

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет механіко технологічний**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
транспортних технологій та
(назва кафедри)**

засобів у АПК

_____ **Савченко Л.А.**
(підпис) (ПІБ)

« _____ » _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Організація і моделювання дорожнього руху на вул. Родини
Глаголевих (між вул. Юрія Глушка і вул. Ольжича) у м. Києві

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному
транспорті)

Гарант освітньої програми

К. Т. Н., ДОЦЕНТ _____
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Опалко В.Г.
(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

доктор філософії _____
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Нагорний Т.В.
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Заєць В.В.
(ПІБ студента)

Київ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет механіко технологічний**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

транспортних технологій та засобів у АПК

_____ Савченко Л.А

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

« ____ » _____ 2026

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Заєць Владислав В'ячеславович

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(код і назва)

Тема випускної бакалаврської роботи «Організація і моделювання дорожнього руху на вул. Родини Глаголевих (між вул. Юрія Глушка і вул. Ольжича) у м. Києві»

затверджена наказом ректора НУБіП України від

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до випускної бакалаврської роботи:

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Виконати натурні обстеження геометричних параметрів вулиці. Родини Глаголевих, а також структури й інтенсивності транспортно-пішохідних потоків у пікові періоди.
2. Побудувати детальну цифрову векторну схему наявного стану досліджувальної ділянки в середовищі САПР IndorDraw.

3. Розробити пакет інженерно-проектних рішень щодо оптимізації геометрії проїзної частини, впорядкування паркування, інтеграції велосмуг та дислокації нових ТЗОДР.
4. Розробити та відкалібрувати мікроскопічну імітаційну модель ділянки вулиці Родини Глаголевих в програмному комплексі PTV Vissim відповідно до реальних вихідних даних.
5. Провести порівняльний сценарний аналіз транспортно-експлуатаційних показників функціонування мережі для наявного та проектного варіантів реорганізації руху.

Дата видачі завдання «1» вересня 2025 р.

Керівник випускної бакалаврської роботи _____
(підпис)

Нагорний.Т.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Заєць В.В.
(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему: «Організація і моделювання дорожнього руху на вул. Родини Глаголевих (між вул. Юрія Глушка і вул. Ольжича) у м. Києві».

Робота виконана на 70 сторінках машинописного тексту А-4, що містить 4 формули, 4 таблиці, 10 рисунків, 18 використаних джерел та 6 додатків.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена організації і моделюванню дорожнього руху на вул. Родини Глаголевих (на ділянці між вул. Юрія Глушка і вул. Ольжича) у місті Києві. У роботі розкрито теоретичні основи управління трафіком, проаналізовано наявний стан досліджуваної ділянки, проведено обстеження дорожнього руху на місці та виявляє проблеми й потенційні місця небезпеки. Розроблено комплексний план управління рухом, а також підтверджено зміни у дорожніх знаках, знаках, керівних елементах, а також пішохідній і велосипедній інфраструктурі на основі концепцій «Дорожньої дієти» та «Vision Zero». Для оцінки ефективності цього підходу було створено модель передачі для моделювання існуючих і проєктних станів у PTV Vissim, порівнюючи ключові метрики функціональності сегментів (затримка, швидкість, довжина черги). Запропоновані заходи спрямовані на підвищення безпеки дорожнього руху, оптимізацію операцій, зменшення затримок і покращення дорожніх умов для всіх учасників дорожнього руху.

Ключові слова: організація дорожнього руху, безпека руху, заспокоєння руху, дорожня дієта, мікромоделювання, транспортне планування, PTV Vissim, IndorDraw.

Зміст

РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ.....	10
1.1. Організація та безпека дорожнього руху як предмет транспортних технологій.....	10
1.2. Останні теоретичні і прикладні розробки в Україні та світі.....	13
1.3. Методологія і методика дослідження.....	15
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ПО ВУЛ. РОДИНИ ГЛАГОЛЄВИХ.....	19
2.1. Географічна та містопланувальна характеристика вулиці.....	19
2.2. Польове обстеження організації дорожнього руху на вулиці.....	22
2.3. Розробка комплексної схеми організації дорожнього руху.....	24
2.4. Забезпечення видимості на пішохідних переходах (візуальна каналізація).....	25
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНИХ ЗАХОДІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В СЕРЕДОВИЩІ САПР INDOR DRAW.....	3
3.1. Моделювання та відтворення цифрового двійника наявного стану.....	26
3.2. Обґрунтування та розробка проєктних рішень.....	27
РОЗДІЛ 4 ІМІТАЦІЙНЕ ТРАНСПОРТНЕ МІКРОМОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ.....	38
4.1. Збір вихідних даних для проведення імітаційного транспортного Мікромодельювання.....	38
4.2. Розробка транспортної моделі наявного стану.....	41
4.3. Деталізація параметрів імітаційної мікромоделі в середовищі PTV Vissim.....	44
4.4. Розробка транспортної моделі проєктного стану.....	48

4.5. Математичний апарат оцінки ефективності та параметризація моделювання.....	50
4.6. Аналіз показників ефективності (Measures of Effectiveness) та результатів мікромоделювання.....	55
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63
ДОДАТОК А.....	65
ДОДАТОК Б.....	66
ДОДАТОК В.....	67
ДОДАТОК Г.....	68
ДОДАТОК Д.....	69
ДОДАТОК Е.....	70

Вступ

Актуальність теми. Сучасна тенденція розвитку транспортної системи Києва характеризується критичним рівнем автомобілізації, що значно випереджає темпи модернізації вулично-дорожньої мережі. Ця диспропорція призводить до вичерпання пропускнуої здатності магістральних шляхів та зумовлює надмірне навантаження на другорядну вуличну мережу, яка історично не була розрахована на існуючі інтенсивності руху. [1]

У межах житлового масиву Сирець вулиця Родини Глаголевих (ділянка між вул. Юрія Глушка та вул. Ольжича) виконує функцію вулиці місцевого значення. Вона не лише забезпечує внутрішньо-квартальні зв'язки, але й слугує транзитним коридором для локального трафіку, гарантуючи доступ до об'єктів соціальної інфраструктури (закладів освіти, медичних установ, торговельних точок). Наявна транспортна ситуація вимагає перегляду підходів до організації простору для забезпечення балансу інтересів усіх учасників руху: водіїв, велосипедистів, пішоходів (маломобільних груп населення) та мешканців прилеглих будинків.

Обґрунтування необхідності змін. Поточний стан організації дорожнього руху (ОДР) на об'єкті дослідження не задовольняє вимогам безпеки через наявність локальних конфліктних точок та відсутність системного підходу до зонування вулиці. Основними дестабілізуючими факторами є хаотичний та нерегульований паркувальний простір, що суттєво звужує ефективну ширину проїзної частини та обмежує трикутник видимості на перехрестях і виїздах з дворових територій. Додатковими проблемами є деградація дорожнього покриття та невідповідність дислокації технічних засобів регулювання сучасним параметрам транспортного потоку.

Впровадження змін потребує точного інженерного розрахунку. Використання спеціалізованих інструментів проектування (IndorDraw) та імітаційного моделювання (PTV Vissim) дозволяє не лише візуалізувати, але й верифікувати проектні рішення на етапі розробки. Такий підхід мінімізує

ризика помилкових рішень, дозволяє оцінити вплив змін на пропускну здатність та екологічну ситуацію, забезпечуючи відповідність державним будівельним нормам і національним стандартам України.

Методологічний апарат

Об'єкт дослідження: процеси функціонування транспортних та пішохідних потоків на вулиці Родини Глаголевих у Шевченківському районі м. Києва.

Предмет дослідження: інженерні методи та засоби вдосконалення організації та безпеки дорожнього руху із застосуванням сучасних систем автоматизованого проєктування (САПР) та мікроскопічного моделювання транспортних потоків.

Мета роботи: підвищення ефективності та безпеки дорожнього руху на вул. Родини Глаголевих шляхом розробки та обґрунтування комплексної схеми ОДР на основі цифрового моделювання та сценарного аналізу транспортних ситуацій.

Завдання дослідження:

- Виконати натурні обстеження параметрів вулично-дорожньої мережі, проаналізувати структуру та інтенсивність транспортно-пішохідних потоків у пікові та між пікові періоди доби.
- Побудувати детальну цифрову векторну схему поточної ситуації в середовищі САПР IndorDraw з урахуванням існуючих геометричних обмежень та організації землекористування.
- Сформувати пакет проєктних пропозицій щодо оптимізації геометрії проїзної частини, впорядкування паркувального простору та розміщення технічних засобів регулювання дорожнього руху (знаків, розмітки тощо).
- Розробити мікро модель дорожнього руху в середовищі PTV Vissim, відкалібрувавши її відповідно до реальних показників поведінки водіїв на досліджуваній ділянці.

- Провести порівняльний аналіз транспортно-експлуатаційних показників (затримки, довжина черг, середня швидкість руху, рівень емісії викидів) для базового та проєктного сценаріїв.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у застосуванні комплексного підходу до реорганізації руху на вулиці районного значення з використанням транспортного мікромоделювання для оцінки впливу впорядкування паркування на швидкість сполучення в умовах щільної житлової забудови.

Практичне значення роботи. Розроблена схема ОДР наразі використовується комунальним підприємством КП “Центр організації дорожнього руху” для реалізації заходів з підвищення безпеки руху, а створена імітаційна модель може слугувати основою для подальшого моніторингу транспортної ситуації в житловому масиві Сирець.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

1.1. Організація та безпека дорожнього руху як предмет транспортних технологій.

Наша епоха міського розвитку ознаменувалася шаленим зростанням кількості автомобілів. Можливості: будівництво нових перехресть, розширення доріг і перетворення міських доріг на швидкісні автомагістралі. Однак, ця стратегія виявилася не лише марною, а й шкідливою. Відповідно до принципу індукованого попиту у сфері транспорту, кожна нова смуга негайно заповнюється додатковими автомобілями, що лише збільшує затори. Крім того, орієнтоване на автомобілі планування призводить до деградації довкілля, збільшення шуму та втрати цінного міського простору, що, у свою чергу, перетворюється на безперервне паркування.

З огляду на вищесказане, виникла гостра потреба у запровадженні передових транспортних рішень для більш усвідомленого керування мобільністю. У цьому ключі відбулася кардинальна зміна самого змісту організації дорожнього руху (ОДР). Сучасна ОДР — це не лише встановлення знаків, нанесення розмітки чи налаштування світлофорів. Це комплексна галузь, що опікується управлінням складною системою, яка охоплює "водія, — транспортний засіб, вулично-дорожню інфраструктуру та навколишнє середовище (ВТЗН).

Функціональна спроможність ОДР безпосередньо залежить від глибокого розуміння взаємозв'язку усіх чотирьох компонентів цієї системи:

Водій — найбільш непередбачувана ланка, чий дії детерміновані його психофізіологічним станом, рівнем втоми чи зосередженості.

Транспортний Засіб — технічна одиниця, що володіє певними габаритами, довжиною гальмівного шляху та динамічними характеристиками.

Дорога — інженерна споруда, яка характеризується геометрією, шириною смуг та якістю покриття.

Навколишнє середовище — метеоумови, рівень освітлення, а також містобудівне оточення, що формує візуальний простір.

Раніше відповідальність за події найчастіше приписували лише водієві чи пішоходу. Сучасна наукова парадигма спрямована на вдосконалення елементів Дороги та Навколишнього середовища. Головне завдання полягає у створенні умов, де людська помилка не матиме фатальних наслідків.

Цей підхід нерозривно пов'язаний із двома основними доктринами, на яких ґрунтується сучасна транспортна інженерія:

- «Перевернута піраміда мобільності». При проєктуванні будь-якої міської території найвищий пріоритет надається найбільш вразливим і екологічно безпечним учасникам дорожнього руху: пішоходам і велосипедистам. Далі йде громадський транспорт, бо він найефективніший з точки зору використання простору (може перевозити велику кількість людей і займає мінімум місця на шляху). І лише на останньому, найменш пріоритетному місці залишається приватний автомобіль. Такий розподіл, що є основою європейських планів сталої міської мобільності (SUMP) [2], робить місто справедливим і комфортним для всіх його мешканців, а не лише для власників автомобілів, що також корелює з оновленими вимогами ДБН В.2.3-5:2018 [3].

- Концепція «Vision Zero». Це всесвітньо визнаний стандарт безпеки дорожнього руху, вперше ухвалений у Швеції в 1997 році [4], який стверджує, що жодна смерть чи серйозні травми не можуть бути виправдані потребою у швидкості чи економії часу. Згідно з цією філософією, люди за своєю природою схильні до помилок. Отже, відповідальність за порятунок життів лежить на транспортних інженерах, які зобов'язані спроектувати безпечну

«інфраструктуру, що прощає помилки» [4]. В Україні принципи цієї концепції імплементовані в Національну стратегію у сфері безпеки дорожнього руху до 2030 року [5].

Для практичної реалізації цих засад у сучасній ОДР використовуються такі обов'язкові підходи:

- Заспокоєння руху. Замість того, щоб лише встановлювати знаки обмеження швидкості (які часто ігноруються), вулицю проєктують таким чином, щоб порушувати правила було фізично та психологічно незручно. Для цього свідомо звужують смуги руху (до 3,0 м або менше), монтують захисні островці, підвищують пішохідні переходи, влаштовують кільцеві розв'язки з малим радіусом та спеціальні виступи бордюрів на перехрестях. Це змушує водія рефлекторно знижувати швидкість.

- Безбар'єрне та інклюзивне середовище (універсальний дизайн). Вуличний простір має бути повністю доступним для кожного індивіда. Бордюри, знижені до рівня покриття, тактильна плитка для незрячих, безпечні пандуси з дотриманням кутів нахилу та світлофори зі звуковим сигналом — це сьогодні обов'язкові нормативи для будь-якого проєкту. Важливо усвідомлювати, що безбар'єрність потрібна не лише людям з інвалідністю, а й батькам з дитячими візочками, літнім громадянам, велосипедистам та пасажиром з обтяжливим багажем (тобто усім маломобільним групам населення).

Таким чином, підхід до організації дорожнього руху зазнав суттєвої трансформації. На сьогоднішній день предмет транспортних технологій — це комплексне проєктування гуманного міського середовища. Безпека більше не залежить від збігу обставин чи ідеального знання правил усіма учасниками руху; вона вбудовується на інженерному рівні через саму геометрію вулиці, забезпечуючи захист для кожного людського життя.[18]

1.2. Останні теоретичні і прикладні розробки в Україні та світі.

У світовій практиці проектування міст підхід до безпеки на дорогах докорінно змінився. Раніше вважалося, що головна причина аварій — це неуважність водіїв або порушення правил пішоходами. Проте сьогодні транспортна наука відійшла від постійного звинувачення користувачів. Як зазначалося раніше, завдяки концепції «Vision Zero» (Нульовий травматизм) відповідальність за безпеку перейшла до інженерів та проєктувальників. Систематична концентрація дорожньо-транспортних пригод у місцевих транспортних вузлах зумовлена не лише впливом «людського фактора», а й прорахунками та невідповідністю схем організації дорожнього руху.

Щоб мінімізувати вплив людського фактора та створити інфраструктуру, яка гарантує безпеку, у світі активно застосовуються такі інноваційні прикладні рішення:

- Заспокоєння руху: Практика показала, що звичайні знаки обмеження швидкості малоефективні — водії часто їх ігнорують, якщо ширина та прямолінійність дороги дозволяють їхати швидко. Тому інженери перейшли до методів фізичного стримування. Вони свідомо звужують смуги руху згідно з оновленими нормами ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» для житлових вулиць та вулиць місцевого значення нормативна ширина становить (2,75–3,0 м).[3] Вужчий коридор змушує водіїв концентрувати увагу та інстинктивно знижувати швидкість.[7]

- Повноцінні вулиці: Це підхід, який гарантує, що вулиця буде безпечною, зручною та привабливою для всіх користувачів, незалежно від їхнього віку, фізичних можливостей чи способу пересування. Згідно з цим принципом, простір вулиці розподіляється справедливо, ліквідуючи монополію автомобілів на міський простір.

В Україні протягом останніх років також відбулися надзвичайно важливі зміни. Довгий час вулиці проєктувалися за застарілими радянськими нормами, які стимулювали швидкісний рух у містах. Проте оновлення нормативної бази, зокрема прийняття ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів», нарешті легалізувало передові європейські підходи на державному рівні.[3] Сьогодні проєктувальники зобов'язані звужувати смуги, інтегрувати захищену вело інфраструктуру та дотримуватися жорстких вимог щодо інклюзивності (понижені бордюри, тактильна плитка).

Проте будь-які теоретичні ідеї, навіть найкращі, потребують перевірки ще до того, як їх почнуть будувати. Сьогодні неможливо просто намалювати схему і сподіватися, що вона спрацює. Найбільшим технологічним проривом у розробці схем організації дорожнього руху (ОДР) став перехід до цифрового моделювання. Сьогодні обґрунтувати проєкт без спеціалізованого програмного забезпечення практично неможливо:

- Імітаційне мікромоделювання: Це створення «цифрового двійника» вулиці чи перехрестя. На відміну від сухих математичних розрахунків, ця програма симулює реальну поведінку транспортних і пішохідних потоків. Вона враховує, як машини розганяються, як водії реагують один на одного, і як пішоходи переходять дорогу. Це дозволяє ще на етапі ідеї побачити, чи виникнуть затори, якими будуть затримки в секундах, і як найкраще налаштувати фази світлофора для уникнення черг.

- САПР для дорожньої галузі (на прикладі IndorDraw): Після того як концепція перевірена в симуляторі, створюється точне робоче креслення. Спеціалізовані системи автоматизованого проєктування дозволяють з міліметровою точністю розставити дорожні знаки, нанести розмітку згідно з усіма стандартами (ДСТУ) та автоматично розрахувати кількість необхідних матеріалів (обсяги роб

Саме поєднання цих двох інструментів — високоточного креслення (IndorDraw) та мікромоделювання (PTV Vissim) — формує сучасний підхід доказового проєктування. Це дозволяє інженерам уникати дорогих помилок на етапі будівництва і розробляти дійсно ефективні, стійкі та безпечні схеми організації дорожнього руху.

1.3. Методологія і методика дослідження.

Було створено багатогранний набір інструментів для забезпечення наукової достовірності та практичної корисності отриманих результатів у статті. Її формування базується на взаємодії системного зору, перевірених технологій (особливо повномасштабних вимірювань) та передових засобів обчислювального моделювання.

Теоретичний та методологічний фундамент. Ядром роботи слугує актуальна теорія керування транспортними мережами та ідея функціонального розгляду комплексу підвищеної складності, відомого як «Суб'єкт керування — Транспортний засіб — Дорожнє полотно — Оточення» (СТДО). Такий погляд дає можливість сприймати вулицю Родини Глаголевих не як звичайну інженерну конструкцію з покриттям, а як динамічну структуру з великою кількістю елементів, що переплітаються. У межах цієї доктрини, навіть невелика модифікація окремої змінної (приміром, зменшення ширини смуги руху на декілька сантиметрів) ініціює каскад змін, який напрямую відображається на темпі руху транспорту, здатності вузла пропускати потік та, що критично важливо, на рівні безпеки для перехожих.

Аби охопити увесь спектр цих взаємозалежностей, дослідницька методологія була втілена шляхом проходження чотирьох кроків, що йдуть один за одним:

Методика проведення польових досліджень та збору даних

На початковому та ключовому етапі стоїть завдання здобути незалежну, фактичну інформацію щодо поточного стану досліджуваного об'єкта (т.зв. «Вихідний стан»). Для реалізації цього завдання були задіяні техніки безпосереднього огляду на місці розташування:

- Огляд візуальний та апаратурний: Припускав виїзд на територію з метою документування дійсних габаритів вулиці, застосовуючи високоточні вимірювальні інструменти. Акцентувалася увага на визначенні ширини дорожнього полотна, яке варіюється в межах 6,8–7,0 метрів, але наразі задіяне вкрай нераціонально (що спричиняє безладне залишення транспорту та перевищення допустимої швидкості руху).

- Підрахунок обсягу транспортного потоку: здійснювався у найбільш завантажені години доби. Для усунення впливу суб'єктивного фактора (людського чинника) використовувався метод відеозапису переміщення автівок на ключових розв'язках з наступним аналізом відзнятого матеріалу в умовах офісу. Це дало можливість отримати не тільки точну кількість одиниць транспорту, але й його компонентний склад (співвідношення легкових авто, вантажоперевезень та мінівенів).

- Реєстрація дорожнього обладнання: проведено аналіз наявних знаків та дорожньої розмітки з огляду їхнього фізичного стану та відповідності чинним стандартам. ДСТУ 4100:2021 і ДСТУ 2587:2021[6],[7].

Методика аналітичної обробки та підготовки даних. Дані, зібрані "у полі", не можна безпосередньо подавати у програмне забезпечення; натомість їм необхідний попередній етап обробки:

- Нормалізація за коефіцієнтами: Фізичні категорії транспортних засобів (наприклад, вантажівки) були приведені до еквіваленту легкових автомобілів, використовуючи встановлені нормативні коефіцієнти. Ця процедура є вкрай важливою для визначення справжнього динамічного тиску, який чиниться на п'ятню мережу.

- Математичне розширення вибірки: Дані, отримані в ході коротких замірів (наприклад, за тридцятихвилинні періоди), були розрахунково трансформовані у показники погодинної інтенсивності руху. Це є обов'язковою умовою для коректного функціонування алгоритмів, що застосовуються у мікромодельованні.

Методика цифрового проєктування ОДР (САПР IndorDraw) Зібрану інформацію не можна одразу вносити до програмного забезпечення; спершу вона повинна пройти певну підготовку:

- Щоб підсумувати ці класи транспортних засобів (наприклад, вантажівок) конвертуються у еквівалентні рейтинги легковим автомобілям на основі коефіцієнтів затвердження. Цей процес є ключовим для визначення фактичного динамічного навантаження на дорожнє покриття.

- Екстраполяція даних для більшого періоду: Інформація, зафіксована протягом обмеженого часу (наприклад, тридцятихвилинних інтервалів), була математично перетворена на показники інтенсивності руху в погодинному еквіваленті. Це необхідна передумова для коректної роботи програмних засобів, які використовуються у процесах детального моделювання.

Методика імітаційного мікромодельовання (PTV Vissim). Останній етап нашої методики — електронне підтвердження доцільності запропонованого варіанту. На відміну від старих і незмінних формул, використання мікромодельовання дозволяє враховувати випадковий і непередбачуваний характер поведінки учасників дорожнього руху.

- Створення симуляційної мережі: Моделювання руху базувалося на загальновизнаній у світовій практиці психофізичній моделі слідування за провідним транспортним засобом Wiedemann 74. Вона реалістично імітує, як справжні водії реагують на коливання дистанції та швидкості.

- Техніка множинних симуляцій: Через імпліцитно випадковий характер транспортного потоку, симуляцію повторювали неодноразово, щоразу змінюючи початкові умови для генератора випадкових чисел. Це забезпечило можливість отримати усереднені показники та мінімізувати випадкові помилки.

- Зіставлення критеріїв ефективності: Фундаментальний спосіб оцінки, що полягає у зіставленні таких параметрів, як середній час затримки, максимальна протяжність заторів та середня швидкість руху, для поточної ситуації («Як є») та після впровадження змін («Як буде»).

Використання такої комплексної та багатоступеневої методології забезпечує повне обговорення кожного розташування знаків і встановлених дорожніх знаків. Вона усуває прийняття рішень без підстав і перетворює вулицю родини Глагойових на справді безпечний, доступний і сучасний міський ландшафт для всіх верств населення.

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ПО ВУЛИЦІ РОДИНИ ГЛАГОЛЄВИХ

2.1. Географічна та місто планувальна характеристика вулиці.

У межах адміністративного району вулиця Родини Глаголевих належить до Шевченківського району столиці України. Ці дороги відіграють важливу роль у дорожній мережі історичного житлового району Сірець. Ця вулиця розташована на північно-західній околиці Києва, на плато з відкритим рельєфом і межами. Ці топографічні особливості історично впливали на формування стежок у регіоні. Проєктний майданчик обмежений двома основними регіональними автомагістралями: вулицею Володимир-Сальського та вулицею Ольжича. У загальному транспортному плані міста вулиця класифікується як регіональна житлова, а її основна роль — розподіляти рух транспорту на регіональному рівні.

Історія архітектурного середовища та забудова. Мікрорайони почали набувати сучасного вигляду в другій половині XX століття. Район складається переважно з п'ятиповерхових будівель, типових для 1960-х років. Архітектурна концепція цього «соціалістичного району» полягає у створенні великої кількості зелених зон і майже самодостатніх житлових просторів. Але найбільша проблема сьогодні полягає в тому, що дизайн доріг передбачає надзвичайно низький рівень автомобілізації. Геометричні параметри дороги розраховуються на основі мінімальних стандартів, враховуючи лише регулярний рух професійного транспорту та послуги обмеженої кількості мешканців, таких як лікарі, пожежники та комунальні служби.

Соціальна інфраструктура та рушійні сили транспорту

На вулиці Родини Глаголевих спостерігається висока концентрація житлових будівель поблизу та велика кількість об'єктів, що притягують людей. Зовсім поруч розташовані заклади освіти (загальноосвітні школи, дитячі садочки), які генерують потужні потоки пішоходів та автомобілів, особливо під час ранкових годин пік. Додатково, ця територія межує з просторим рекреаційним районом (Сирецький парк), що провокує значний рух малозахищених учасників дорожнього руху (батьків із дітьми, велосипедистів) у вихідні дні. Планувальною особливістю також є велика кількість виїздів з прибудинкових територій, які не мають регулювання і прилягають прямо до дорожнього полотна. Це породжує численні зони потенційного конфлікту між місцевим трафіком, пішоходами та транспортом, що здійснює транзит.

Особливості ландшафту та довкілля

Сирець завжди мав репутацію району з виразним рельєфом та близькістю до зелених насаджень. Вулиця Родини Глаголевих має помітний поздовжній нахил, що ускладнює збір поверхневих вод та впливає на дистанцію гальмування транспортних засобів. Суттєвим екологічним моментом є велика кількість старезних дерев, висаджених безпосередньо біля бордюрів. Хоча вони з одного боку підтримують сприятливий мікроклімат та слугують природним шумозахистом, з іншого боку, таке розташування спричиняє руйнування асфальтного покриття через розростання коріння, створюючи жорсткі просторові обмеження. Цей чинник унеможлиблює будь-яке розширення проїжджої частини "назовні" і змушує шукати рішення виключно у межах наявних габаритів (тобто, шляхом перерозподілу існуючих 7 метрів дорожнього покриття). Трансформація функціональної ролі (Паразитичний транзит)

У нинішніх реаліях міського планування, призначення вулиці зазнало суттєвих та, відверто кажучи, небажаних трансформацій. Через постійні затори на ключових транспортних шляхах (Олени Теліги, Щусєва, Вавилових) у пікові години, водії масово вдалися до об'їзду цих проблем через досліджувану ділянку. Вулиця, призначена для обслуговування місцевих потреб, почала функціонувати як нехарактерний для неї об'їзд для транзитного транспорту, створюючи так званий «небажаний транзитний потік».

Це спричинило порушення належного співвідношення між спокійним житловим оточенням та потребами руху транспорту. Сьогоднішня конфігурація планування виявляє серйозну системну проблему в локальній мережі: вулиця Родини Глаголевих вже не може безпечно функціонувати відповідно до застарілих принципів організації руху. Її теперішні розміри та методи керування потоками абсолютно не відповідають реально існуючому транспортному тиску та актуальним критеріям безпеки, визначеним концепцією «Vision Zero».

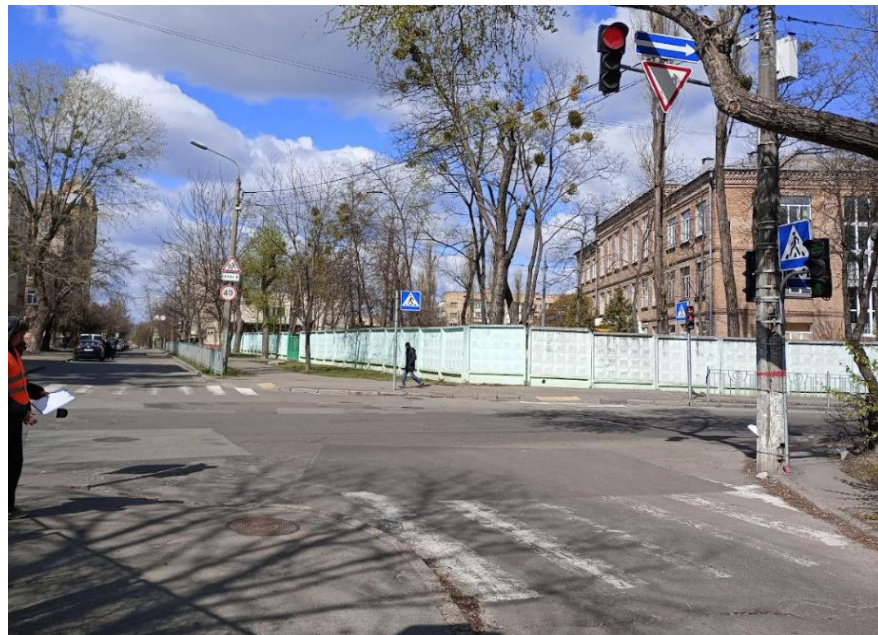


Рисунок 2.1. Загальна панорама вулиці (перехрестя з вул. Володимира Сальського).

2.2. Польове обстеження організації дорожнього руху на вулиці.

Базуючись на детальному обстеженні на місці та візуальному огляді вулиці Родини Глаголевих, було виявлено низку суттєвих вад у поточному плануванні й організації дорожнього руху. Наявний технічний стан дорожньої інфраструктури зовсім не відповідає сучасним вимогам щодо безпеки та пропускної здатності, що підтверджується подальшим розбором:

Умови експлуатації та геометричні характеристики

- Встановлений режим пересування: На цій ділянці запроваджено односторонній рух (регулюється дорожнім знаком 5.5 згідно з чинним ДСТУ 4100:2021)[6]. Це вимушене рішення адже з огляду на існуючу ширину проїзної частини в (7,0 м) та високу щільність прилеглої забудови, односторонній рух дозволяє підтримувати базову пропускну здатність вулиці та мінімізувати зустрічні конфлікти транспортних потоків в умовах дефіциту простору.

- Розміри дорожнього полотна: Поточна ширина асфальтового покриття складає приблизно 7,0 метрів. Згідно з нормативами, визначеними у ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів», такий габарит цілком дозволяє організувати дві коректні смуги для руху (шириною 3,0–3,5 м кожна) або ж одну транзитну смугу з облаштованою зоною для паралельного паркування.[3] Однак, через відсутність чіткої горизонтальної розмітки, цей простір використовується хаотично, зводячи нанівець увесь інженерний потенціал, закладений у проєкті вулиці.

- Стан дорожнього покриття: Було зафіксовано багато дефектів. Він має глибокі отвори (поздовжні та поперечні мережі), які охоплюють до 30% площі. Особливо помітні сильні хвилясті вигини асфальту, які виникають через ріст кореневої системи дерев, посаджених біля кордону. Це змушує водіїв виконувати непередбачувані маневри, що призводить до раптових змін траєкторії руху і створює пряму загрозу дорожньо-транспортних пригод.

Проблеми з паркувальними місцями

Неконтрольоване залишення транспортних засобів на дорозі є основним фактором, що підриває стабільність руху, що призводить до значного зниження якості обслуговування (рівень обслуговування – LoS) у цьому районі.

- Зменшена пропускна здатність: Якщо автомобіль припаркований по обидва боки дороги, робоча ширина зменшується до менш ніж 3,0 метрів, через що вулиця виглядає як вузький «прохід». У найбільш завантажені часи коротка зупинка автомобіля для висадки пасажирів або розвантаження багажу призведе до повної блокади однієї смуги та негайного затору.

- Порушення видимості за правилами: безладне паркування, яке ігнорує норму відстані до перехресть та виїздів з прилеглих територій (менше 10 метрів), знищує «трикутник видимості», необхідний для безпеки. Це створює небезпечні «сліпі зони». Пішоходи (особливо діти) не видно водіям, доки вони не виїжджають безпосередньо на дорогу.

Технічні методи регулювання руху та обладнання світлофорів.

Організація технічних засобів для поточного регулювання руху не відповідає поточному обсягу руху.

- Дорожні знаки: значна частина дорожніх знаків прихована кронами дерев, що є серйозним порушенням вимог ДСТУ4100:2021. Передня частина знак має бути видима на відстані не менше 100 метрів. [6]

- Застарілий контроль сигналів: Світлофорні об'єкти на важливих перехрестях працюють за фіксованою циклограмою. Цей спосіб роботи не враховує випадковість (ймовірність) руху транспорту та нерівномірність дня. У результаті, жорсткого світлофорного регулювання за умов конфліктних транспортних потоків призводить до затримок та втрат часу учасників руху. Це не лише створює зайві простой в транспортній мережі, а й заохочує пішоходів ігнорувати сигнали світлофора, підриваючи загальну безпеку цього перехрестя.

2.3. Розробка комплексної схеми організації дорожнього руху.

На основі ретельного аналізу недоліків, виявлених під час інспекції на місці, для вулиці Родини Глаголевих було розроблено комплексну схему організації дорожнього руху. Основна ідея проєкту базується на принципах тактичного урбанізму і спрямована на покращення міського простору вулиць шляхом встановлення нових дорожніх знаків та інших ТЗРДР. Такий підхід дозволяє уникнути високовартісної капітальної реконструкції забезпечивши швидке та економічно вигідне покращення безпеки та оптимізацію транспортних потоків.

- Реорганізація смуг руху («дорожня дієта») Пропонується раціональний перерозподіл дорожнього простору через чітке функціональне розподілення зон з урахуванням існуючої ширини дороги (7,0 метра) та збереженням одностороннього режиму руху. Це сучасний приклад інженерного заходу, який називається «дорожньою дієтою», яка ділить надто великий простір на окремі функціональні зони.

- Смуги для руху моторизованого транспорту (3,0 м): Згідно з останніми будівельними нормами (ДБН), звуження смуг руху до 3,0 метрів є найефективнішим заходом заспокоєнням руху. Вужчий коридор руху психологічно робить водія більш уважним і змушує сповільнюється до безпечних 30-40 км/год. [3]

- Зона паркування (2.3-2,5 м): Передбачає виділення зони для паралельної парковки транспортних засобів з одного боку проїзної частини. Це рішення повністю легалізує та впорядковує паркувальний простір для місцевих мешканців. Чітко окреслені межі паркувальних місць запобігають хаотичному паркуванню з обох боків вулиці, ліквідують небезпечний ефект вузького тунелю та стабілізують ефективну ширину проїжджої частини.

- Велосипедна смуга (1,5 м): Облаштування відокремленої односторонньої велосипедної смуги в межах проїзної частини. Таке

просторове рішення не лише сприяє розвитку сталої екологічної мікромобільності, а й слугують додатковим буфером безпеки, відокремлюючи пішоходів від потоку транспорту.[11]

У сукупності ці три функціональні зони (3,0 + 2,5 + 1,5) максимально раціонально та ефективно використовують доступні 7,0 метрів ширини дороги. Цей перерозподіл, заснований на принципі «дорожньої дієти», перетворює неорганізований асфальтовий простір на безпечні та добре структуровані дороги та дорожню інфраструктуру.

2.4. Забезпечення видимості на пішохідних переходах (візуальна каналізація).

Головна загроза для пішоходів (особливо для дітей) — це «мертва зона», яку створюють автомобілі, припарковані біля пішохідних переходів. Оскільки проект не передбачає масштабних робіт з фізичного розширення тротуарів, для подолання цієї проблеми будуть використані візуальні орієнтації руху.

- Буферний простір для видимості: Дорожня розмітка 1.16.1 (що вказують на буферні зони) встановлюються безпосередньо перед нерегульованим пішохідним переходом. [12]

Візуальні та фізичні просторові обмеження: Ці затінені зони слугують буферними зонами для інфраструктури, не даючи транспортним засобам паркуватися в межах 10 метрів від пішохідного переходу, забезпечуючи суворе дотримання дорожніх стандартів.

Такий базовий захід складається з фарби і забезпечує вільний простір перед пішохідною зоною («зеброю»). Важливий «трикутник зору» між водієм і пішоходом повертається. Водій сказав, що вчасно людина підійшла до пішохідного переходу, і пішохід можливість безпечно оцінити транспортний потік, перш ніж ступити на дорогу

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНИХ ЗАХОДІВ З УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В СЕРЕДОВИЩІ САПР INDOR DRAW

3.1. Моделювання та відтворення цифрового двійника наявного стану.

Процес розробки інженерного рішення починається з точної цифрової моделі поточного стану досліджуваного об'єкта. САПР IndorDraw дозволяє проєктувальникам інтегрувати натурних обстежень та топографо-геодезичних зніманих у єдине векторне середовище для подальшого аналізу та розробки схем ОДР.

Методика побудови наявної частини:

- **Формування підоснови:** Для забезпечення високої геометричної точності імітаційної моделі до розрахункового середовища було інтегровано актуальну цифрову топографічну основу масштабу 1:500, надану КП «Центр організації дорожнього руху» (КП ЦОДР). Процес калібрування використовує точки відмінності (кути будівель і лінії огорожі колон) як орієнтири, що зменшує помилки при копіюванні геометричних параметрів вулиць.
- **Детальне трасування інфраструктури:** На базі інтегрованої топографічної підоснови було виконано точну векторизацію (трасування) фактичних меж проїзної частини. Встановлено, що наявна ширина асфальтобетонного покриття в межах досліджуваної ділянки є нестабільною і варіюється в діапазоні від 6,8 до 7,0 метрів.
- **Інвентаризація існуючих ТЗР:** Поточне розташування дорожніх знаків (зокрема, знака 5.5 «Дорога з одностороннім рухом», знаків пріоритету та знак 5.31 «Житлова зона») було перенесено на цей режим.

Цифрова модель чітко показує проблему. Відсутність чистого каналу води призводить до неефективного використання 7-метрової дорожньої площі, що підтверджує необхідність переходу в режим проектування.

3.2. Обґрунтування та розробка проєктних рішень (Проектний стан).

Проектний стан організації дорожнього руху (ОДР) для вулиці Родини Глаголевих, згенерований у спеціалізованому середовищі IndorDraw, базується на передовій світовій концепції перерозподілу вуличного простору («дорожній дієті»). Такий підхід дозволяє оптимізувати пропускну здатність та радикально підвищити безпеку виключно методами нанесення нової розмітки та встановлення дорожніх знаків, без проведення капітальної реконструкції з перенесенням бортового каменю. Це робить проєкт найбільш економічно доцільним та швидким у впровадженні. Основний акцент зроблено на безкомпромісному приведенні параметрів вулиці у відповідність до сучасних європейських норм, імплементованих у ДБН В.2.3-5:2018 та ДСТУ 4100:2021.[3],[6]

Ключові вектори інфраструктурної модернізації реалізовані в IndorDraw наступним чином:

Реорганізація геометричного профілю проїзної частини

З метою ліквідації хаотичного руху та нераціонального використання наявних 7,0 метрів ширини асфальтобетонного полотна, було проведено суворе функціональне зонування поперечного профілю:

- **Транзитна смуга руху (3,0 м):** Основна смуга для руху автомобільного транспорту запроектована з нормативним звуженням до 3,0 м. З точки зору транспортної психології, це є інструментом створення «саморегульованої дороги». Вужчий візуальний коридор змушує водіїв підсвідомо концентрувати увагу та знижувати швидкість, що унеможливорює транзитні перегони житловою вулицею.

- Паркувальний простір (2,5 м): Для впорядкування стоянки транспортних засобів місцевих мешканців виділено окрему смугу шириною 2,5 м з лівого боку вулиці. Це дозволяє чітко розмежувати зони статички (паркування) та динаміки (рух потоку). Завдяки цьому повністю ліквідується небезпечний ефект вузького «тунелю» та унеможливорюється блокування вулиці під час зупинки авто.
- Велосипедна інфраструктура (1,5 м): Уздовж правого боку вулиці запроєктовано відокремлену велосипедну смугу шириною 1,5 м. Вона інтегрує мікрорайон у загальноміську веломережу згідно з міською концепцією розвитку велосипедної інфраструктури та виділяється новою горизонтальною розміткою з обов'язковим дублюванням піктограм 1.29, що робить рух велосипедистів передбачуваним для водіїв.[16]

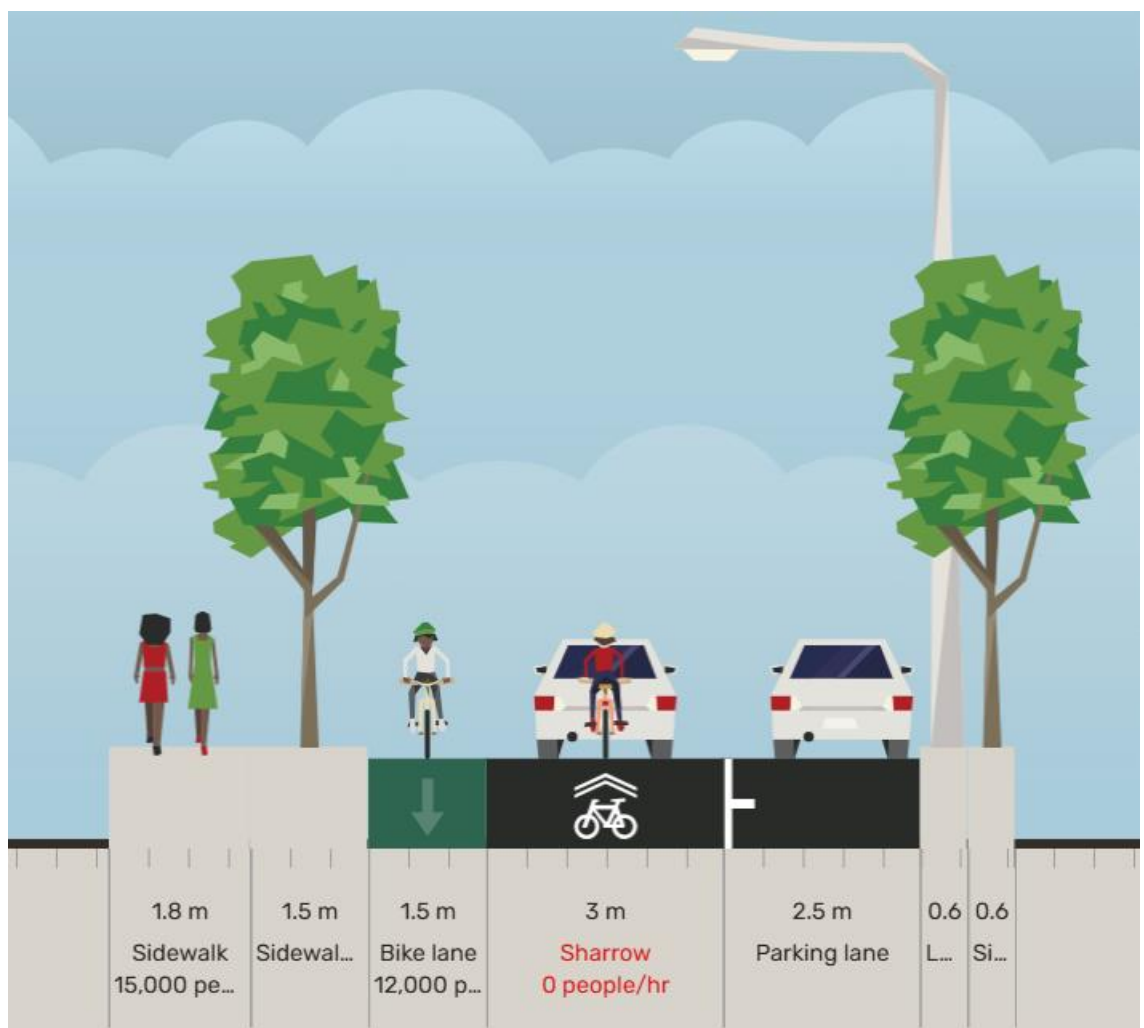


Рисунок 3.1. Майбутній план вулиці

Забезпечення безпеки та доступності для пішоходів. Найвищим пріоритетом проєкту є інклюзивність та ліквідація «сліпих зон». Для цього в проєкт закладено такі інженерні заходи:

- Модернізація та збереження переходів: Більшість пішохідних переходів у проєкті є новими, з нанесенням розмітки 1.14.1 («Зебра») із застосуванням зносостійкого холодного пластику. Однак, на основі аналізу усталених пішохідних зв'язків та згідно з технічним завданням, було прийнято рішення про збереження історичних локацій окремих переходів. Зокрема: на вузлі примикання до вул. Юрія Глушка (1-ше перехрестя) правий та верхній переходи залишено на існуючих осях; на перетині з вул. Ольжича (2-ге перехрестя) збережено просторову конфігурацію всіх старих переходів. Це дозволяє не порушувати звички місцевих мешканців, але при цьому суттєво підвищити рівень їх безпеки за рахунок нового маркування.

- Візуальне каналізування (Антикишені): Найбільша інновація проєкту — нанесення напрямних острівців (розмітка 1.16.1) безпосередньо перед усіма переходами в зоні паркування. Ці заштриховані зони виконують функцію віртуальних «антикишень». Вони унеможливають паркування автомобілів ближче ніж за 10 метрів до «зебри», гарантуючи ідеальний нормативний трикутник видимості «водій-пішохід».

- Тактильна навігація: У місцях сполучення тротуарів з проїзною частиною на переходах передбачено вкладання попереджувальної (з конусами) та прямої (з поздовжніми рифами) тактильної плитки. Це є обов'язковим елементом безбар'єрного середовища для осіб з порушеннями зору відповідно до державних вимог з інклюзивності простору. [15]

Типове обладнання пішохідного переходу попереджувальною тактильною плиткою

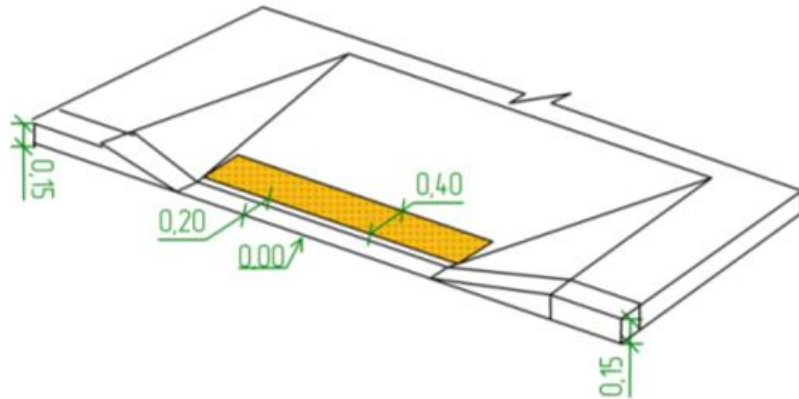


Рисунок 3.2. Типове обладнання пішохідного переходу
попереджувальною тактильною плиткою

Джерело: КП «Центр організації дорожнього руху»

Впровадження нової системи технічних засобів регулювання Для забезпечення стовідсоткової читабельності нової схеми ОДР, у проєкті повністю оновлено дислокацію дорожніх знаків та розмітки. Застосовано наступні технічні засоби:

1. Попереджувальні знаки:

1.34 «Виїзд велосипедистів»: Попереджує водія, коли велосипедист під'їжджає або перетинає її. Велосипедна інфраструктура встановлена перед вузлами, що прилягають до автомобільної інфраструктури.[9]

2. Знаки пріоритету:

2.3 «Головна дорога»: Надає право першочергового проїзду нерегульованих перехресть. Використовуються для чіткого позначення основного напрямку вулиці та зменшення конфліктів. [9]

2.4 «Кінець головної дороги»: Відмінняє право першочергового проїзду, попереджаючи водія про зміну статусу дороги перед складними або рівнозначними перехрестями. [9]

3. Заборонні знаки:

3.21 «В'їзд заборонено»: Забороняє в'їзд усіх транспортних засобів. У межах проєкту встановлюється з протилежного боку вулиці це потрібно для запобігання руху в зустрічному русі. [9]

3.29 «Обмеження максимальної швидкості (30 км/год)»: Ключовий інструмент концепції «Vision Zero». Запровадження ліміту 30 км/год у межах житлового кварталу знижує ризик фатальних наслідків при ДТП з пішоходом практично до нуля. [9]

3.34 «Зупинку заборонено»: Він встановлюється там, де паркування або зупинка фактично перекриває транзитну смугу (3,0 м) або створить «сліпі зони» перед пішохідними переходами та перехрестями. [9]

4. Наказові знаки:

4.14 «Доріжка для пішоходів і велосипедистів»: Використовується локально для означення спільних зон руху в місцях розширення тротуарів або переривання велосмути. [9]

4.23 «Дорога для суміщеного руху легкових автомобілів та велосипедистів»: Встановлюється на ділянках, де відокремлена велосипедна смуга тимчасово переривається, і велосипедисти безпечно рухаються у спільному потоці з автомобілями. [9]

4.24 «Кінець дороги для суміщеного руху легкових автомобілів та велосипедистів»: Позначає межу, де спільний рух завершується і починається звичайний режим розділення потоків. [9]

5. Інформаційно-вказівні знаки:

5.5 «Дорога з одностороннім рухом»: Підтверджує встановлений режим руху та обов'язково дублюється після кожного перехрестя, щоб уникнути руху зустрічним курсом транзитних авто. [9]

5.20.1 «Початок додаткової смуги руху»: Інформує учасників руху про появу нової цільової смуги (у даному проєкті може маркувати початок виділеної зони для легального паркування або велосипедної смуги). [9]

5.34 «Житлова зона»: Встановлюється на всіх з'їздах до прибудинкових територій, надаючи абсолютний пріоритет пішоходам. [9]

5.38.1 / 5.38.2 «Пішохідний перехід»: Знак вказує місця, де організовані пішоходи можуть перейти дорогу. [9]

5.43 «Зона стоянки»: Чітко маркує початок та кінець легалізованої 2,5-метрової смуги паркування. [9]

5.45.1 / 5.45.2 «Пункт зупинки автобуса» (та кінець пункту): Визначають точні просторові межі інфраструктури для посадки та висадки пасажирів маршрутних транспортних засобів. [9]

5.69 «Місце зупинки» Місце зупинки транспортних засобів під час дії заборонного сигналу світлофора (регулювальника) чи перед залізничними переїздами, рух через які регулюється світлофорами. [9]

5.88 «Велосипедна смуга»: Знак маркує виділену на проїзній частині смугу (шириною 1,5 м), призначену виключно для руху велосипедистів. [9]

5.89 «Кінець велосипедної смуги»: Інформує про закінчення дії виділеної інфраструктури. [9]

5.94.1 / 5.95.2 «Виїзд на дорогу зі смугою для велосипедистів»: Обов'язкові знаки для інформування водіїв, які виїжджають з прилеглих територій, про перетин нової велосипедної інфраструктури, що вимагає додаткової уваги до правого дзеркала. [9]

5.95.1 / 5.95.2 «Виїзд на дорогу зі смугою для велосипедистів»: Обов'язкові знаки для інформування водіїв, які виїжджають з прилеглих територій, про перетин нової велосипедної інфраструктури, що вимагає додаткової уваги до правого дзеркала. [9]

6. Таблички до дорожніх знаків:

7.1.1 «Відстань до об'єкта»: Комбінується з попереджувальними знаками для точного інформування водіїв про відстань до небезпеки. [9]

7.2.1-7.2.4 «Зона дії»: Застосовується для точного позиціонування протяжності зон обмеження швидкості та паркувальних майданчиків. [9]

7.6.1 «Спосіб поставлення транспортного засобу на стоянку»: Додаткова інформаційна табличка, що вказує, як паркуватися транспортному засобу. [9]

7.9 «Смуга руху»: Встановлюється разом із відповідним знаком (наприклад, обмеженням швидкості) для чіткої вказівки смуги, на яку поширюється його дія. [9]

7.1 «Платні послуги»: Маркує зони, де паркування є тарифікованим, що економічно стимулює ротацію автомобілів та зменшує рівень неконтрольованого автомобілем користування на вулиці. [9]

7.17 «Особи з інвалідністю» Табличка для позначення місця (або спеціально відведеної частини майданчика) для стоянки транспортних засобів, на яких встановлено розпізнавальний знак "водій з інвалідністю" відповідно до вимог цих правил. [9]

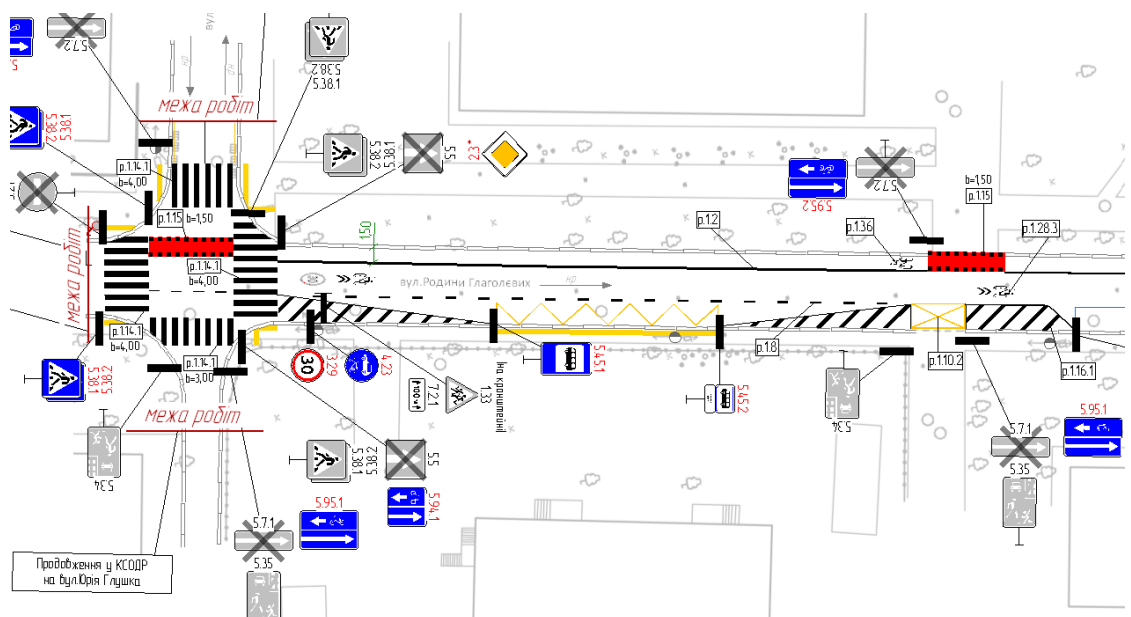


Рисунок 3.3. Загальний план проектного стану.

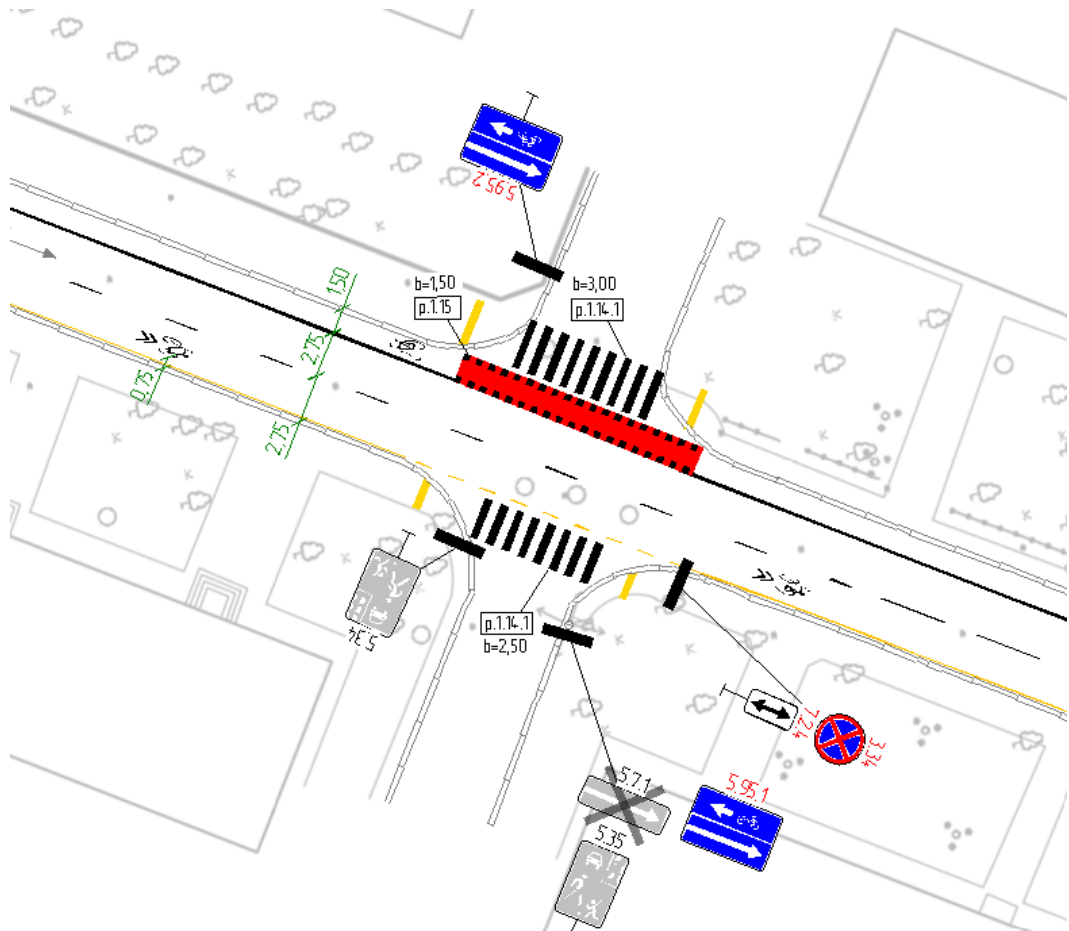


Рисунок 3.4. Деталізація виїзду з прилеглої території.

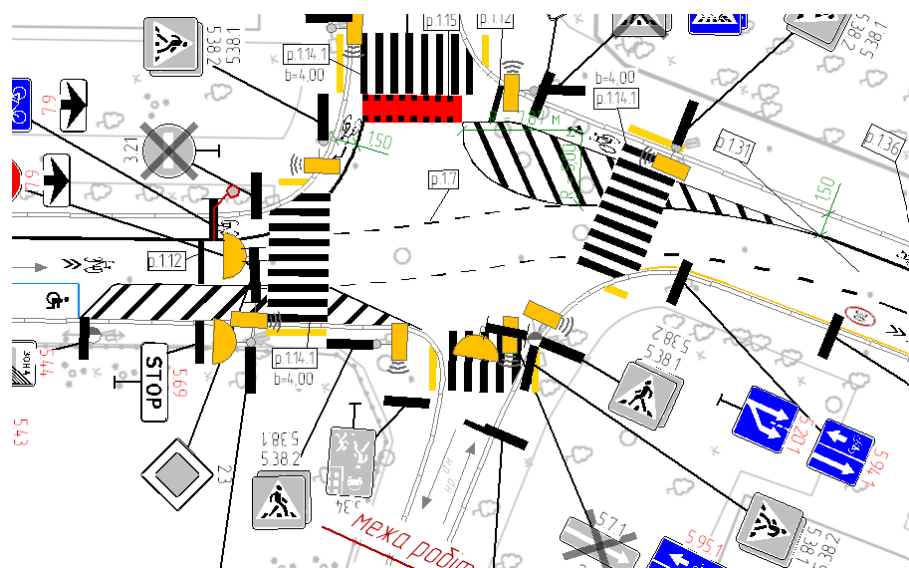


Рисунок 3.5. Схема організації руху на перехресті.

Специфікація та обґрунтування горизонтальної розмітки

Горизонтальна дорожня розмітка, зображена в проєкті, повністю відповідає чинним вимогам ДСТУ 2587:2021 і стали важливим інструментом для реалізації концепції «дорожньої дієти»[10].

Виходячи з наведених вище характеристик, функції дорожньої розмітки, запроєктованої в середовищі IndorDraw, поділяються на чотири категорії:

1. Поздовжня розмітка (Формування нової геометрії вулиці)

1.1 (Суцільна вузька лінія): Застосовується для жорсткого розділення зон. Зокрема, нею відмежовується нова паркувальна смуга (2,5 м) від транзитної смуги (3,0 м), що унеможливорює хаотичний заїзд транзитного транспорту на зону стоянки.[10]

1.2 (Суцільна широка лінія): Відіграє критичну роль у забезпеченні безпеки мікромобільності — нею жорстко та помітно відокремлюється велосипедна смуга (1,5 м) від автомобільного потоку. Широка лінія візуально сприймається водіями як бар'єр.[10]

1.5 (Переривчаста лінія): Використовується для загального поділу смуг руху на ділянках, де дозволено перелаштування. [10]

1.6 (Лінія наближення): Попереджає водіїв про наближення до суцільної лінії (1.1) перед перехрестями або пішохідними переходами, вимагаючи завчасного коригування траєкторії. [10]

1.7 (Переривчаста з короткими штрихами): Наноситься для перпендикулярного маркування меж індивідуальних паркувальних місць у межах легалізованої зони стоянки, а також для вказівки траєкторії руху на складних перехрестях. [10]

1.8 (Широка переривчаста лінія): Позначає межі між транзитною смугою та зонами розгону/гальмування. [10]

2. Розмітка обмежень зупинки та стоянки Ця група ліній є критично важливою для ліквідації небезпечних «сліпих зон»:

1.4 (Жовта суцільна лінія): Жорстка заборона будь-якої зупинки. Наноситься вздовж бордюрів у найбільш аварійних місцях, на вузьких горловинах та радіусах поворотів. [10]

1.10.1 (Жовта переривчаста лінія) : Заборона стоянки транспортних засобів. Застосовується там, де короткочасна д (до 5 хв для висадки пасажирів) є допустимою, але тривале паркування заблокує рух чи обмежить видимість. [10]

1.10.2 (Жовта квадратна розмітка) Забороняє стоянку транспортних засобів. Наноситься на проїзній частині для забезпечення виїзду з прилеглої території. [10]

3. Розмітка пішохідної та велосипедної інфраструктури

1.12 (Стоп-лінія): Вказує точне місце обов'язкової зупинки транспортних засобів перед перехрестями (працює в комбінації зі знаком 2.2 «STOP»). [10]

1.14.1 (Зебра): Класичне позначення нерегульованих пішохідних переходів. У проєкті передбачено її нанесення зносостійким матеріалом для збереження контрастності. [10]

1.14.2 (Зебра): Нерегульований пішохідний перехід в небезпечному місці. [10]

1.15 (Велосипедний переїзд): Спеціальний пунктир, що позначає місце, де велосипедист може перетнути проїзну частину (на примиканнях та перехрестях), надаючи велосипедистам законний коридор. [10]

1.16.1 (Напрямні островці / «Антикишені»): Головний елемент візуального заспокоєння руху. Наноситься перед пішохідними переходами у зоні паркування, виконуючи роль буфера: він забороняє паркування ближче ніж за 10 метрів до переходу. [10]

1.17.1 (Жовта зигзагоподібна лінія): Чітко маркує зону зупинки маршрутних транспортних засобів, гарантуючи, що цей простір не буде запаркований приватними автомобілями. [10]

4. Спеціальні піктограми та дублююча розмітка Для максимального інформування водіїв дорожні знаки дублюються безпосередньо на асфальті (особливо актуально для вул. Родини Глаголевих, де знаки на опорах часто перекриваються густими кронами вікових дерев):

1.28.3 (Рекомендований велокоридор / Sharrow): Застосовується на ділянках, де габарити вулиці тимчасово не дозволяють виділити окрему велосмугу, позначаючи зону безпечного суміщеного руху велосипедів та авто. [10]

1.31 (Обмеження швидкості): Дублювання на проїзній частині заборонного знака 3.29 (у проєкті — ліміт безпечної швидкості 30 км/год). [10]

1.33 (Парковка): Позначає відведені майданчики для паркування транспортних засобів. [10]

1.35 (Паркування для осіб з інвалідністю): Спеціальна велика піктограма, що жорстко резервує та виділяє місця у паркувальній смузі для інклюзивного доступу (згідно з нормами ДБН — не менше 10% від загальної кількості місць). [10]

1.36 (Велосипед): Позначає смугу/доріжку для руху велосипедистів. [10]

1.37 (Велосипедні стрілки): Позначає дозволені напрямки руху безпосередньо в межах велосипедної інфраструктури, організовуючи рух мікромобільності на перехрестях. [10]

РОЗДІЛ 4

ІМІТАЦІЙНЕ ТРАНСПОРТНЕ МІКРОМОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

4.1. Збір вихідних даних для проведення імітаційного транспортного мікромодельювання.

Створення високоякісних, тонко налаштованих і надійних точних моделей моделювання з використанням програмного пакету PTV Vissim базується на початкових етапах збору та підготовки даних. У сфері транспортного моделювання існують непереможні принципи. Точність вхідних параметрів безпосередньо визначає якість фінальної моделі. Оскільки вулиця Родина Глаголев обслуговує місцевих жителів і слугує транспортним коридором для уникнення заторів, існує нагальна потреба у високоточному розумінні інтенсивності, інтенсивності та структури транспортного потоку.

Ключова інформація збирається шляхом масштабного відеомоніторингу, а потім обробки на робочому столі. Максимальний ранковий період завантаження (07:30–08:00) був обраний свідомо. У цей період попит на транспортні мережі досяг піку через масову міграцію працівників і транспортування дітей до навчальних закладів. Інфраструктура планується так, щоб забезпечити ефективну та безпечну роботу в інший час, враховуючи найекстремальніші сценарії (найгірші сценарії).

Дослідження охоплювало основні перехрестя досліджуваної території, тобто основні перехрестя вулиць Родини Глаголева та Володимира Сарського, а також перехрестя з вулицею Юрія Глушко.

Таблиця 4.1

Склад транспортного потоку на досліджуваних перехрестях (за результатами натурних обстежень)

Тип транспортного засобу	Перехрест я вул. Р. Глаголевих – вул. В. Сальського	Перехрест я вул. Р. Глаголевих – вул. Ю. Глушка
Легкові автомобілі	295	172
Вантажні і до 3,5 т	13	6
Вантажні і від 3,5 т до 8 т	2	5
Вантажні і до 16 т	2	1
РАЗОМ (за 30 хв):	312	184

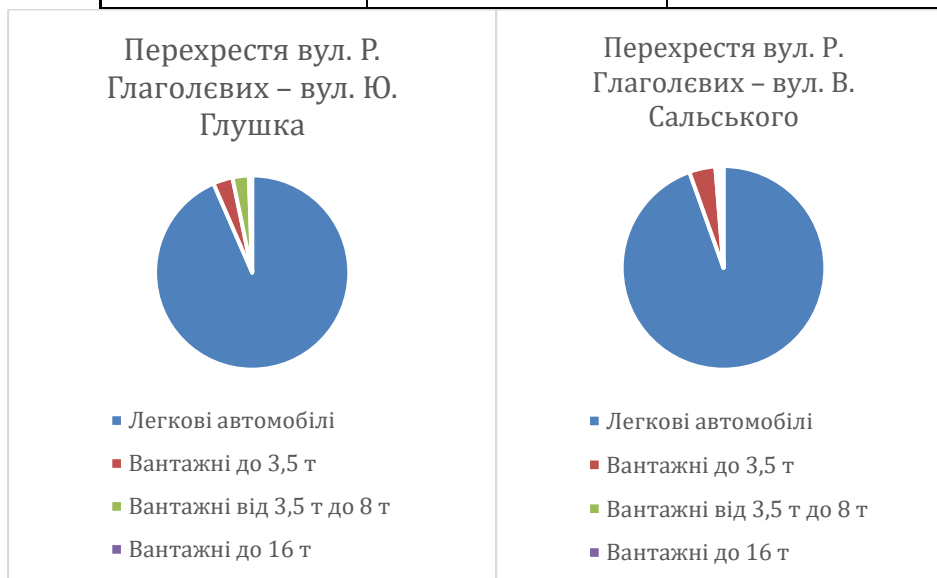


Рисунок 4.1 Склад потоку на перехрестях

Дані, зібрані під час польового огляду, не імпортувалися безпосередньо у основний формат симулятора PTV Vissim. Важливим параметром для створення мікромоделі є індикатор інтенсивності руху, який виражається у

кількості транспортних засобів на годину. На основі цього 30-хвилинна вибірка, отримана з польового спостереження, перетворюється за допомогою математичних коефіцієнтів екстраполяції для отримання репрезентативної інтенсивності у часових одиницях. Обчислення інтенсивності руху виконується за такою формулою

$$N_{\text{год}} = \sum_{i=1}^n Ni \cdot \frac{60}{t} \quad (4.1)$$

де Ni — кількість зафіксованих транспортних засобів i -го типу,

t — тривалість періоду вимірювання у хвилинах

(в даному випадку $t = 30$).[12]

Для точного аналізу динаміки та навантаження руху фізичні транспортні засоби мають бути стандартизовані. У контексті дорожніх досліджень вантажівки відрізняються від легкових автомобілів більшими розмірами, нижчою маневреністю та значно гіршою характеристикою прискорення та гальмування. Згідно з психофізичною моделлю Відемана (Wiedemann 74), навіть одна вантажівка може суттєво вплинути на поведінку всього заднього автомобіля.[14]

Розрахунок годинної інтенсивності в приведених одиницях $N_{\text{прив}}$ здійснювався за формулою:

$$N_{\text{прив}} = \sum_{i=1}^n (Ni \cdot 2 \cdot Ki) \quad (4.2)$$

де Ni — кількість фізичних транспортних засобів i -го типу за 30 хвилин;

2 — коефіцієнт екстраполяції для переходу до годинної інтенсивності;

Ki — коефіцієнт зведення до легкового автомобіля згідно з нормативними документами.[12]

Коефіцієнти зведення K_i прийнято наступними: легкові автомобілі — 1,0; вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 3,5 т — 1,5; вантажні автомобілі від 3,5 т до 8 т — 2,0; вантажні автомобілі до 16 т — 2,5.

Таблиця 4.2

Розрахунок годинної інтенсивності руху в приведених одиницях

Тип транспортного засобу	Коефіцієнт зведення (K_i)	Перехрестя з вул. В. Сальського (годинна інтенсивність)	Перехрестя з вул. Ю. Глушка (годинна інтенсивність)
Легкові автомобілі	1	590 фізичних од. = 590 прив. Од.	344 фізичних од. = 344 прив. Од.
Вантажні до 3,5 т	1,5	26 фізичних од. = 39 прив. Од.	12 фізичних од. = 18 прив. Од.
Вантажні 3,5 т – 8 т	2	4 фізичні од. = 8 прив. Од.	10 фізичних од. = 20 прив. Од.
Вантажні до 16 т	2,5	4 фізичні од. = 10 прив. Од.	2 фізичні од. = 5 прив. Од.
ЗАГАЛОМ ЗА ГОДИНУ:	-	624 фіз. Од. / 647 прив. Од.	368 фіз. Од. / 387 прив. Од.

Отримати репрезентативні стандартні значення пропускної здатності (відповідно 624/647 та 368/387 одиниць/год) і інтегрувати їх у вхідні вузли моделі транспорту PTV Vissim. Це дозволяє об'єктивно порівняти існуючі SDR-рішення та методи «зниження навантаження» проєкту, що дозволяє оцінити реалізацію в реальних умовах навантаження.

4.2. Розробка транспортної моделі наявного стану.

У сфері розвитку транспортних систем моделювання фундаменту відіграє дуже важливу роль. Це дає можливість виявити та вирішити поточні операційні проблеми, такі як нерегульоване паркування, недостатня пропускна

здатність мережі та конфлікти інтересів між різними учасниками дорожнього руху. На відміну від макроскопічних моделей, які визначають поведінку рідини, мікроскопічні моделі розглядають кожен транспортний засіб як окремий «свідомий» елемент. Кожен елемент має власні фізичні властивості, кінетичну енергію (здатність змінювати швидкість) та моделі для ментального прийняття рішень.

Етап 1. Побудова вулично-дорожньої мережі (Network Editor)

Модель використовує супутникові знімки та топографічні плани масштабу 1:500 як базовий матеріал. Фактична ширина дороги становить 7,0 метра, але більша частина проїзної частини заповнена припаркованими автомобілями, тому в нинішній національній моделі є лише одна смуга нерегулярної ширини. Щоб імітувати хаотичні ситуації паркування, на узбіччі встановлюють статичні бар'єри, змушуючи віртуальних водіїв робити об'їзд від з'їзду до центру дороги.



Рисунок 4.2. Відображення побудованої мережі (Links) в існуючому стані у PTV Vissim

Етап 2. Завдання транспортного попиту.

Початкова ділянка транспортної мережі була обладнана вставками для транспортних засобів. Обсяг трафіку в цих точках розраховувався на основі статистичних даних, зібраних із польових обстежень за погодинними ставками (див. пункт 3.1). Для керування потоком транспорту використовувався інструмент для визначення статичного напрямку руху. Зокрема, для вузлів у процесі розгалуження (наприклад, на перехресті вулиць Володимира Сальського та Родини Глаголевих) було задано відповідні частки поворотних потоків відображаються відповідно до існуючої структури поворотних потоків.

Етап 3. Моделювання конфліктних точок та правил пріоритету Оскільки на перехресті вулиць Родини Глаголевих та Глушка немає світлофорів, програмне забезпечення PTV Vissim використовує спеціальні інструменти, звані зонами зіткнень, та базові правила калібрування. Збільшити трафік на основних автомагістралях. Для транспортних засобів, що залишають другорядні дороги, встановлюється параметр короткого часу, який визначає, коли можна об'єднати основний потік транспорту. Вхід пішоходів вимірюється шляхом визначення пішохідних входів та пішохідної доріжки для переходу вулиці. Пріоритет пішоходів забезпечується в межах спірної зони, а стан транспортного засобу встановлюється на «Поступитися» (дати дорогу). Щоб зробити модель більш реалістичною, зір водія перед перетином «зебри» автоматично вимірюється. Цей крок полягав у імітації ситуації, коли припарковані автомобілі звужують трикутник прямої видимості, ускладнюючи водіям бачення пішоходів.

Етап 4. Калібрування моделі.

Вимірювання поведінки водіння базується на психологічній моделі, яка слідує студенту Wiedemann 74 і відповідає міським дорожнім умовам. Параметри безпечної відстані та часу реагування коригуються з урахуванням несприятливих дорожніх умов. Використовується для вимірювання уповільнення в зонах обслуговування та бетонних ділянках асфальтового

покриття використовується пристрій для визначення необхідної швидкості (25-35 км/год) та зменшеного діапазону швидкостей .

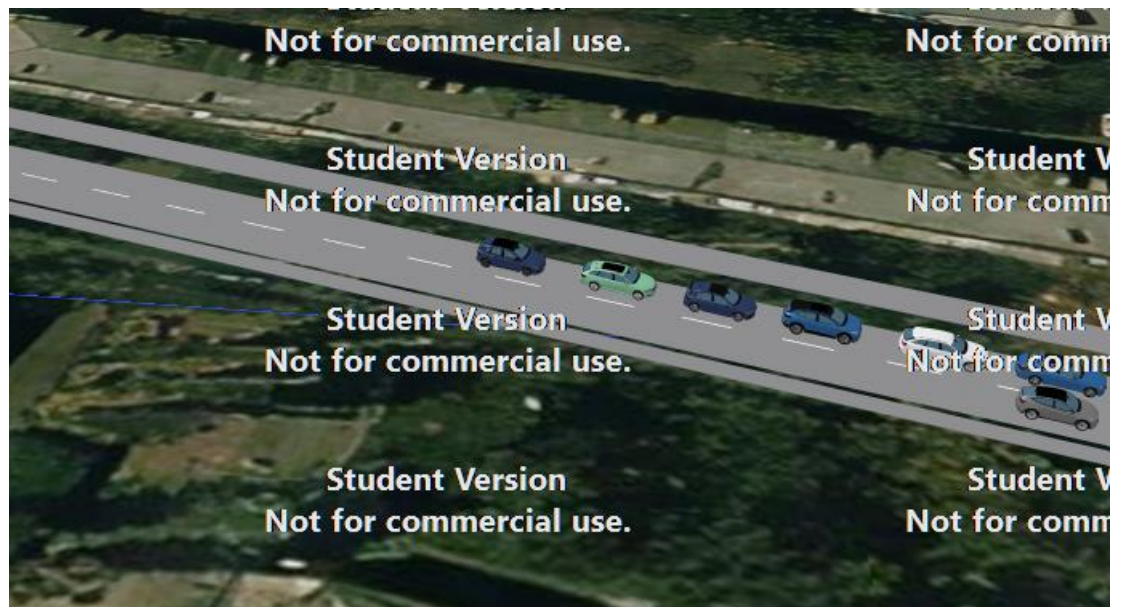


Рисунок 4.3. Візуалізація процесу моделювання існуючого стану (3D режим) з утворенням затримок

Після 3600 секунд часу симуляції встановлюється система оцінки вузлів. Основний сценарій підтримує цю гіпотезу. Основна затримка пов'язана не з інтенсивністю руху, а через блокування фактичної ширини проходу або зіткнення на нерегульованих перехрестях.

4.3. Деталізація параметрів імітаційної мікромоделі в середовищі PTV Vissim.

Щоб забезпечити максимально близькість моделі до реальних дорожніх умов на вулиці Родини Глаголевих, базовий інструмент візуального моделювання PTV був ретельно відкалібрований. Нижче наведено опис існуючих і проектних станів, а також основних модулів, використаних для розробки їхньої конфігурації:

Налаштування складу транспортного потоку.

Модуль конфігурації транспортного засобу відповідає за створення структури трафіку, що генерується з вхідних даних мережі. На основі даних опитування створюється унікальна комбінація для кожного вхідного вузла. Для кожного типу транспортного засобу це вікно має два основних параметри:

- Відносний потік: розподіл потоку (наприклад, 0,94 для легкових автомобілів, 0,04 для вантажівок менше 3,5 тонн, 0,02 для інших категорій).
- Розподіл бажаної швидкості: у Віссімі швидкість є ймовірнісною величиною, тому замість одного числа задається розподіл (S-крива).

Наразі (з урахуванням недостатньої дальності зв'язку) легкові вагони мають швидкість 30-40 км/год, вантажівки — 25-35 км/год.

Після відновлення умовної компенсації базова швидкість легкових автомобілів встановлюється на 40-50 км/год, а окремі велосипедні доріжки — 15-25 км/год.

Регулювання швидкісних режимів.

Для імітації впливу інфраструктури та дорожніх знаків на поведінку водіїв використовувався інструмент перманентного контролю швидкості:

- Desired Speed Decisions (DSD): Використовується для зміни базової бажаної швидкості потоку (наприклад, при в'їзді в зону дії знаку 5.31 "Житлова зона" або інших швидкісних обмежень). Маркер (точка) встановлюється на відповідній смузі руху. З моменту перетину цього маркера всі транспортні засоби приймають новий розподіл швидкості і продовжують рух з цими параметрами до кінця маршруту або поки не перетнуть наступний маркер DSD із новими налаштуваннями.

Моделювання нерегульованих перехресть.

Для імітації проїзду нерегульованих перехресть (зокрема Т-подібного перехрестя з вул. Юрія Глушка) застосовувався комплексний підхід:

- Конфліктні зони: Простий і наочний інструмент для перетину потоків. У місцях перетину траєкторій одному потоку надається зелений статус (головний), іншому — червоний (повинен дати дорогу). Для підвищення реалістичності в налаштуваннях конфліктної зони параметр *Visibility distance* (Дистанція видимості) для існуючого стану був зменшений до 15 метрів (через припарковані авто), а в проєктному стані — збільшений до 40 метрів завдяки впорядкуванню паркування.

- Правила пріоритету: Використовувалися для складніших маневрів (наприклад, лівий поворот з вул. Ю. Глушка на вул. Р. Глаголевих). Інструмент складається із стоп-лінії (червона маркер-лінія, де ТЗ зупиняється) та лінії конфлікту (зелена маркер-лінія на головній дорозі, яку відстежує ТЗ).

Для коректної імітації пропуску транспорту в Priority Rules були задані такі параметри:

- Мінімальна дистанція: Встановлено на рівні 10–15 метрів. Це означає, що водій на другорядній дорозі не розпочне маневр, якщо найближче авто на головній дорозі знаходиться ближче цієї відстані.

- Мінімальний інтервал часу: Встановлено на рівні 3,5–4,0 секунди. Це ключовий параметр безпеки. Водій на другорядній дорозі оцінює час до прибуття автомобіля на головній дорозі (відстань, поділена на швидкість). Якщо цей час менший за 3,5 с, водій чекає; якщо більший — безпечно здійснює маневр.



Рисунок 4.2. Візуалізація налаштувань правил пріоритету на перехресті

Маршрутизація та розподіл потоків.

Для спрямування транспортних засобів у потрібних напрямках на перехрестях використовувалися статичні маршрутні рішення. Процес налаштування складався з встановлення базового маркера маршруту (червона лінія) перед перехрестям та цільових маркерів (зелені лінії) на виходах з перехрестя (прямо, праворуч, ліворуч). У панелі властивостей маршрутів кожному напрямку було присвоєно значення відносного потоку відповідно до зібраних натурних даних (наприклад, 154 од. прямо, 3 од. направо, 15 од. наліво). Vissim автоматично розраховував ймовірність повороту для кожного автомобіля, що під'їжджає до вузла, забезпечуючи точну відповідність моделі реальному розподілу трафіку.



Рисунок 4.5. Структура побудови статичних маршрутних рішень (Vehicle Routing Decisions) для розгалуження транспортних потоків

4.3. Розробка транспортної моделі проєктного стану.

Проектний стан базується на змінах, попередньо розроблених у САПР IndorDraw (звуження смуг, організація паркування, велосипедна смуга та підняті переходи). Мета створення цієї моделі — верифікувати проєктні рішення на етапі розробки та довести їхню ефективність.

Моделювання нової геометрії та велосмуги

Мережа у Vissim була суттєво перероблена. Ширина основної смуги руху була встановлена на рівні 3,0 м. З правого боку було згенеровано окремий *Link* шириною 1,5 м, призначений виключно для велосипедного руху.

У налаштуваннях *Vehicle Compositions* для велосипедної смуги було залишено лише тип "Bike", а швидкості руху задані в межах 15-25 км/год. На перехрестях налаштовано *Conflict Areas* між автомобілями, що повертають праворуч, та велосипедистами, які рухаються прямо, з безумовним пріоритетом останніх (відповідно до ПДР).



Рисунок 4.6. Проєктна модель у PTV Vissim: відокремлена велосмуга та звужена автомобільна смуга

Імітація впорядкованого паркування.

Хаотичні перешкоди існуючого стану були замінені на впорядковані зони паркування. З лівого боку проїзної частини за допомогою інструменту *Parking Lots* були створені поздовжні паркувальні місця. Для імітації реалістичного міського циклу був заданий параметр *Parking Routing Decisions*, який генерував заїзд та виїзд автомобілів з парковки протягом години. Маневр паркування у Vissim фізично сповільнює автомобілі, що їдуть позаду, що дозволяє максимально точно оцінити вплив легальної паркувальної зони на загальну затримку потоку.

Моделювання засобів заспокоєння руху (Traffic Calming).

Для вирішення проблеми безпеки пішоходів та інклюзивності, у моделі були реалізовані підняті пішохідні переходи (що в реальності супроводжуються антикишеннями та тактильною плиткою).

У Vissim це було змодельовано за допомогою інструменту *Reduced Speed Areas* (Зони обмеження швидкості). На ділянках довжиною 5–7 метрів перед кожним "зеброю" була встановлена вимога зниження швидкості для автомобілів до 20 км/год. Це гарантує безпечну зупинку перед пішоходом та унеможливорює "проскакування" переходу на високій швидкості.

Крім того, за рахунок ліквідації паркування в радіусі 10 метрів від переходів (завдяки антикишенням), у параметрах *Conflict Areas* було збільшено дистанцію оглядовості (Visibility distance), що зменшило час затримки автомобілів "наосліп".

Порівняльна оцінка ефективності

Симуляція проєктного стану проводилася з тими ж параметрами вхідного транспортного попиту (інтенсивності), що й базова модель. Це дозволило провести чистий сценарний аналіз.

Модель обладнана вузлами збору статистики (*Vehicle Network Performance Evaluation*). Наступним етапом дослідження буде вивантаження числових даних щодо середнього часу затримки в мережі (Average Delay), середньої швидкості повідомлення та довжини черг на перехрестях для обох сценаріїв з метою доведення доцільності запропонованих заходів.

4.4. Математичний апарат оцінки ефективності та параметризація моделювання

Отримання достовірних та науково обґрунтованих результатів у середовищі мікроскопічного моделювання PTV Vissim вимагає глибокого розуміння внутрішніх алгоритмів програми. Будь-яка імітаційна модель є математичною абстракцією реального світу, тому для її адекватної роботи необхідне точне налаштування параметрів розрахункового ядра (Simulation Engine) та розуміння принципів оцінки показників ефективності (Measures of Effectiveness — MoE).

Алгоритми розрахунку транспортних затримок та черг

Математичний апарат Vissim базується на дискретному, стохастичному моделюванні, де кожен транспортний засіб є незалежним агентом із власним набором фізичних та психофізичних характеристик. [17] Головним критерієм якості організації дорожнього руху (рівня сервісу — Level of Service) є середній час затримки (Average Delay).

Програма розраховує затримку не макроскопічно (для всього потоку одразу), а індивідуально для кожного автомобіля, що перетинає заданий вузол (Node). Індивідуальна транспортна затримка розраховується як різниця між фактичним часом, який транспортний засіб витратив на проїзд ділянки, та теоретичним (ідеальним) часом руху.

Математично індивідуальна затримка для i -го автомобіля розраховується за формулою:

$$d_i = t_{act} - t_{theor} \quad (4.3)$$

де:

- d_i — час затримки i -го транспортного засобу, с;
- t_{act} — фактичний час проїзду тестової ділянки (від моменту перетину вхідного перерізу вузла до вихідного), с;
- t_{theor} — теоретичний час проїзду цієї ж ділянки.[13] Цей показник розраховується за умови, що автомобіль рухається зі своєю індивідуальною «бажаною швидкістю» (Desired Speed) без жодних перешкод зі сторони інших учасників руху, світлофорів чи правил пріоритету.

До складу загальної затримки також входить час зупинки (Standstill Time). Vissim фіксує перехід автомобіля у стан «зупинки», коли його швидкість падає нижче порогового значення (за замовчуванням це швидкість, близька до 0 км/год).

Середня затримка на перехресті або в цілому по мережі D_{avg} визначається як середнє арифметичне затримок усіх автомобілів, що завершили проїзд вузла протягом періоду оцінки:

$$D_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (4.4)$$

де N — загальна кількість транспортних засобів, що перетнули вузол оцінки (Node). [13]

Окрім затримок, важливим показником є довжина черги (Queue Length). У Vissim черга починає фіксуватися від лінії "Queue Counter", коли швидкість автомобіля падає нижче 5 км/год, і автомобіль вважається таким, що покинув чергу, коли його швидкість перевищує 10 км/год. Програма фіксує як середню

довжину черги, так і максимальну Q_{max} , що дозволяє проєктувати достатню довжину накопичувальних смуг або, у нашому випадку, антикишень.

Системні параметри імітаційного моделювання

Для забезпечення стабільності математичних розрахунків психофізичної моделі (Wiedemann 74), що описує рух автомобіля за лідером, було налаштовано ключові параметри процесу симуляції (Simulation Parameters).[14]

- Аналогова роздільна здатність:

Цей параметр визначає рівень деталізації моделі з часом. Тобто показує, скільки разів додаток оновлює дані про стан кожного автомобіля за секунду. Ця бакалаврська робота дозволяє програмному забезпеченню для виявлення робити 10 оновлень на секунду.

Тобто кожні 0,1 секунди ми перераховуємо індикатори кожного транспортного засобу (положення, швидкість, прискорення, відстань до найближчої перешкоди). Така висока частота оновлення важлива для імітованого міського трафіку. Він може точно імітувати м'яке гальмування перед зоною обмеження швидкості (наприклад, перед пішохідним переходом), а також відповідно реагувати на складні умови руху, такі як вузькі перехрестя, щоб уникнути обгону транспортних засобів.

- Генератор випадковості та випадкового насіння:

Дорожні умови не є цілком передбачуваними. Точка, в якій транспортний засіб з'являється на перетині, відповідає закону ймовірності (особливо розподілу Пуассона). Щоб модель не виглядала як нерухоме зображення, оскільки транспортний засіб завжди з'являється одночасно, програма Vissim використовує псевдо-випадковий генератор чисел. Початкове значення цього генератора визначається випадковим параметром насіння.

Модель запускається лише один раз із випадковим значенням насіння і представляє один із багатьох сценаріїв. Наприклад, несподіване скупчення

транспортних засобів може призвести до незвичних заторів. Тому в цьому дослідженні застосовувався багатократний метод виконання для отримання надійної статистики. Модель запускалася кілька разів (5–10 разів) з різними випадковими значеннями насіння. Кінцеві метрики, такі як середня затримка та довжина черги, обчислюються як арифметичне середнє всіх цих шляхів. Це забезпечує об'єктивність отриманих результатів і їхню узгодженість із реальною ситуацією.

- **Період розігріву мережі:**

Якщо розпочати вимірювання статистичних показників з самого початку моделювання, отримані результати будуть невірними. Це пояснюється тим, що на початковому етапі мережа є повністю порожньою, а автомобілі лише починають свій рух з в'їзних точок. Тому в параметрах оцінки передбачено період "налагодження" або "стабілізації". У нашій моделі перші 600-900 секунд (10-15 хвилин) симуляції відведені виключно для того, щоб мережа Родини Глаголевих наповнилася транспортними засобами до досягнення стану динамічної рівноваги.

Збір інформації про затримки розпочинається лише після завершення цього періоду і триває рівно 3600 секунд (1 годину), що відповідає тривалості зібраних реальних даних.

Порівняльна матриця геометричних та операційних характеристик моделей

На основі порівняльного моделювання було створено підсумкову таблицю для чіткого відображення чітко представлених змін. Це відображає перехід доріг від використання вільних просторів до добре організованих режимів управління рухом.

Таблиця 4.3

Порівняльна характеристика параметрів існуючої та проектної моделей
ОДР на вул. Родини Глаголевих

Характеристика (Параметр Vissim)	Існуючий стан (Базовий сценарій)	Проектний стан (Сценарій оптимізації)
Режим використання проїзної частини	Односторонній, хаотичне маневрування через перешкоди	Односторонній, лінійний рух у межах чітко виділених зон
Ширина основної смуги руху (Link Width)	6.8 – 7.0 м (проте фактично використовується 3.0 – 4.5 м)	3.0 м (жорстке обмеження, психологічне звуження)
Організація паркування (Parking Lots)	Відсутня легальна розмітка; моделюється як статичні перешкоди по краях	Облаштована паралельна смуга (2.0 м)
Велосипедна інфраструктура (Bike Routing)	Рух велосипедистів у загальному змішаному потоці з авто	Виділена велосипедна смуга (1.5 м) праворуч по ходу руху
Фізичне заспокоєння руху (Reduced Speed Areas)	Відсутнє (гальмування відбувається ситуативно через ямковість)	Встановлено зони RSA зі зниженням швидкості до 20 км/год перед пішохідними переходами
Умови видимості (Visibility Distance)	Критично обмежені (до 10-15 м) через припарковані авто перед переходами	Забезпечений нормативний трикутник видимості (понад 40 м) завдяки антикишенням
Пропускна здатність переходів	Низька (пішоходи довго очікують вікна у потоці)	Висока (автомобілі примусово сповільнюються, віддаючи пріоритет пішоходам)

4.5. Аналіз показників ефективності (Measures of Effectiveness) та результатів мікромодельовання.

Після успішного завершення фази калібрування було проведено серію моделей на існуючих і спроектованих варіантах моделей у середовищі PTV Vissim. Для забезпечення статистичної достовірності результатів і зменшення впливу випадкових коливань трафіку буде використано кілька технік виконання. Збір інформації базується на середньому за кілька ітерацій.

Ключовим кроком у проектуванні на основі доказів є порівняльний аналіз ключових показників ефективності дорожньої мережі, отриманих із відповідних модулів.

Таблиця 4.4

Зведені результати імітаційного мікромодельовання (PTV Vissim)

Показник ефективності (МоЕ)	Існуючий стан (Базовий)	Проектний стан (Оптимізований)	Різниця (Абсолютна / %)
Середня швидкість	21.01 км/год	19.85 км/год	- 1.16 км/год
Середня затримка	32.55 с	36.12 с	+ 3.57 с
Середня кількість зупинок	0,55	0,4	+ 0.15

- Аналіз мережевих показників та швидкісного режиму

Аналіз отриманих даних демонструє свідому зміну динаміки транспортного потоку. Запровадження інженерних заходів заспокоєння руху (звуження смуг до 3,0 м та облаштування піднятих переходів) очікувано

призвело до зниження середньої швидкості в мережі з 21.01 км/год до 19.85 км/год. Відповідно, середня мережева затримка зросла на 3.57 секунди, а загальний час проїзду тестової ділянки збільшився на 6.7 секунди (з 65.4 до 72.1 с).

У контексті сучасної урбаністики та концепції «Vision Zero» ці результати інтерпретуються як високо позитивні. Вулиця Родини Глаголевих є житловою (місцевого значення), тому головним критерієм її ефективності є не максимізація швидкості транзиту, а безпека вразливих учасників руху. Зниження середньої швидкості до стабільних ~20 км/год ліквідує небезпечні цикли раптового «розгону-гальмування» та гарантує, що у разі екстреного гальмування перед пішоходом водій матиме достатньо часу на реакцію, а гальмівний шлях буде мінімальним. Збільшення часу проїзду на 6–7 секунд є абсолютно непомітним для водія, проте цей час є критичним для збереження життя пішохода.



Рисунок 4.7. Середня швидкість наявного стану.

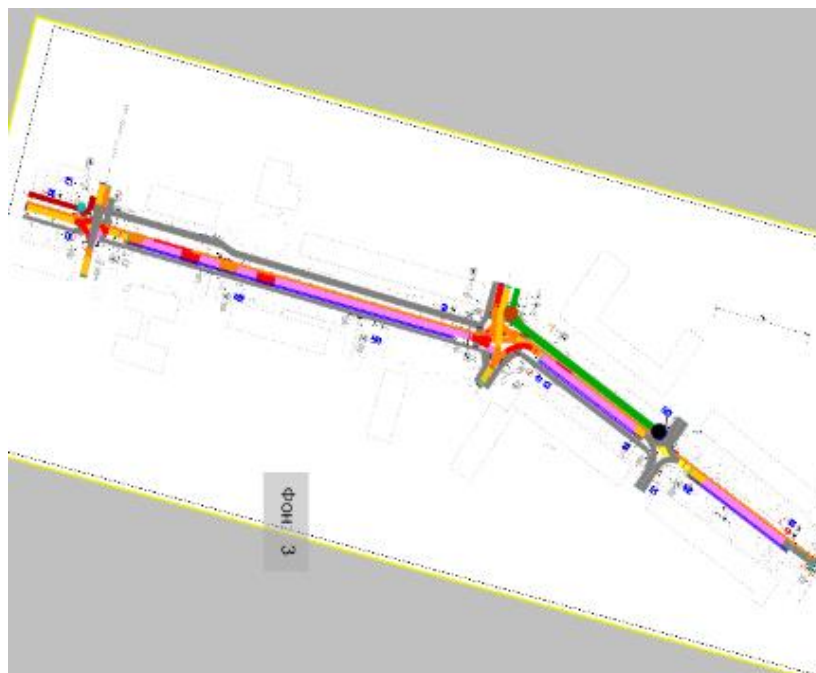


Рисунок 4.8. Середня швидкість проєктного стану.

- Аналіз роботи вузлів та пропускну́ї здатності (Затримки та черги)

Аналіз ключового перехрестя (Вузол 1) виявив невелике збільшення середньої затримки руху, яка зросла з 3.65 до 5.25 секунд. Це пов'язано з тим, що покращення видимості (завдяки візуальному каналізуванню та усуненню "антикишень") дозволяє водіям раніше помічати пішоходів. Як наслідок, водії змушені знижувати швидкість і надавати пішоходам пріоритет, що раніше часто ігнорувалося в умовах хаотичного руху.

Найважливішим показником стабільності транспортної мережі є максимальна довжина черги. Незважаючи на звуження дороги та зменшення швидкості, максимальна черга на перехресті скоротилася з 26.54 до 25.12 метрів. Це чітко свідчить про те, що нова конфігурація перехрестя та організована зона паркування не призводять до утворення критичних заторів. Транспортна мережа залишається функціональною, без блокування сусідніх перехресть, а транспортний потік рухається більш плавно.

- Просторова візуалізація та аналіз щільності і навантаження мережі

Окрім значень затримки та довжини черги, програмний пакет PTV Vissim дозволяє просторовий аналіз поведінки доріг і дорожньої мережі за допомогою кольорового кодування лінкування. Для детального аналізу впливу запропонованого проектного плану було створено візуальну карту щільності трафіку (щільність) та рівня навантаження (відносне навантаження) для обох сценаріїв години пік.

Аналіз просторового розподілу густини потоку (густина). Щільність руху визначається кількістю транспортних засобів на смугу (автомобілі/км), що є ключовим показником для розуміння потоку транспорту та виявлення прихованих вузьких місць.

Поточна карта щільності явно незбалансована. Скріншот показує ділянки з обмеженою видимістю (позначені червоним і помаранчевим кольорами), зосереджені перед хаотичними припаркованими автомобілями або біля входу на неконтрольований пішохідний перехід. Між цими зонами є зони низької щільності (зелені), які дозволяють водієві різко прискорюватися. Цей нестабільний ритм руху може спричинити «ударну хвилю» небезпечного транспорту.

У версії дизайну якість зображення значно покращилася. Завдяки чіткому зонуванню доріг (розділення смуг шириною 3,0 метра) та впровадженню заходів з пом'якшення трафіку, розподіл щільності вулиць у родині Гаргорьових є рівномірним. Червоні зони конфлікту в регіоні зникають. Потік транспорту утворює стабільну «лінію», підтримуючи стабільну та передбачувану відстань із безпечною швидкістю 20-30 км/год.

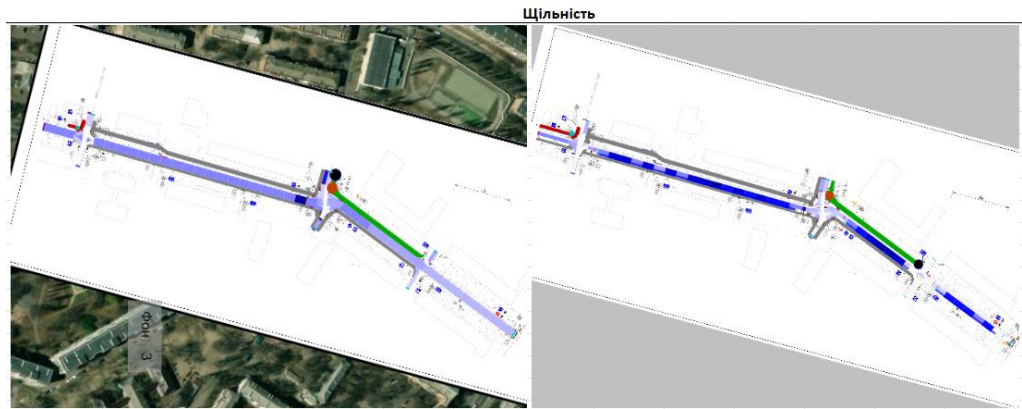


Рисунок 4.9. Порівняльні картограми щільності транспортного потоку (Density) в існуючому та проєктному станах.

Оцінка пропускної здатності мережі: Візуальний аналіз транспортного потоку показує, що нова, вужча конфігурація дороги здатна витримати очікуваний піковий трафік, уникаючи заторів.

- Перевірка візуалізацій навантаження проєктної моделі підтверджує, що навіть при звуженні єдиної транзитної смуги до мінімальних 3 метрів, вона ефективно справляється з усім обсягом трафіку за годину.
- Виділена смуга для паркування (2,5 м) слугує ефективним буфером. Маневри паркування створюють лише тимчасові локальні перевантаження, які швидко минають і не блокують основний рух по транзитній смузі.



Рисунок 4.10. Візуалізація рівня навантаження на смуги руху та зони паркування у наявному та проєктному стані.

ВИСНОВКИ

У роботі на тему було вирішено низку важливих інженерних завдань для підвищення безпеки та ефективності дорожнього руху. Комплексне дослідження, проведене в рамках цього дослідження, привело нас до таких основних висновків:

Обґрунтування та методологія. Сучасні тенденції в транспортній галузі вимагають переходу від пріоритету захисту автомобілів до захисту користувачів на менш безпечних дорогах. Головна ідея цієї ініціативи — Vision Zero. Ця філософія перекладає відповідальність за безпеку на інженерів, які повинні будувати безпечну та стійку до помилок інфраструктуру.

Аналіз поточної ситуації та проблем. Польове обстеження на вулиці Родини Глаголева показало, що нинішня транспортна система не відповідає сучасним стандартам безпеки. Хоча ширина смуги становить 7,0 метра, що досить широко, паркувальний майданчик погано організований, що призводить до низького використання простору. Це зменшує фактичну ширину до менш ніж 3,0 метрів, створюючи небезпечну сліпу зону на пішохідному переході. Якщо водій використовує цей маршрут як альтернативний шлях, щоб уникнути заторів на основних автомагістралях.

Розробка комплексних інженерних рішень. Для оптимізації простору без необхідності дороговартісних капітальних робіт було застосовано принцип «дорожньої дієти». Наявні 7,0 метрів дорожнього полотна були функціонально перерозподілені на три зони: транзитну смугу (звужену до 3,0 м для стимулювання водіїв до зниження швидкості), офіційно відведену зону для паркування (2,5 м) та відокремлену велосипедну смугу (1,5 м).

Покращення доступності та безпеки пішоходів. Проєкт впроваджує ефективні заходи з пом'якшення дорожнього руху, включаючи максимальне обмеження швидкості до 30 км/год. Головною інновацією є візуальне керування рухом через острівці безпеки («анти-кишені») перед

нерегульованими зебровими переходами. Вона забезпечує доступне середовище для людей з інвалідністю та дозволяє встановлювати тактильну плитку.

Симуляційна симуляційна валідація рішень (PTV Vissim). розроблене та спроектоване рішення перевіряється шляхом створення «цифрового двійника» дороги в програмному середовищі PTV Vissim. За результатами порівняльного аналізу очікується, що середня швидкість руху буде навмисно знижена з 21,01 км/год до 19,85 км/год, а середня затримка збільшиться на 3,57 секунди.

Загальна оцінка ефективності. Результати симуляції були дуже хорошими з точки зору безпеки, усунення небезпечного водіння та стабілізації потоку транспорту. Найважливішим досягненням є те, що максимальна черга на головному перехресті зменшена з 26,54 метрів до 25,12 метра. Це переконливо доводить, що оновлена геометрія проїзної частини здатна ефективно обслуговувати існуючу кількість транспортних засобів без ризику виникнення заторів та одночасно підвищуючи безпеку вразливих учасників руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стратегія розвитку міста Києва до 2025 року(нова редакція)
<https://dei-2023.kyivcity.gov.ua/content>;
2. Керівництво з розробки та реалізації плану сталої міської мобільності (SUMP). Друге видання. (Європейські стандарти).
<https://kyivcity.gov.ua/img/item/general/9896.pdf>;
3. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. Київ: Мінрегіон;
4. Tingvall, C., & Haworth, N. (1999). Vision Zero: An ethical approach to safety and mobility.
https://avr.lu/wp-content/uploads/2015/12/Microsoft_Word_Vision_Zero_706.pdf;
5. Національна стратегія у сфері безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 року (схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України).
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1360-2020-%D1%80#Text>;
6. ДСТУ 4100:2021 Безпека дорожнього руху. Київ: ДП «УкрНДНЦ»;
7. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Київ: ДП «УкрНДНЦ»;
8. ДСТУ 4100:2021. Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. Київ: ДП «УкрНДНЦ»;
9. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ»;
10. ДСТУ 8906: Планування та проектування велосипедної інфраструктури Київ: ДП «УкрНДНЦ»;
11. ДСТУ 4123:2020 Засоби Заспокоєння руху Київ: ДП «УкрНДНЦ»;
12. Поліщук В. П. Системологія на транспорті. Книга 4. Організація дорожнього руху: підручник. — Київ: Знання, 2019. (сторінки 45–52);
13. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual (HCM 6th Edition);

14. Simulation des Straßenverkehrsflusses. Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, 1974;
15. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018;
16. Про затвердження Концепції розвитку велосипедної інфраструктури в м. Києві : Рішення Київської міської ради від 08 лют. 2018 р. № 13/4077
17. Fundamentals of Traffic Simulation / ed. by J. Barceló. New York : Springer, 2010.
https://www.academia.edu/117408276/Fundamentals_of_Traffic_Simulation ;
18. Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners.
<https://www.who.int/publications/i/item/pedestrian-safety-a-road-safety-manual-for-decision-makers-and-practitioners>;

ДОДАТК А

Особливості ландшафту та довкілля

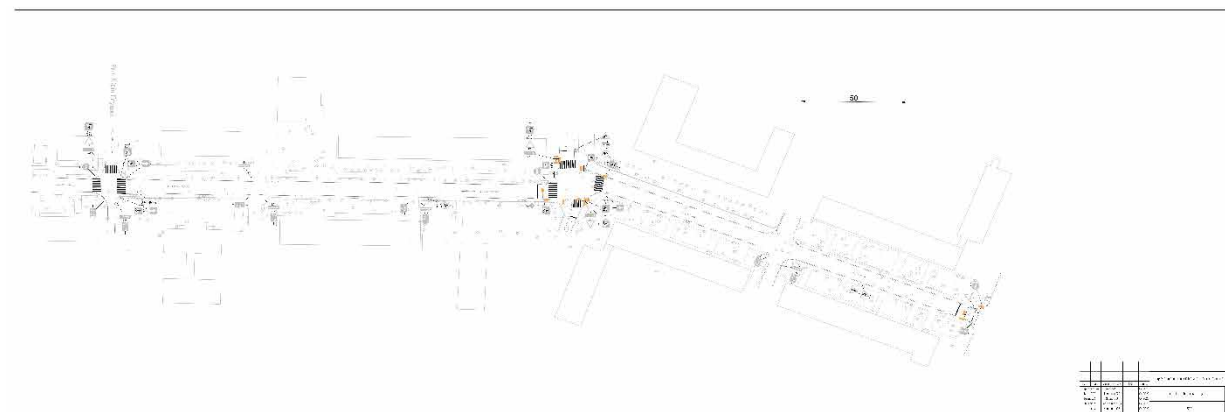


Рисунок А.1. Загальна панорама вулиці (перехрестя з вул. Володимира Сальського).

ДДАТОК Б

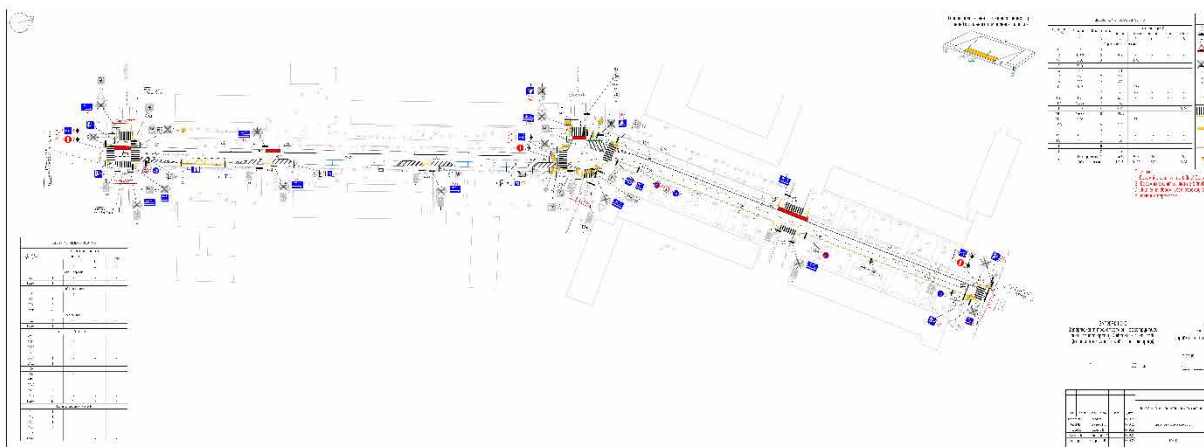
Схема наявного стану організації дорожнього руху на вул. Родини

Глаголєвих



ДОДАТОК В

Схема проєктного стану організації дорожнього руху на вул. Родини Глаголевих



ДОДАТОК Г

Тактильна навігація

Типове обладнання пішохідного переходу
попереджувальною тактильною плиткою

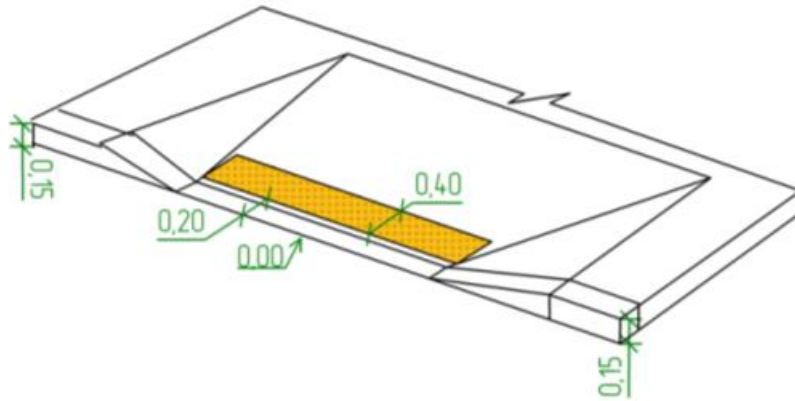


Рисунок Г.2. Типове обладнання пішохідного переходу
попереджувальною тактильною плиткою

Джерело: КП «Центр організації дорожнього руху»

ДОДАТОК Д

Зведена таблиця дорожніх знаків

ЗВЕДЕНІ ТАБЛИЦІ ДОРОЖНІХ ЗНАКІВ				
Номер згідно ДСТУ 4100	Кількість одиниць, шт			
	типорозмір			ДЗІП
	I	II	III	
1	2	3	4	5
Знаки Пріоритету				
2.3	1	-	-	-
Разом:	1	-	-	-
Заборонні знаки				
3.21	-	3	-	-
3.29	2	-	-	-
3.34	2	-	-	-
Разом:	4	3	-	-
Наказові знаки				
4.23	3	-	-	-
Разом:	3	-	-	-
Інформаційно-вказівні знаки				
5.20.1	-	1	-	-
5.38.1	-	6	-	-
5.38.2	-	6	-	-
5.43	2	-	-	-
5.45.1	1	-	-	-
5.45.2	1	-	-	-
5.69	4	-	-	-
5.88	-	3	-	-
5.94.1	-	2	-	-
5.94.2	-	1	-	-
5.95.1	5	-	-	-
5.95.2	4	-	-	-
Разом:	16	19	-	-
Таблички до дорожніх знаків				
7.14	1	-	-	-
7.17	1	-	-	-
7.2.4	1	-	-	-
7.6.1	2	-	-	-
7.9	-	6	-	-
Разом:	5	6	-	-

ДОДАТОК Е

Зведена таблиця дорожньої розмітки

ЗВЕДЕНА ТАБЛИЦЯ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ							
Номер згідно з ДСТУ 2587	Довжина, м	Кількість місць	Площа кольору м ²				
			білого	жовтого	синього	чорний	червоний
1	2	3	4	5	6	7	8
Горизонтальна розмітка							
1.1	37.41	3	3.74	-	-	-	-
1.2	351.08	5	70.2	-	-	-	-
1.4	171.38	3	-	17.16	-	-	-
1.5	91.35	1	3.04	-	-	-	-
1.6	46.36	1	3.11	-	-	-	-
1.7	37	2	1.85	-	-	-	-
1.8	66.9	2	4.46	-	-	-	-
1.10.1	15.87	1	-	0.79	-	-	-
1.10.2	53.75	2	-	3.12	-	-	-
1.12	11.61	3	4.64	-	-	-	-
1.14.1	485.84	11	47.5	-	-	-	-
1.15	36.32	4	14.72	-	-	-	50.95
1.16.1	456.86	8	120.73	-	-	-	-
1.17.1	20.05	1	-	3.11	-	-	-
1.28.3	-	9	8.10	-	-	-	-
1.31	-	3	6	-	-	-	15
1.33	118.25	2	-	-	11.83	-	-
1.35	-	2	1.36	-	-	-	-
1.36	-	8	1.60	-	-	-	-
1.37	-	2	0.39	-	-	-	-
Разом	Площа розмітки, м ²		276.69	24.18	11.83	-	52
	Довжина розмітки, м		1621.21	261.05	118.25	-	36.32