження «небезпечної зони» перетину $t_з$ встановлюємо за формулою (17):

$$t_з = {}^{D}/_{V_{\text{сер}}}, \tag{17}$$

де D – відстань між границями перетину, встановлюється за формулою (18);

$V_{\text{сер}}$ – середня швидкість на перетині, м/с, встановлюється за формулою (19);

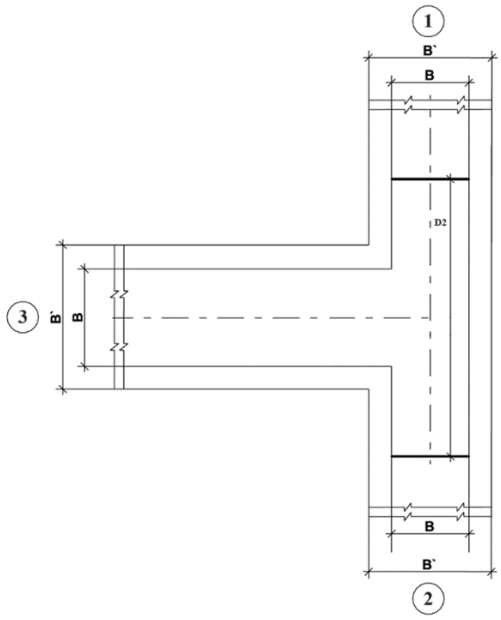
Встановлюємо відстань між границями перетину (рис.5)

$$D = B_{\text{маг}} + l_{\text{а}} + c, \tag{18}$$

де $B_{\text{маг}}$ – розміри проїзної частини магістралей, що перетинаються, встановлюється за формулою (10), для магістралі 1-2 складає 14 м, для магістралі 3 складає 14 м;

$l_{\text{а}}$ – довжина розрахункового автомобіля (приймаємо 5 м);

c – відстань безпеки (приймаємо 10 м).



В – ширина проїзної частини; В` – ширина магістралі в червоних лініях

Рис. 5. Встановлення геометричних границь перетину

Середня швидкість на перетині встановлюється за формулою (19):

$$V_{\text{сер}} = \frac{V_{\text{поч.}} + V_{\text{розр.}}}{2}, \quad (19)$$

$V_{\text{поч}}$ – початкова швидкість руху транспорту на перетині, (приймаємо 6 км/год);

$V_{розр.}$ – прийнята розрахункова швидкість руху транспорту на магістралі.

Здійснюємо розрахунки:

$$N_3 = \frac{1800}{7{,}15} = 251{,}74$$

$$N_{1-2} = \frac{1800}{7{,}15} = 251{,}74$$

$$t_{0_3} = 1 + 1 + 1 + 3{,}15 + 1 = 7{,}15 \text{ (с)}$$

$$t_{0_{1-2}} = 1 + 1 + 1 + 3{,}15 + 1 = 7{,}15 \text{ (с)}$$

$$t_{3_3} = \frac{29}{9{,}2} = 3{,}15 \text{ (с)}$$

$$t_{3_{1-2}} = \frac{29}{9{,}2} = 3{,}15 \text{ (с)}$$

$$D_3 = 14 + 5 + 10 = 29 \text{ (м)}$$

$$D_{1-2} = 14 + 5 + 10 = 29 \text{ (м)}$$

$$V_{\text{сер}} = \frac{1{,}7 + 16{,}7}{2} = 9{,}2 \ (^{\text{м}}/_{\text{с}})$$

Пропускна здатність проїзної частини залежить від кількості смуг руху та прийнятих величин коефіцієнту ефективності використання смуг руху транспортом та визначається окремо для кожної магістралі за формулою (20):

$$N_{\text{п.ч.}} = 2N_{\text{см}} \cdot k_n, \tag{20}$$

$$N_{\text{п.ч 3}} = 2 * 251{,}74 \cdot 1{,}9 = 957 \text{ (авт/год)}$$

$$N_{\text{п.ч 1-2}} = 2 * 251{,}74 \cdot 1{,}9 = 957 \text{ (авт/год)}$$

Пропускна здатність вузла дорівнює сумі пропускних здатностей усіх входів або виходів з нього, визначаємо за формулою (21):

$$N_{\text{пер}} = \Sigma N_{\text{п.ч.}} \tag{21}$$

Робимо розрахунок:

$$N_{\text{пер}} = 957 + 957 = 1914 \text{ (авт/год)}$$

Нерівність (14) не виконується, що свідчить про недостатню пропускну здатність для заданої інтенсивності руху:

$$1914 < 2830$$

Отже, застосування нерегульованої схеми організації дорожнього руху на даному перехресті є недоцільним.

Оцінка доцільності впровадження регульованої схеми організації дорожнього руху на перехресті

Пропускна здатність однієї смуги руху транспорту перетині з регульованою схемою ОДР визначаємо за формулою (21):

$$N_{\text{см}} = \frac{3600 \cdot (t_з - 0{,}5V_0/a)}{t_0 T_{\text{ц}}}, \quad (22)$$

$t_з$ – тривалість зеленого сигналу світлофора для даної магістралі (магістраль 3 – 30 с, магістраль 1-2 – 35 с);

t_o – час, необхідний для проходження стоп-лінії, $t_{\text{р}}+t_1$ (1,5-4 с, приймаємо 2 с);

$T_ц$ – тривалість циклу роботи світлофора на перехресті ($t_ч + t_з + 2t_ж$ згідно завдання 30+35+2*5=75 (с));

$V_{сер}$ – середня швидкість проходження перетину (приймаємо згідно розрахунку за формулою (19), приймаємо 9,2 м/с);

a – прискорення автомобіля при розгоні (0,8 – 1,2 м/с^2, приймаємо 1 м/с^2).

Робимо розрахунок:

$$N_{\text{см (3)}} = \frac{3600 \cdot (30 - 0{,}5 * 9{,}2/1)}{2 * 75} = 610 \text{ (авт/год)}$$

$$N_{\text{см (1–2)}} = \frac{3600 \cdot (35 - 0{,}5 * 9{,}2/1)}{2 * 75} = 730 \text{ (авт/год)}$$

Пропускна здатність проїзної частини магістралей встановлюється за формулою:

$$N_{\text{п.ч.}} = 2N_{\text{см}} \cdot k_n, \quad (23)$$

$$N_{\text{п.ч(3)}} = 2 \cdot 610 \cdot 1{,}9 = 2318 \left(\frac{\text{авт}}{\text{год}}\right)$$

$$N_{\text{п.ч(1–2)}} = 2 \cdot 730 \cdot 1{,}9 = 2774 \left(\frac{\text{авт}}{\text{год}}\right)$$

Величини коефіцієнтів ефективності використання смугу руху транспорту приймаються ті ж, що і у формулі (20).

Пропускна здатність перехрестя перетину при регульованій схемі ОДР:

$$N_{\text{пер}} = \Sigma N_{\text{п.ч.}} \quad (24)$$

$$N_{\text{пер}} = 2318 + 2774 = 5092 \left(\frac{\text{авт}}{\text{год}}\right)$$

Перевіряємо виконання умови нерівності (14), умова виконана:

$$5092 > 2830$$

Хоча регульована схема організації дорожнього руху забезпечує достатню пропускну здатність, влаштування світлофорного об’єкта (СКП) є доцільним з огляду на інші важливі критерії:

- підвищення рівня безпеки дорожнього руху для всіх учасників, особливо пішоходів;
- заспокоєння транспортного потоку за рахунок регулювання швидкості та черговості проїзду;
- резервування території дорожньо-транспортного вузла для майбутнього розвитку інфраструктури та впровадження додаткових технічних засобів організації руху.

3.5 РОЗРАХУНОК ТА ПРОЄКТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ САМОРЕГУЛЬОВАНОГО КІЛЬЦЕВОГО ПЕРЕТИНУ

Для розрахунку геометричних параметрів сучасного кільцевого перетину (СКП) першочергово визначається довжина ліній переплетення. Цей елемент є ключовою складовою конфігурації СКП, оскільки забезпечує безпечне та безконфліктне сполучення транспортних потоків, а також суттєво впливає на пропускну здатність перетину.

Чим більшою є довжина лінії переплетення, тим плавніше відбувається процес злиття й розділення транспортних потоків, що сприяє зменшенню конфліктних ситуацій, покращенню швидкості руху та загальної ефективності роботи кільця.

Визначення довжини лінії переплетення та радіуса внутрішнього кільця R_0 здійснюється відповідно до таблиці 5, яка подає рекомендовані параметри згідно з типом та розмірами СКП.

Таблиця 5

Проєктні параметри СКП

Розрахункова швидкість руху, км/год	Радіус центрального острівця, м	Ширина проїзної частини кільця, м	Довжина ділянки перелаштування (м) при швидкості руху	Найбільша пропускна здатність ділянок перестроювання, од/год,				
				20	30	40	50	60
25	**25**	**8,5**	**25**	**600**	-	-	-	-
30	30	10,0	35	800	-	-	-	-
40	40	11,5	45	1000	1200	-	-	-
50	45	13,0	60	1200	1400	1600	-	-

60	50	14,5	70	1400	1600	1800	-	-
70	55	15,5	80	1200	1400	1600	1400	1200

Приймаємо: L_n = 25 (м); R_0 = 25 (м).

Необхідну кількість смуг руху на СКП визначимо за формулою (24):

$$n = \frac{N_P^{max}}{N_{ПР}} + 1, \quad (25)$$

n – кількість смуг руху в перерізі СКП;

N_P^{max} – максимальна інтенсивність руху на кільці;

$N_{ПР}$ – пропускна здатність ділянок перестроювання (600 авт/год відповідно до таблиці 5).

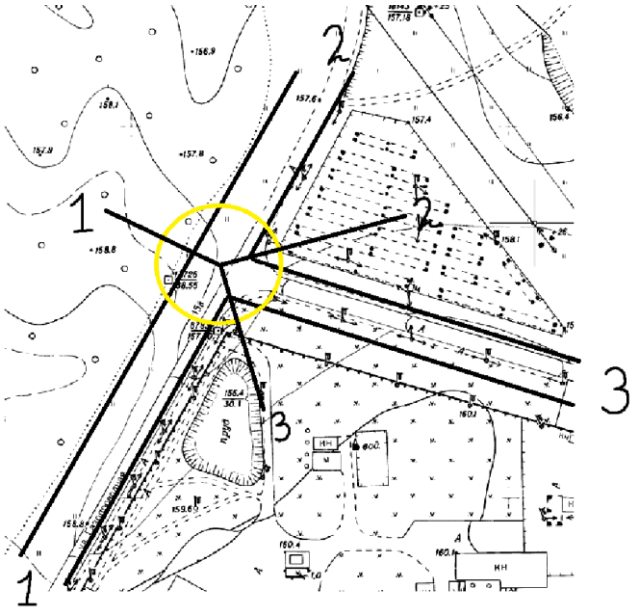


Рис. 17 Загальна розрахункова схема СКП

Для визначення N_P^{max} встановимо інтенсивності у всіх перерізах на кільці. Для цього була заповнена табл. 6:

Встановлення інтенсивності в перерізах кільця

Таблиця 6

	I переріз		II переріз		III переріз	
	Напрям руху транс.	$N_р$авто/год	Напрям руху транс.	$N_р$авто/год	Напрям руху транс.	$N_р$авто/год
1	1-1	0	1-1	0	1-1	0

2	2-1	170	1-2	190	1-2	190
3	2-3	560	2-2	0	1-3	730
4	2-2	0	3-2	470	2-2	0
5	3-1	710	3-1	710	2-3	560
6	3-3	0	3-3	0	3-3	0
	$\sum N_p$	1440	$\sum N_p$	1370	$\sum N_p$	**1480**

$$n = \frac{1480}{600} + 1 = 3{,}46$$

Приймаємо 3 смуги руху на кільці.

Ширина проїзної частини буде дорівнювати:

$$B_K = n \cdot \text{в}, \qquad (26)$$

n – кількість смуг руху на кільці;

$в$ – ширина смуги руху на кільці;

Радіус зовнішнього кільця визначається за формулою:

$$B_K = 3 \cdot 4 = 12 \text{ (м)}$$

$$R_{\text{зовн}} = R_0 + B_k, \qquad (27)$$

R_0 – радіус внутрішнього кільця, м;

$B_к$ – ширина проїзної частини кільця.

$$R_{\text{зовн}} = 25 + 12 = 37 \text{ (м)}$$

Радіус правоповоротного з'їзду $R_{\text{пр}}$ встановлюється або рівним R_0, тобто 25 м. $R_{\text{пр}}$ вхідного (щоб потрапити на СКП) приймаємо 20м, що сприятиме підвищенню безпеки дорожнього руху. Після розрахунку параметрів геометричних елементів виконують планувальне рішення перетину із забезпеченням розрахункових величин усіх геометричних елементів. При цьому повинні враховуватись умови, що виникають на перетині (обмеження території, кут перетину осей магістралей в плані та ін.).

$$R \quad = V^2 \div g \times (e + \phi)$$

R — радіус повороту (м);

V^2 — розрахункова швидкість на повороті (м/с або км/год, але потрібно переводити в м/с!);

g — прискорення вільного падіння, 9,81 м/с^2;

e — поздовжній похил;

ϕ — коефіцієнт зчеплення (0,35–0,45 залежно від покриття і погодних умов).

$$R \quad = 6{,}94^2 \div 9{,}81 \times (0.4 + 0{,}02) = 20{,}3 = 20\text{м}$$

Таким чином, було створено 2 варіанти організації дорожнього руху на перетині вул. Газопровідна та пр. Європейського Союзу:

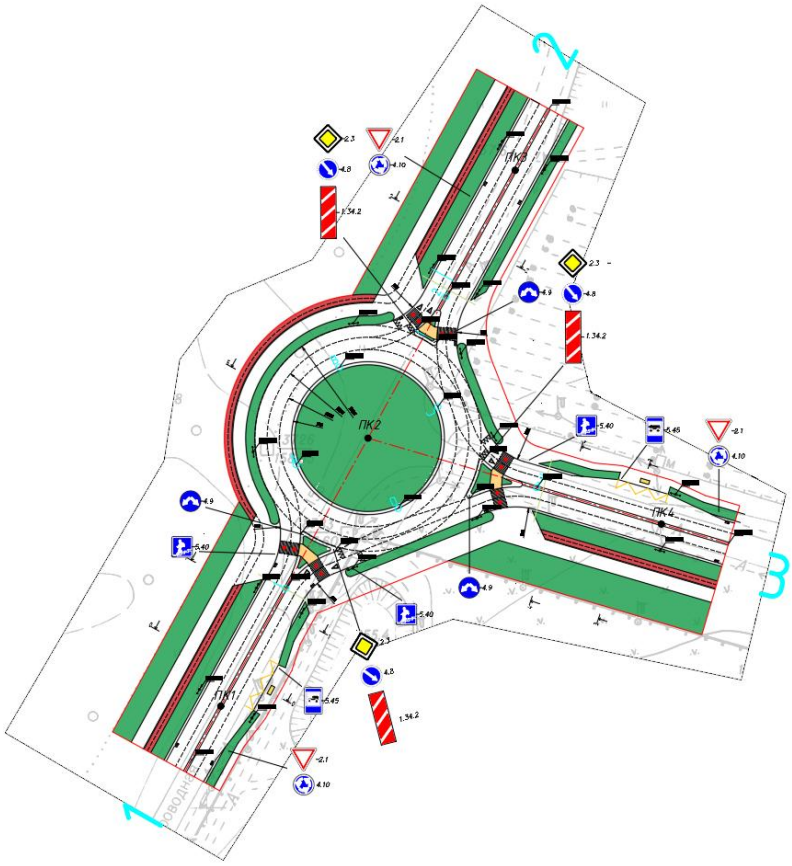


Рис. 18 – (1) Варіант перехрестя з нерегульованим кільцем

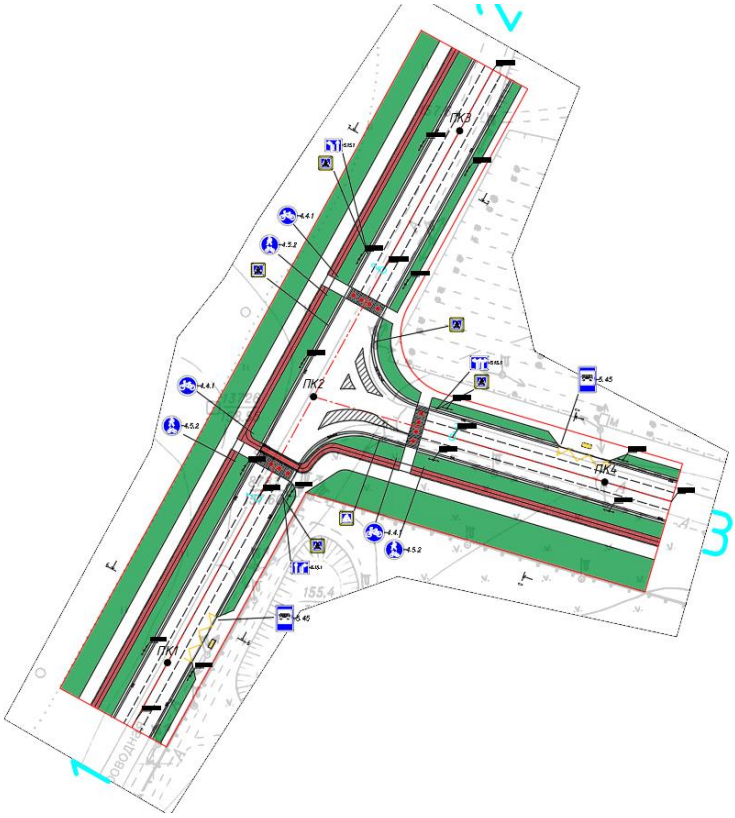


Рис. 19 – (2) Варіант регульованого перехрестя (світлофорне регулювання)

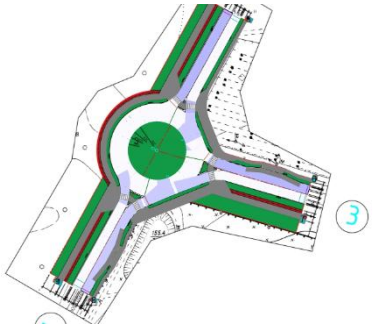
3.6 АНАЛІЗ РІВНЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПІШОХОДІВ ДЛЯ ПРОЕКТНИХ ПРОПОЗИЦІЙ

Оцінка рівня обслуговування пішоходів у рамках проєктних пропозицій здійснювалася шляхом транспортного моделювання за допомогою програмного комплексу PTV Vissim. За його допомогою було отримано кількісні показники рівня пішохідного обслуговування (PLOS) для кожного з проєктних варіантів перехрестя, а також побудовано відповідні картограми, що відображають просторовий розподіл рівнів доступності та комфортності пішохідного руху. Результати аналізу першого варіанту показали, що варіант з нерегульованим кільцевим перетином має середню затримку транспорту: 75,64 с/авто → LOS E

Щільність пішохідного потоку: 0,11 ped/м² → PLOS B

Середня швидкість транспорту: 9,51 км/год

Загальна оцінка: D (загалом – прийнятна робота вузла з добрим пішохідним сервісом)



Картограма Середньої затримки перетині (Варіант №1)

Картограма Щільності пішоходного транспорту на потоку на перетині (Варіант 1)

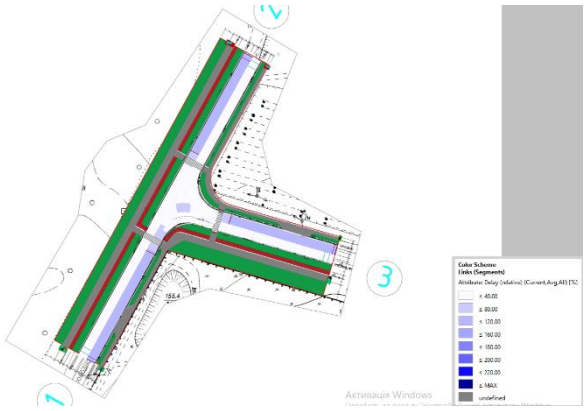
Планувальне рішення №2 (каналізований регульований перетин):

Середня затримка транспорту: 94,87 с/авто → LOS F

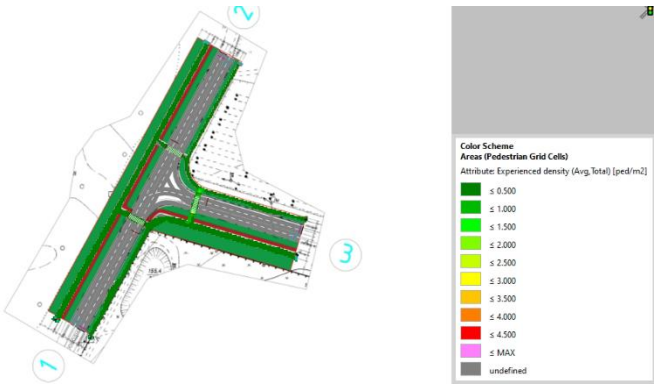
Щільність пішохідного потоку: 0,12 ped/м² → PLOS B

Середня швидкість транспорту: 7,19 км/год

Загальна оцінка: E (покращення для пішоходів, але затримки транспорту залишаються критичними)



Картограма Середньої затримки перетині (Варіант №2)



Картограма Щільності пішоходного транспорту на потоку на перетині (Варіант 2)

Показник	Існуючий варіант	Планувальне рішення №1	Планувальне рішення №2
Середня затримка транспорту на перетині (с/авто)	**120,43**	**75,64**	**94,87**
Щільність пішохідного потоку (ped/м²)	**2,24**	**0,11**	**0,12**
Середня швидкість транспортного потоку на перетині (км/год)	**6,03**	**9,51**	**7,19**

Отже, перевага надається першому варіанту, як такому, що забезпечує кращий баланс між пішохідною та транспортною ефективністю та рівнем обслуговування пішоходів.

3.7 ПРОЄКТУВАННЯ ПОЗДОВЖНІХ ПРОФІЛІВ НА ПЕРЕТИНІ МАГІСТРАЛЬНИХ ВУЛИЦЬ

Поздовжній профіль є ключовим елементом проєктної документації, що відображає висотне положення осі проїзної частини та дозволяє точно визначити параметри повздовжнього нахилу вулиці. Побудова профілю здійснюється на основі топографічної зйомки (наприклад, з топооснови масштабу 1:2000 або даних супутникового моніторингу), а також відповідно до вимог містобудівної документації, включаючи червоні лінії забудови.

Профілі проєктуються в масштабі 1:1000 по горизонталі та 1:100 по вертикалі, що дозволяє чітко відобразити зміни висотних відміток та ухили. Таке співвідношення масштабів надає змогу ефективно аналізувати плавність рельєфу, виявляти критичні зони для дренажу та формувати обґрунтовані інженерні рішення.

Основні цілі проєктування поздовжнього профілю включають:

- Оптимізацію обсягів земляних робіт шляхом вибору раціональних відміток і ухилів.
-

- Забезпечення нормативної безпеки руху через проєктування ухилів, які не перевищують граничні значення згідно з ДБН [1].
- Організацію ефективного водовідведення за рахунок формування необхідних ухилів для природного стоку поверхневих вод.

У першу чергу визначається мінімальний крок між точками зламу поздовжнього профілю (точками зміни ухилу), який встановлюється відповідно до категорії дороги та розрахункової швидкості згідно з табл. 5.7 ДБН В.2.3-5:2018. У межах транспортного вузла ці обмеження можуть коригуватись, зважаючи на особливості геометрії перетинів і вимоги до плавності під'їздів.

Особлива увага приділяється зоні перетину магістралей: важливо забезпечити узгодження висотних відміток осей у місці стикування. Рекомендується починати проєктування з тієї вулиці, яка проходить через більш складний рельєф, оскільки це дозволяє точно визначити основну точку прив'язки. Висотна позначка в точці перетину осей потім слугує базою для формування профілю другої магістралі.

У зонах перехрестя, за можливості, варто уникати використання вертикальних кривих (опуклих або ввігнутих), оскільки це ускладнює геометрію, знижує плавність руху та ускладнює реалізацію поверхневого водовідведення.

Для зручності експлуатації та дренажу рекомендується передбачити поздовжні похили в межах 5–15‰ для обох магістралей. При цьому слід забезпечити плавні переходи між окремими елементами профілю, особливо у місцях зупинок громадського транспорту, пішохідних переходів і зон розвороту.

Проєктування профілів здійснюється окремо для кожної магістралі з обов'язковим дотриманням нормативів, і передбачає наступні етапи:

- Аналіз топографії та існуючих інженерних мереж;
- Визначення точок вертикального проектування (ТП);
- Формування поздовжніх ухилів і зламів;
- Координація висот у межах перетину;
- Перевірка на відповідність ДБН.

Таким чином, ретельне формування поздовжніх профілів дозволяє створити безпечну, ергономічну та технічно обґрунтовану інфраструктуру в межах транспортного вузла.

3.8 ВЕРТИКАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ СКП

Принципи вертикального планування:

Вертикальне планування території магістральних вулиць виконується з обов'язковим дотриманням нормативних вимог щодо безпеки та зручності руху як транспортних засобів, так і пішоходів, а також вимог організації поверхневого водовідведення.

На початковому етапі вертикального планування перетину здійснюється нанесення проєктних горизонталей на підходах до перехрестя з інтервалом 20 см. Після цього виконується деталізація рельєфу безпосередньо в межах перехрестя.

Після побудови проєктної поверхні проїзної частини переходять до формування рельєфу тротуарів, смуг зелених насаджень і направляючих острівців, враховуючи нормативне підвищення останніх над рівнем проїжджої частини, що становить 15 см.

Поздовжні ухили проїзної частини та тротуарів приймаються відповідно до чинних нормативів і становлять 15‰ та 20‰.

3.9 ПЛАНУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ В МЕЖАХ ПЕРЕТИНУ МАГІСТРАЛЕЙ ТА РОЗМІЩЕННЯ ДОЩЕПРИЙМАЛЬНИХ КОЛЕКТОРІВ

Проєктування систем водовідведення повинно здійснюватися з урахуванням місцевих природних умов, архітектурно-планувальних особливостей території та санітарно-гігієнічних вимог. Для ефективного відведення поверхневих вод уздовж магістральних вулиць необхідно дотримуватись нормативних значень мінімальних поздовжніх ухилів проїзної частини.

У місцях накопичення дощового стоку доцільним є влаштування зливоприймальних колодязів, що розміщуються у найнижчих точках проїжджої частини. Проте у межах даної території, враховуючи спокійний (незначний)

рельєф, облаштування таких колодязів не є обов'язковим. Водночас слід передбачити перехоплення стоку з проїзної частини та тротуарів до входу в перехрестя, щоб уникнути підтоплень.

Щодо розміщення інших елементів водовідвідної інфраструктури, при ширині проїзної частини до 30 метрів та відсутності додаткового притоку дощової води з прилеглих територій, схема розташування зливоприймальних пристроїв визначається переважно з урахуванням поздовжнього ухилу магістралі. Згідно з нормативними рекомендаціями, відстані між зливоприймальними колодязями встановлюються наступним чином:

- при ухилі до 4% — 50 м,
- при ухилі 4–6% — 60 м,
- при ухилі 6–10% — 70 м,
- при ухилі 10–30% — 80 м.

3.10 ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ

У процесі влаштування перехрестя значну частину обсягів будівельно-монтажних робіт становлять земляні роботи, до яких належать: розробка виїмок і влаштування насипів ґрунту для формування проїзної частини та пішохідної інфраструктури, а також проведення планувальних і оздоблювальних робіт на всій площі транспортного вузла.

Оцінка обсягів земляних робіт доцільно виконується із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення Autodesk Civil 3D, що дозволяє автоматизувати розрахунки, зменшити вплив людського чинника та підвищити точність отриманих результатів.

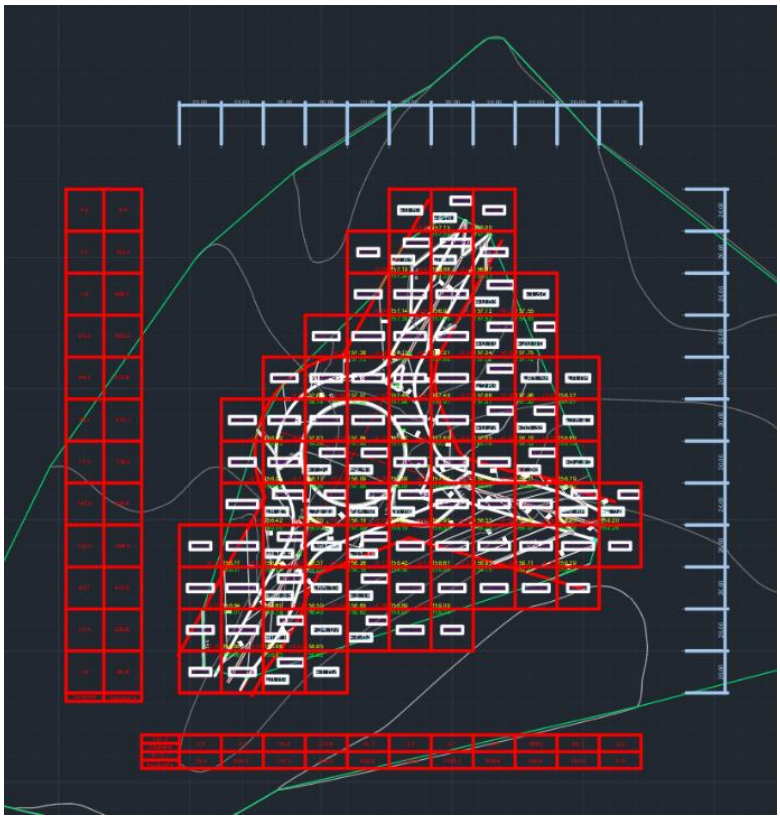


Рис. 20 План земляних робіт для нерегульованого СКП

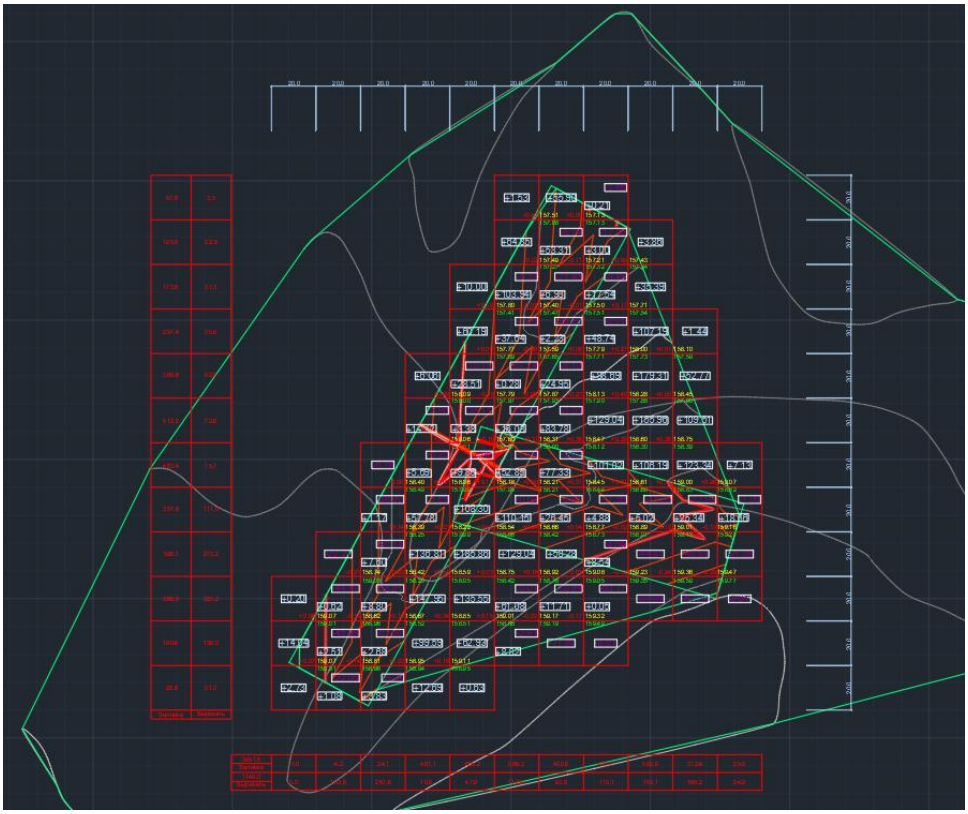


Рис. 21 План земляних робіт для регульованого перехрестя

3.11 КОШТОРИСНО-ФІНАНСОВИЙ РОЗРАХУНОК

Таблиця 7

№ з/п	Види будівельних робіт	Одиниця виміру	Вартість одиниці виміру, грн.	Обсяг робіт Варіант 1	Загальна вартість Варіант 1, грн.	Обсяг робіт Варіант 2	Загальна вартість Варіант 2, грн.
1.	Земляні роботи	$м^3$	300	6874,7	2062410	4599	1379700
2.	Влаштування дорожнього одягу магістралей	$м^2$	4500	6349,5	28572750	4890	22005000
3.	Влаштування дорожнього одягу тротуарів	$м^2$	1500	3394,4	5091600	2636	3954000
4.	Влаштування водовідведення						
4.1	Влаштування або реконструкція дощеприймального колектора	1 м.п.	100000	403,89	40389000	370	37000000
4.2	Влаштування дощеприймальних колодязів	1 шт.	15000	14	210000	13	195000
5.	Влаштування бортового каменю	1 м.п.	500	964,9	482470	692	346000
6.	Влаштування освітлювальних опор	шт.	15000	13	195000	13	195000
7.	Влаштування позавуличного пішохідного переходу	$м^2$	10000	1013,21	10132100	0	0

Проміжна сума					Σ 87135310		Σ 65074700
8.	Перекладка підземних інженерних комунікацій	%	15%	$\Sigma_{(1\text{-}7)} * 0{,}15$	13070296.5		9761205
Остаточна сума					Σ 100205606.5		Σ 74835905

3.12 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЕКТУ

Щорічні витрати на дорожнє господарство включають фінансові ресурси, спрямовані на реконструкцію, капітальний ремонт та утримання дорожнього покриття. Для оцінки економічної доцільності реконструкції перехрестя буде виконано порівняльний розрахунок річних дорожніх витрат у 3 сценаріях: до реконструкції (Д), а також після реалізації першого (Д′) і другого (Д′2) варіантів проєктного рішення.

Такий розрахунок проаналізує динаміку зміни витрат на експлуатацію вулично-дорожньої мережі в результаті реконструкції, включаючи видатки на поточний ремонт, утримання, а також інші супутні витрати, що впливають на загальний стан інфраструктури.

Отримані дані є основою для обґрунтованої оцінки ефективності проєктних рішень, оскільки дають змогу визначити економічний ефект у вигляді зниження експлуатаційних витрат та покращення технічного стану дорожнього покриття в довгостроковій перспективі.

$$Д = 0{,}01 \cdot C_{од} \cdot (p_1 + p_2) + F \cdot a, \quad (31)$$

$C_{од}$ – вартість будівництва дорожнього одягу;

p_1 – щорічний процент відрахувань на реконструкцію та капітальний ремонт дорожнього одягу (у курсовому проєкті рекомендується приймати 5%);

p_2 – щорічний процент відрахувань на поточний ремонт дорожнього одягу (у курсовому проєкті рекомендується приймати 1%);

F – площа дорожнього покриття;

a – вартість утримання м^2 дорожнього покриття перетину, 100 грн.

$$Д = 0{,}01 \cdot 4808{,}44 \cdot 4500 \cdot (5 + 1) + 4808{,}44 \cdot 100 = 1779122.8 \text{ грн}$$

$$Д' = 0{,}01 \cdot 6349{,}5 \cdot 4500 \cdot (5 + 1) + 6349{,}5 \cdot 100 = 2349315 \text{ грн}$$

$$Д'2 = 0{,}01 \cdot 4890 \cdot 4500 \cdot (5 + 1) + 4890 \cdot 100 = 1809300 \text{ грн}$$

У зв'язку зі збільшенням площі дорожнього полотна при реалізації СКП та регульованого перехрестя зі світлофорним регулюванням, можна припустити, що річні дорожні витрати після реконструкції (Д′) будуть вищими за витрати до реконструкції (Д), навіть за умови покращення експлуатаційних характеристик.

$$Д' > Д \tag{32}$$

$$2349315 > 1779122$$

$$1809300 > 1779122$$

Для оцінки ефективності реконструкції по варіантам 1 та 2 у порівнянні з існуючою схемою організації дорожнього руху, доцільно розрахувати величину $\Delta Д$, на яку буде збільшено річні дорожні витрати після реконструкції, у порівнянні з ситуацією до неї:

$$\Delta Д = Д' - Д, \tag{33}$$

де $\Delta Д$ – різниця дорожніх витрат до і після реконструкції, грн.

$$\Delta Д = 2\,349\,315 - 1\,779\,122 = 570\,192 \text{ грн}$$

$$\Delta Д2 = 1\,809\,300 - 1\,779\,122 = 30\,177 \text{ грн}$$

Річні транспортні втрати

(До реконструкції)

Витрати на проходження регульованого перехрестя включають дві основні складові: втрати часу при русі у вільному режимі та втрати, спричинені зупинками транспорту на світлофорі. Для кожної з магістралей ці витрати визначаються за наступною формулою:

$$\sum \text{К} = \ (\sum \text{Т}_{\text{год}} + \sum \text{Т}_{\text{дод}}) \ \times S, \qquad (34)$$

$\sum T_{год}$ – сумарні втрати часу в межах стоп-ліній на перетині до реконструкції;

$\sum T_{дод}$ – сумарні втрати часу на переміщення від меж перетину до стоп-лінії на перетині до реконструкції;

S – прийнята вартість 1 години часу, 172 грн.

Втрати часу в межах стоп-ліній на перетині до реконструкції визначаються за формулою:

$$T_{\text{год}} = N \cdot \frac{t_{\text{К}}+2t_{\text{ж}}}{2 \cdot 3600 \cdot T_{\text{Ц}}} ((t_{\text{к}} + t_{\text{Ж}}) + 0{,}56V) \cdot \frac{365}{\beta}, \qquad (35)$$

$T_{\text{год}}$ – витрати через простій транспорту біля світлофорів при русі у відповідному напрямку, машино-год;

N – інтенсивність руху транспорту у відповідному напрямку, автом/год.

$t_{\text{К}}$ – тривалість червоного сигналу, с;

$t_{\text{Ж}}$ – тривалість жовтого сигналу, с;

$T_{\text{Ц}}$ – тривалість світлофорного циклу, с;

V – розрахункова швидкість прямування на перетині, км/год;

β – коефіцієнт добової нерівномірності руху транспорту.

$$T_{\text{год1}} = 920 \cdot \frac{35 + 2 * 5}{2 \cdot 3600 \cdot 80} ((35 + 5) + 0{,}56 * 30) \cdot \frac{365}{0{,}1} = 11718 \text{ авт/рік}$$

$$T_{\text{год2}} = 730 \cdot \frac{35 + 2 * 5}{2 \cdot 3600 \cdot 80}\big((35 + 5) + 0{,}56 * 30\big) \cdot \frac{365}{0{,}1} = 9298 \text{ авт/рік}$$

$$T_{\text{год3}} = 1180 \cdot \frac{30 + 2 * 5}{2 \cdot 3600 \cdot 70}((30 + 5) + 0{,}56 * 30) \cdot \frac{365}{0{,}1} = 13559 \text{ авт/рік}$$

Розрахунки $T_{\text{год}}$ виконуються для кожного з входів на перетин окремо. Скільки вузол має входів, стільки ж буде розрахунків $T_{\text{год}}$:

$$\sum \text{Т}_{\text{год}} = 34575 \text{ авт/рік}$$

Втрати часу на переміщення від меж перетину після реконструкції до стоп-лінії на перетині до реконструкції визначаються за формулою:

$$\text{Т}_{\text{дод}} = N_{\text{і}} * \frac{S}{V} * \frac{1}{3600} * \frac{365}{\beta}, \quad (37)$$

$N_{\text{і}}$– інтенсивність руху транспорту у відповідному напрямку, авт/год;

S – відстань від меж перетину після реконструкції до стоп-ліній на перетині до реконструкції у відповідному напрямку, м;

b – коефіцієнт добової нерівномірності руху транспорту.

$$\text{Т}_{\text{дод}_1}^{\text{вх}} = 920 * \frac{99{,}3}{8{,}33} * \frac{1}{3600} * \frac{365}{0{,}1} = 11115 \frac{\text{авт}}{\text{рік}}$$

$$\text{Т}_{\text{дод}_1}^{\text{вих}} = 880 * \frac{99{,}3}{8{,}33} * \frac{1}{3600} * \frac{365}{0{,}1} = 10632 \frac{\text{авт}}{\text{рік}}$$

$$\text{Т}_{\text{дод}_2}^{\text{вх}} = 730 * \frac{93{,}2}{8{,}33} * \frac{1}{3600} * \frac{365}{0{,}1} = 8278 \frac{\text{авт}}{\text{рік}}$$

$$\text{Т}_{\text{дод}_2}^{\text{вих}} = 660 * \frac{92{,}2}{8{,}33} * \frac{1}{3600} * \frac{365}{0{,}1} = 7484 \frac{\text{авт}}{\text{рік}}$$

$$\text{Т}_{\text{дод}_3}^{\text{вх}} = 1180 * \frac{103}{8{,}33} * \frac{1}{3600} * \frac{365}{0{,}1} = 14787 \frac{\text{авт}}{\text{рік}}$$

$$\text{Т}_{\text{дод}_3}^{\text{вих}} = 1290 * \frac{103}{8{,}33} * \frac{1}{3600} * \frac{365}{0{,}1} = 16165 \frac{\text{авт}}{\text{рік}}$$

Розрахунки $T_{\text{дод}}$ виконуються для кожного з входів та виходів на перетин окремо. Скільки вузол має входів та виходів, стільки ж буде розрахунків $T_{\text{дод}}$:

$$\sum \text{Т}_{\text{год}} = 68463 \text{ авт/рік}$$

Витрати на проходження регульованого перехрестя:

$$\sum \text{К} = \left(\sum \text{Т}_{\text{год}} + \sum \text{Т}_{\text{дод}}\right) \times S \quad (34)$$

$$\sum К = \ (34575 + 68463) * 172{,}62 = 17\ 786\ 192\ грн$$

Реконструкція 1 варіанту:

З метою спрощення розрахунків визначимо часові витрати водіїв на різних ділянках кільцевого перехрестя (СКП). Для цього буде заповнено таблиці 8, 9 та 10, які містять необхідні вхідні та проміжні дані для подальших обчислень.

Таблиця 8

Напрям в'їзду до перетину (*i*)	Напрям виїзду з перетину магістралей (j)		
	1	2	3
1	0	190	730
2	170	0	560
3	710	470	0

Таблиця 9

Напрям в'їзду до перетину (*i*)	Напрям виїзду з перетину магістралей (j)		
	1	2	3
1	0	23,90	19,66
2	26,62	0	31,94
3	32,50	17,64	0

N_{ij} – інтенсивність руху транспорту в *ij*–напрямку, авт./год.

T_{ij} – час, який витрачає автомобіль для проходження перетину в його межах *ij*–напрямку, с.

Таблиця 10

Напрям в'їзду до перетину (*i*)	Напрям виїзду з перетину магістралей (j)			Всього за напрямами в'їзду
	1	2	3	
1	0	4541	14351.8	18892.8
2	4525.4	0	17886.4	22411.8
3	23075	8290.8	0	31365.8

Всього за напрямами виїзду	27600.4	12831.8	32238.2	72670.4

Для визначення значень у клітинках таблиці 10 необхідно виконати покомірне множення відповідних значень із таблиць 8 та 9.

Річні транспортні витрати $\Sigma K'$ на рух транспорту в межах перетину визначають за формулою:

$$\Sigma K' = \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} /3600 * \frac{365}{\beta} * S, \quad (38)$$

N_{ij} – річна інтенсивність руху транспорту через перетин в ij-напрямку (i-напрям в'їзду до перетину, а j-напрям виїзду з нього), авт.;

T_{ij} – затрати одного екіпажу на рух транспорту в межах перетину в ij-напрямку, с;

S – прийнята вартість 1 години часу, грн.;

β – коефіцієнт добової нерівномірності руху транспорту.

$$\Sigma K' = \frac{72570{,}4}{3600} * \frac{365}{0{,}1} * 172{,}62 = \ 12\ 718\ 592 \text{ грн}$$

Очікуваний соціально-економічний ефект від реконструкції ΔK встановлюється наступним чином:

$$\Delta K = K - K' \ , \quad (39)$$

$$\Delta K = \ 17\ 786\ 192 - 12\ 718\ 592 \ = 5\ 067\ 599 \text{ грн}$$

Термін окупності капіталовкладень

Термін окупності капіталовкладень (T_o) для влаштування перетину магістралей в різних рівнях визначаємо за формулою 40. При цьому для визначення терміну окупності в даному випадку після аналізу можливих

варіантів перетину в одному рівні вибирають можливий найкращий, і визначають тільки можливі непродуктивні підсумкові витрати за рахунок затримок транспорту в період руху в необхідних напрямках через цей варіант перетину магістралей в одному рівні (решту витрат не враховують).

При реконструкції перетину магістралей в різних рівнях термін окупності (T_o) капіталовкладень визначаємо за формулою:

$$T_0 = \frac{\text{С}}{(\text{К}+\text{Д})-(\text{К}'+\text{Д}')}, \quad (40)$$

$$T_0 = \frac{100205606}{(17786192+1779122)-(12\,718\,592+2349315\,)} = 22{,}28 \text{ років}$$

де C – кошторисна вартість варіанта будівництва перетину магістралей, грн.;

K і K' – річні транспортні втрати до та після реконструкції відповідно, грн.;

Д і Д’ – річні дорожні втрати до та після реконструкції відповідно, грн.

Коефіцієнт окупності капіталовкладень

Коефіцієнт ефективність капіталовкладень СКП можна встановити за наступною формулою:

$$E = \frac{1}{T_0} \quad (41)$$

$$E = \frac{1}{22{,}28} = 0{,}0449 = 4{,}49\%$$

Реконструкція 2 варіанту:

Таблиця 11

Напрям в’їзду до перетину (*i*)	Напрям виїзду з перетину магістралей (j)		
	1	2	3

1	0	190	730
2	170	0	560
3	710	470	0

Таблиця 12

Напрям в'їзду до перетину (*i*)	Напрям виїзду з перетину магістралей (j)		
	1	2	3
1	0	43.52	37.43
2	43.52	0	34.55
3	43.02	38.61	0

Таблиця 13

Напрям в'їзду до перетину (*i*)	Напрям виїзду з перетину магістралей (j)			Всього за напрямами в'їзду
	1	2	3	
1	0	8268.8	27323.9	35592.7
2	7398.4	0	19348	26746.4
3	30544.2	18146.7	0	48690.9
Всього за напрямами виїзду	37942.6	26415.5	46671.9	72670.4

$$2\Sigma K' = 19\,432\,193 \text{ грн}$$

$$2\Delta K = 3\,097\,286 \text{ грн}$$

$$2T_0 = 24{,}39 \text{ років}$$

$$E = \frac{1}{22{,}28} = 0{,}0449 = 4{,}09\%$$

Фінансово-економічні показники:

Таблиця 14

	Вид витрат	Одиниця вимірру	Існуюче положення (до реконструкції)	1 Варіант планувального рішення	2 Варіант планувального рішення
.	Річні дорожні витрати, Д	Грн.	1 779122	23 49315	1 809300
.	Різниця дорожніх витрат, $\Delta Д$	Грн.	-	570 192	3 0 177
.	Соціально-економічний ефект ΔK	Грн.	-	5 067 599	3 097 286
..	Термін окупності, T_0	Роки	-	22,28	24,39
	Коефіцієнт окупності, E	%	-	4,49	4 ,09

ВИСНОВОК

Порівняльний аналіз свідчить про доцільність реалізації планувального рішення №1 – кільцевого перетину як найбільш ефективного як з точки зору транспортної роботи, так і з погляду економічної доцільності. Обраний варіант демонструє помітне зниження затримок, покращення умов для пішоходів та вищу швидкість транспортного потоку, що у підсумку забезпечує найбільший економічний виграш серед розглянутих альтернатив.

Планувальне рішення №1 (кільцевий рух) демонструє найкращий баланс між зменшенням затримок (75,64 с/авто), комфортними умовами для пішоходів (щільність 0,11 ped/м² → PLOS B) та підвищенням середньої швидкості транспорту (9,51 км/год).

Планувальне рішення №2 також покращує умови порівняно з існуючим станом, але демонструє вищу середню затримку транспорту (94,87 с/авто) та

нижчу швидкість (7,19 км/год), хоча зберігає прийнятні пішохідні умови (щільність 0,12 ped/м² → PLOS B).

Крім функціональних характеристик, було проведено оцінку економічної ефективності проєктних рішень. За розрахунками:

Планувальне рішення №1 забезпечує найбільший соціально-економічний ефект – 5 067 599 грн на рік, при коефіцієнті окупності 4,49% та терміні окупності 22,28 років.

Планувальне рішення №2 має нижчий соціально-економічний ефект – 3 097 286 грн, коефіцієнт окупності 4,09%, а термін окупності – 24,39 років.

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

4.1 ВЛАШТУВАННЯ ГОБО-ПРОЕКЦІЙНИХ ПІШОХОДНИХ ПЕРЕХОДІВ

У межах досліджуваного перехрестя було зафіксовано знижену якість дорожньої розмітки, зокрема стертість пішохідних переходів та близькість до інтенсивного транспортного потоку. Це створює загрозу безпеці для пішоходів, особливо у вечірні та нічні години.

Гобо-проектор — це спеціальний оптичний пристрій, який проектує світлове зображення (графіку) на дорожнє покриття. Завдяки гобо-шаблонам можливо формувати чітке зображення розмітки пішохідного переходу, логотипу або навіть динамічної анімації, що привертає увагу водіїв.

Гобо-проектори можна ефективно використовувати для візуальної імітації дорожньої розмітки — як альтернатива традиційній фарбі або як ефективне доповнення в умовах недостатньої видимості.

Гобо-проектори для пішохідних переходів — це сучасне технічне рішення, яке використовує світлову проєкцію замість або на додаток до традиційної дорожньої розмітки. Такі проектори встановлюються на опорах освітлення або спеціальних кронштейнах і формують чітке зображення пішохідного переходу («зебри») безпосередньо на дорожнє покриття.

Приклад встановленого гобо-проектора на вул. Магістратській у м. Вінниці

Переваги використання:

- Висока видимість у темну пору доби — на відміну від звичайної фарби, світлова "зебра" добре помітна навіть вночі, у дощ або туман.
- Підвищення безпеки — водії помічають світлову розмітку раніше, що знижує ризик ДТП.
- Можливість інтерактивності — деякі проектори можуть вмикатися автоматично при виявленні пішохода.
- Мінімальне втручання в дорожнє покриття — не потребує фарбування або нанесення пластиків.

- Легке обслуговування — зміну зображення можна здійснити заміною шаблону без демонтажу всього пристрою.

У зв’язку з поганим станом розмітки, а особливо в зонах пішоходних переходів, було запропоновано рішення щодо встановлення шести гобо-проєкторів на обраному варіанті перехрестя з метою усунення виявленої проблеми та підвищенням рівня обслуговування пішоходів.

4.2 ВЛАШТУВАННЯ ОСТРІВЦІВ БЕЗПЕКИ

У рамках покращення умов обслуговування пішоходів у складі першого планувального рішення (нерегульований кільцевий перетин) було запроєктовано три острівці безпеки, розміщені в місцях пішохідних переходів на в’їздах до кільця. Їхнє впровадження дозволяє розділити процес переходу на два етапи, зменшуючи час очікування пішоходів та підвищуючи загальну безпеку в зоні конфлікту з транспортом.

Згідно з вимогами ДБН [1] острівці безпеки повинні проектуватись відповідно до таких положень:

- Острівці безпеки на пішохідних переходах необхідно передбачати шириною не менше 2,0 м, що забезпечує можливість безпечного очікування пішоходів, у тому числі осіб з дитячими візками або з обмеженими можливостями.
- Центральні острівці безпеки повинні мати візуально виразне відокремлення від проїзної частини шляхом відмінностей у типі покриття, фактурі або кольорі. Переважно вони виконуються у піднятому конструктивному рівні з обов’язковим забезпеченням безперешкодного

проходу пішоходів. Такі елементи мають бути позначені дорожньою розміткою або виконані у вигляді зигзагоподібної форми з встановленням бар'єрної огорожі для підвищення рівня безпеки.

- Острівці безпеки мають бути фізично відокремлені від проїзної частини за допомогою підняття рівня, бордюрів або інших конструктивних елементів. Застосування лише горизонтальної розмітки без конструктивного елементу не допускається.

4.3 ОСВІТЛЕННЯ

Опори зовнішнього освітлення, які необхідно відобразити на проєктному плані магістралі, розміщуються конструктивно по обидва боки проїзної частини з інтервалом 40 метрів. Особливий акцент зроблено на освітленні перехресть, відповідно до вимог пунктів 10.8–10.11 ДБН [1].

4.4 ОЗЕЛЕНЕННЯ

Зелені насадження, розміщені вздовж вулиць і доріг, виконують важливу екологічну функцію — зменшують рівень шуму, поглинають пил і шкідливі викиди, а також сприяють покращенню мікроклімату міського середовища. Водночас, відповідно до вимог ДБН [1], пп. 11.2–11.9, розміщення зелених насаджень не повинно створювати перешкод для безпечного руху транспортних засобів та пішоходів. Зокрема, в межах трикутника видимості на перехрестях і пішохідних переходах забороняється висаджування дерев і чагарників заввишки понад 0,5 м, оскільки це може обмежувати оглядовість.

У зв'язку з цим у межах транспортного перетину доцільно передбачити газонне озеленення або інші низькорослі зелені елементи, які не впливають на умови видимості та безпеку руху.

4.5 ДОРОЖНІЙ ОДЯГ

Конструкції дорожнього одягу вулиць, доріг, тротуарів тощо у населених пунктах слід приймати на основі техніко-економічних порівнянь декількох варіантів дорожніх одягів із урахуванням категорії вулиці, перспективної інтенсивності руху та складу транспортного потоку, кліматичних та геолого-

гідрологічних умов наявності будівельних матеріалів, підземних комунікацій та споруд, вимог безпеки дорожнього руху. Тип конструкції дорожнього одягу (рис. 14) приймається згідно з п.8 ДБН [1].

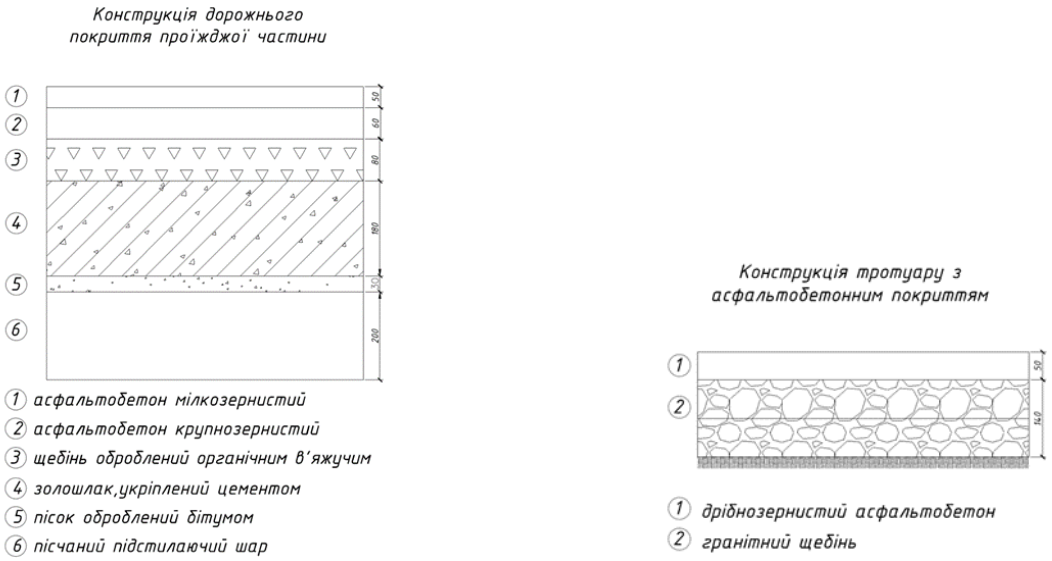


Рис. 14. Розріз конструкції дорожнього одягу

4.6 ЗУПИНКИ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Розміщення та облаштування зупинок громадського транспорту повинні відповідати вимогам ДБН [1, 2]. Згідно з положеннями пп. 5.4.2–5.4.5 ДБН [1], зупинки рекомендується розташовувати за межами перехрестя — на відстані 5–10 метрів від пішохідного переходу, але не ближче ніж за 20 метрів від самого перехрестя, щоб забезпечити належну оглядовість, безпеку руху та зручність висадки/посадки пасажирів.

5. ВИСНОВОКИ

У цій роботі здійснено комплексний аналіз існуючого стану дорожньо-транспортного вузла на перетині вулиці Газопровідної та проспекту Європейського Союзу в місті Києві. На основі вивчення геометричних параметрів перетину, інтенсивності транспортних і пішохідних потоків, рівня конфліктності, а також результатів мікромоделювання у середовищі PTV Vissim, було виявлено низку проблем, що негативно впливають на ефективність та безпеку руху.

Для покращення ситуації розглянуто два інженерно-планувальні рішення — саморегульований кільцевий перетин та каналізований Т-подібний перетин зі

світлофорним регулюванням. Порівняльна оцінка варіантів проводилася з урахуванням показників транспортного обслуговування, рівня сервісу для пішоходів (PLOS), швидкості руху, затримок та організації просторового середовища.

Результати моделювання продемонстрували покращення умов руху в обох варіантах, особливо з точки зору комфортності пересування пішоходів. Запропоновані заходи включають впровадження гобо-проєкторів, облаштування острівців безпеки та відповідність перетину відповідно до вимог ДБН.

У результаті реалізації запропонованих заходів рівень обслуговування пішоходів підвищується, зменшується навантаження на вузол, покращується безпека руху та зростає ефективність транспортної інфраструктури.

6. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5-2018. – [Чинні від 2018–09–01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. – 55 с.
2. Автомобільні дороги. Транспортні розв’язки в одному рівні. Проектування: ГБН В.2.3-37641918-555:2016. – [Чинні від 2016–07–01]. – К.: Міністерство інфраструктури України, 2011. – 58 с.
3. Планування та проєктування велосипедної інфраструктури. Загальні вимоги: ДСТУ 8906:2019. – [Чинний від 2020–10–01]. – К.: ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2020. – 52 с.
4. ПОСТАНОВА КАБІНЕТУ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ від 10 жовтня 2001 р. № 1306 Про Правила дорожнього руху.
5. Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів: ДБН В.2.3-15:2007. – [Чинні від 2007–08–01]. – К.: Мінбуд України, 2007. – 81 с.
6. Міські вулиці і дороги: Методичні вказівки до виконання практичних занять і курсового проєкту для студентів спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" спеціалізації 192102 «Міське будівництво та господарство» / Уклад.:

Осєтрін М.М., Ботвіновська С.І., Плотнікова Д.І, Чередніченко П.П. – Київ, КНУБА, 2017. – 44 с.

7. Осєтрін М.М. Міські дорожньо-транспортні споруди: Навчальний посібник для студентів ВНЗ.- К.: ІЗМН, 1997. – 196 с.

8. Планування та забудова територій: ДБН Б.2.2-12:2019. – [Чинні від 2019–10–01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. – 177 с.

9. Highway Capacity Manual (HCM 2010 / HCM 6th Edition). Transportation Research Board, National Academy of Sciences, USA.

10. Conrad, B., Ferrell, C., & Ragland, D. R. (2011). *PLOS Methodologies and Applications in Urban Design*. University of California, Berkeley.

11. Google Maps: https://www.google.com/maps

12. Google Earth: https://www.google.com/earth/

13. Streetmix – Street Design Tool: https://streetmix.net/

14. EasyWay – Інформаційний сервіс пробок та трафіку: https://www.easyway.info/

15. Gallin, N. (2001). *Quantifying Pedestrian Friendliness – Guidelines for Assessing Pedestrian Level of Service*. Australia.

16. Landis, B., Vattikuti, V., Ottenberg, R., McLeod, D., & Guttenplan, M. (2001). Modeling the roadside walking environment: A pedestrian level of service. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1773*, pp. 82–88.

17. Перший в Україні проекційний пішоходний перехід https://vinbazar.com/news/suspilstvo/u-vinnitsii-vstanovili-pershiy-v-ukrani-proektsiiyniy-pishohidniy-perehid-fotovideo

18. https://misto.vn.ua/misto/pershij-v-ukra%D1%97ni-proekcijnij-pishoxidnij-perexid-zyavivsya-u-vinnici/

19. OpenStreetMap – https://www.openstreetmap.org/

20. Концепція розвитку велосипедної інфраструктури в місті Києві https://u-cycle.org.ua/projects/velokontseptsiia-kyiv/