

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПІД ЧАС ВІЇЗДУ З ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ НА МАГІСТРАЛЬНІ ВУЛИЦІ

Любий Є. В., Капінус С. В., Бслецька О. М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті наведено методичку формування імітаційної моделі руху транспортних засобів під час виїзду з прилеглих територій до магістральних вулиць із використанням програмного комплексу PTV VISSIM. Побудована імітаційна модель застосовується для оцінювання величини затримок транспортних засобів у процесі виїзду з прилеглих територій до магістральних вулиць, а також для розроблення та оцінювання заходів з удосконалення організації дорожнього руху на обраних для дослідження об'єктах. Порівняно результати імітаційного моделювання та натурних спостережень за рухом транспортних засобів під час виїзду з прилеглих територій. Запропоновано заходи з удосконалення організації дорожнього руху на виїзді з прилеглої території до магістральної вулиці та оцінено ефективність дорожнього руху.

Ключові слова: виїзди з прилеглих територій, затримки, імітаційне моделювання, організація дорожнього руху, транспортний потік, PTV VISSIM.

Вступ

Сучасні українські міста мають потужну й розвинену транспортну систему, що містить достатньо велику кількість місць виникнення конфліктних ситуацій, основними з яких є нерегульовані перехрестя та виїзди з прилеглих територій до магістральних вулиць [1]. Такі об'єкти в транспортній системі міста визначаються складними умовами руху та є потенційними місцями концентрації дорожньо-транспортних пригод, що призводить до утворення заторових станів і, як наслідок, до зростання затримок транспорту під час здійснення поїздок міською територією [1, 2].

Необхідно зазначити, що з урахуванням постійного розвитку міських територій пропорційно зростає й кількість виїздів (в'їздів) з прилеглих територій, які з'єднують магістралі з житловими масивами, системами паркінгів, торгівельними й розважальними комплексами та іншими об'єктами міської інфраструктури.

Але далеко не завжди проектувальникам вдається точно спрогнозувати потужності наведених вище об'єктів для якісного транспортного обслуговування учасників дорожнього руху. Виправляти ці недоліки вже доводиться фахівцям з організації дорожнього руху, які володіють навичками транспортного моделювання та мають у своєму розпорядженні відповідні програмні комплекси.

Водночас одним з основних критеріїв прийняття рішення про впровадження того чи іншого заходу щодо покращення якості транспортного обслуговування учасників

руху під час виїзду з прилеглих територій є транспортні затримки.

Аналіз публікацій

В українській практиці на сьогодні, на жаль, не йдеться про обов'язкове використання програмних засобів моделювання трафіку, а є лише згадування про доцільність їх використання.

Так, у ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» зазначається: «...для оцінювання ступеня впливу того чи іншого об'єкта транспортної системи на вулично-дорожню мережу міст, вибір планувальних рішень, отримання проектної інтенсивності руху, експлуатаційних показників об'єктів, що належать до транспортної системи міст, доцільно використовувати транспортне моделювання (зокрема за значеннями затримок транспорту, довжиною черг, часом перебування на вулично-дорожній мережі тощо)». А в ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій» ідеться лише про те, що «...для оцінювання ступеня впливу того чи іншого об'єкта транспортної системи на вулично-дорожню мережу населених пунктів, ефективність прийнятих планувальних рішень, визначення проектної інтенсивності руху, експлуатаційних показників об'єктів, що належать до транспортної системи населеного пункту, доцільно використовувати транспортне моделювання транспортного вузла».

Хоча, необхідно зазначити, що вже зроблені перші кроки у вирішенні питання доці-

льності й актуальності використання транспортного моделювання в Україні, особливо в оцінюванні ефективності проектних рішень щодо дорожньої інфраструктури. Так, за участі фахівців Державного агентства автомобільних доріг України (зараз – Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України (<http://ukravtodor.gov.ua/>), Державного підприємства «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (<https://dorndi.org.ua/>) та ТОВ «Промобільність» (<https://pro-mobility.org/>) розроблено першу редакцію методичних рекомендацій з моделювання транспортних потоків під час оцінювання ефективності проектних рішень щодо дорожньої інфраструктури МР – Б.2.2-37641918-928:2022 (<http://surl.li/frnck>), які наразі проходять громадське обговорення. Названі вище методичні рекомендації містять опис методик моделювання транспортних потоків на різних рівнях деталізації (мікрорівень і макрорівень), а також алгоритми збору та склад необхідної інформації для проведення моделювання з використанням програмних комплексів компанії PTV GROUP, але про обов'язкове використання засобів транспортного моделювання не йдеться.

У світовій практиці для того, щоб уникнути проблемних ситуацій в організації транспортного сполучення як прилеглих територій, так й інших об'єктів міської інфраструктури, до транспортної системи обов'язково використовуються засоби транспортного моделювання, найбільш поширеними з яких є PTV VISUM, PTV VISSIM, SUMO, AnyLogic тощо [3, 4].

Оскільки за умовами дорожнього руху виїзду з прилеглих територій є дуже схожими з нерегульованими перехрестями, тому наведемо приклади використання засобів імітаційного моделювання саме для них. Найбільш поширеними для оцінювання наявних умов дорожнього руху та розроблення заходів з удосконалення дорожнього руху на нерегульованих перехрестях є програмні комплекси PTV VISSIM і SUMO. Одними з останніх прикладів використання PTV VISSIM на таких об'єктах є роботи, основною метою яких було:

- оцінювання ефективності й удосконалення перехрестя за умов гетерогенного змішаного руху [5];
- оцінювання ефективності наявного варіанта руху через перехрестя та розроблення рекомендацій [6, 7], для аналізу транспорт-

них конфліктів на перехресті додатково використовувався SSAM;

- калібрування розроблених моделей для перехрестя зі змішаним рухом із відсутніми чіткими правилами пріоритету [8, 9] та багатьо інших.

Основними критеріями ефективності дорожнього руху в процесі використання PTV VISSIM є рівень транспортного обслуговування (LOS) перехрестя або групи перехрестя, кількість викидів шкідливих речовин, а також величина транспортних затримок.

SUMO в дослідженні нерегульованих перехрестя використовується для розроблення самої імітаційної моделі функціонування перехрестя, моделювання критичного інтервалу, калібрування та порівняння результатів імітації з використанням штучно нейронної мережі [10]. Крім того, цей програмний комплекс має потужні можливості щодо моделювання регульованих перехрестя і ще однією з його переваг є вільний доступ. Основним критерієм оцінювання розроблених у SUMO заходів є транспортні затримки.

Необхідно зазначити, що в PTV VISSIM і SUMO вбудовані практично всі відомі на цей час методи й моделі виконання кожного етапу моделювання транспортного потоку на міських магістралях. Вони доволі легко інтегруються із програмами макромоделювання, що забезпечує подальше використання моделей для підвищення ефективності й безпеки дорожнього руху на них, а також можливість взаємодії з ГІС.

Мета та постановка завдання

Основною метою статті є оцінювання затримок транспортних засобів під час виїзду з прилеглих територій з використанням PTV VISSIM. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання: розробити імітаційну модель обраного для дослідження об'єкта; оцінити транспортні затримки для наявного варіанта організації дорожнього руху; розробити заходи щодо вдосконалення організації дорожнього руху на обраному об'єкті експериментальних досліджень та оцінити їх ефективність.

Методика розроблення імітаційної моделі виїзду з прилеглих територій з використанням PTV VISSIM

Для досягнення поставленої мети на першому етапі необхідно розробити імітаційну модель руху транспортних засобів на обраній для дослідження ділянці вулично-дорожньої

мережі, з використанням якої будуть визначені основні параметри руху транспортних засобів на обраному об'єкті. За об'єкт для проведення експериментальних досліджень обрано виїзд із прилеглих прибудинкових територій на вул. Академіка Заболотного між вул. Академіка Сахарова та вул. Семена Палія в м. Одесі. Для цього об'єкта раніше [1] було проведено натурні спостереження за рухом транспортних засобів і отримані фактичні значення затримок транспортних засобів у процесі відповідних маневрів (поворот ліворуч і праворуч) та здійснено перевірку точності запропонованих аналітичних моделей для розрахунку втрат часу учасниками руху.

Для розроблення імітаційної моделі виїзду з прилеглих прибудинкових територій на вул. Академіка Заболотного між вул. Академіка Сахарова та вул. Семена Палія в м. Одесі обрано програмний комплекс PTV VISSIM. Основними вхідними параметрами в цьому разі є [11]:

- довжина ділянок вулично-дорожньої мережі;
- ширина проїжджої частини;
- кількість смуг руху на ділянках вулично-дорожньої мережі;
- інтенсивність транспортного потоку на вході ділянок вулично-дорожньої мережі;
- інтенсивність пішохідного трафіку;
- склад транспортного потоку;
- наявність зупинок громадського транспорту тощо.

Послідовність побудови імітаційної моделі виїзду з прилеглої території з використанням PTV VISSIM складається з такого переліку основних етапів (табл. 1) [11].

До початку розроблення імітаційної моделі необхідно завантажити фон (підкладку), на основі якого буде проводитися моделювання. Таким фоном може бути електронна карта відповідної місцевості та масштабу, що розміщена на спеціалізованих ресурсах Google Maps, SAS Planet або інших. У межах цього дослідження таким фоном є фрагмент карти зі спеціалізованого ресурсу Google Maps.

На першому етапі проводиться моделювання відрізків. Використовуючи об'єкт «Відрізки», що розміщений у вікні «Об'єкти мережі», виконується прорисовка доріг.

Таблиця 1 – План імітаційної моделі в PTV VISSIM (основні етапи)

Назва та послідовність виконання етапу	Вид робіт
Побудова дорожньої мережі	Зображення відрізків доріг Зображення поворотів Організація зустрічного руху Створення смуг розгону й гальмування Нанесення дорожньої розмітки
Введення транспортного потоку	Внесення даних про інтенсивності потоків Визначення складу транспортних засобів Прокладання маршрутів транспортних засобів Введення правил пріоритету в конфліктних зонах
Моделювання руху пішоходів	Створення пішохідного потоку Визначення щільності та складу потоку Прокладання маршрутів руху пішохідних потоків Розбір конфліктних зон Створення та встановлення світлофорних об'єктів
Моделювання руху громадського транспорту	Створення зупинок Прокладання маршрутів громадського транспорту з зазначенням зупинок і розкладу

У вікні «Атрибути відрізка» (рис. 1) можна побачити довжину змодельованої ділянки, дати назву відрізка, задати кількість смуг руху для транспортних засобів, а також налаштувати тип поведінки на дорозі, що відображається, тип дорожнього покриття та рівень у процесі виконання багаторівневої розв'язки.

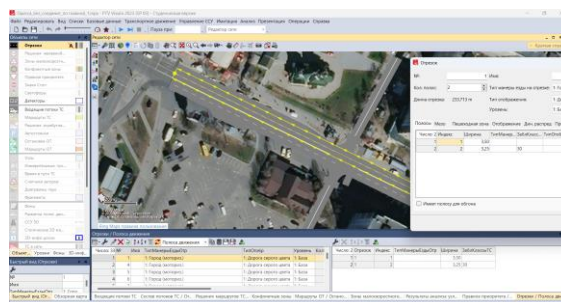


Рис. 1. Відрізки вулично-дорожньої мережі

Далі додається зустрічний рух. У випадяючому меню (рис. 2) вибирається пункт «Зустрічний рух» та активізується натисканням відповідної клавіші маніпулятора.

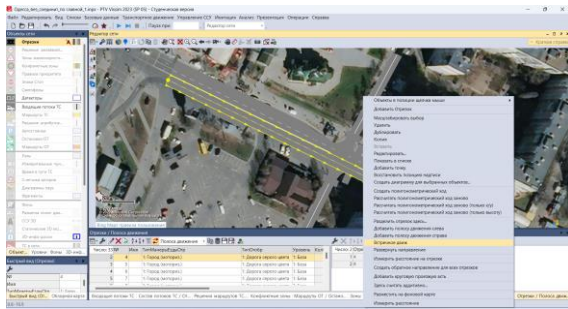


Рис. 2. Зустрічний рух на ділянках вулично-дорожньої мережі

Після цього моделюються сполучні відрізки. Для цього за умови активованої кнопки «Відрізки» у вікні «Об'єкти мережі», обирається початковий відрізок і проводиться з'єднувальний відрізок від першого (виділеного) до другого (рис. 3). У діалоговому вікні вказуються параметри відрізка та задається правило повороту праворуч: наприклад, з крайньої правої в крайню праву смугу. А також вказується кількість проміжних точок (рис. 3).

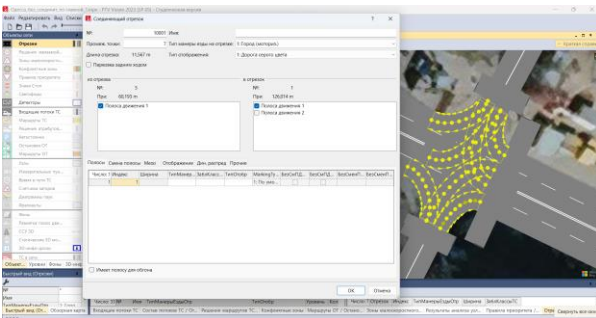


Рис. 3. Сполучні відрізки

Далі відповідно до напрямків руху задаються вхідні потоки. Активується пункт «Вхідні потоки» у вікні «Об'єкти мережі». Обирається відрізок, де необхідно вставити вхідний потік, найчастіше він виділений чорним кольором (рис. 4).

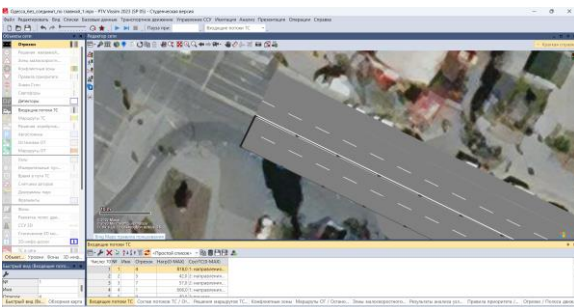


Рис. 4. Вхідні потоки

Після цього задається інтенсивність і склад вхідного транспортного потоку через вкладку меню «Швидкий вигляд» (рис. 5).



Рис. 5. Інтенсивність і склад транспортного потоку

Наступним етапом задаються маршрути руху транспортних засобів. Для того щоб задати рішення маршруту, необхідно активувати позицію «Маршрути ТЗ» у вікні «Об'єкти мережі». Отриманий маршрут підсвічується жовтим кольором (рис. 6).

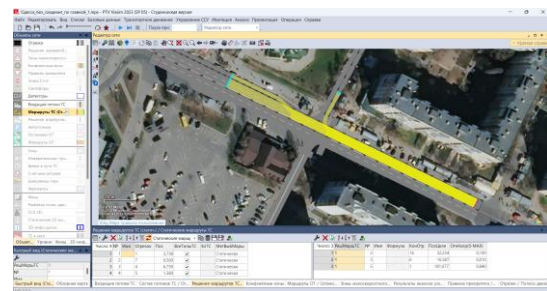


Рис. 6. Маршрути руху транспортних засобів

Після цього вводяться правила пріоритету в процесі проходження транспортними засобами конфліктних зон. У вікні «Об'єкти мережі» обирається пункт «Конфліктні зони» та визначається пріоритет руху в конфліктній зоні. Унаслідок моделювання вони виділяються жовтими маркерами на екрані, а після визначення пріоритету – відповідно червоним та зеленим маркером (рис. 7). Для визначення права пріоритетного проїзду та запобігання заторових ситуацій у зоні нерегульованого виїзду з прилеглої території у вікні «Об'єкти мережі» обирається пункт «Правила пріоритету» та задаються правила пріоритету конфліктних потоків.

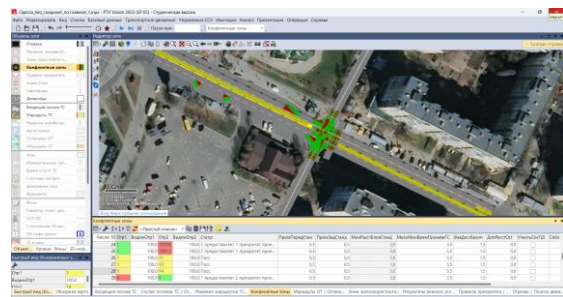


Рис. 7. Конфліктні зони

Надалі моделюється пішохідний рух подібно до того, як вводяться в модель потоки транспортних засобів. В атрибутах кожного відрізка, крім ширини (наприклад, 2 м) в графі «Тип манери поведінки», зазначається *Footpath (no interaction)*, а в графі «Тип зображення» – *Pedestrian area gray*.

Громадський транспорт може пересуватися як в змішаному потоці, так і по окремій смузі або дорозі. У PTV VISSIM громадський транспорт розглядається окремо від інших видів транспорту (наприклад, індивідуального). Для організації руху громадського транспорту необхідно ввести зупинки й маршрути із зазначенням необхідних зупинок і розкладу руху. Зупинки громадського транспорту можуть створюватися як на смузі, так і в кишені (громадський транспорт зупиняється в спеціальному розширенні смуги обраного відрізка). Місця для зупинок громадського транспорту виділяються червоним кольором (рис. 8).

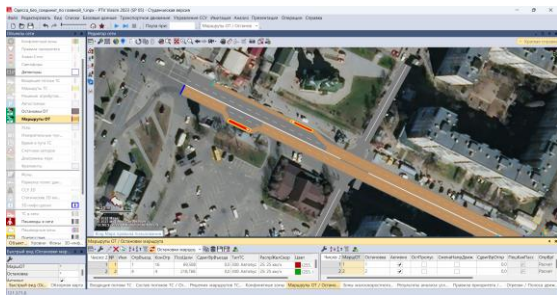


Рис. 8. Місця зупинок громадського транспорту

Після моделювання громадського транспорту можна запускати імітацію руху транспортних засобів на обраному об'єкті (рис. 9).

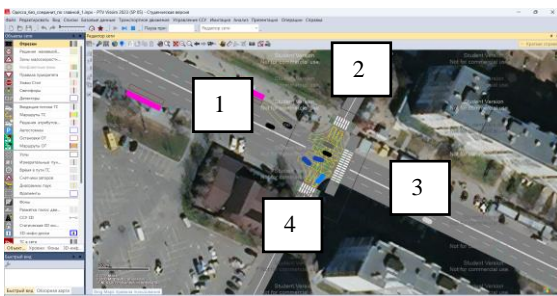


Рис. 9. Приклад імітації руху транспорту

Необхідно зазначити, що результатом роботи імітаційної моделі є анімація руху транспорту у вигляді графіки в режимі реального часу й подальша видача транспортно-технічних параметрів, таких як, наприклад,

розподіл часу в дорозі, транспортні затримки, довжина черги, час простою, кількість викидів шкідливих речовин, витрати палива, які можна диференціювати за групами користувачів.

Основний матеріал

Виїзд із прилеглих прибудинкових територій на вул. Академіка Заболотного між вул. Академіка Сахарова та вул. Семена Палія в м. Одесі є одним із прикладів проблем організації дорожнього руху на такого типу об'єктах (рис. 1 з [1]). Вулиця Академіка Заболотного є однією з магістральних вулиць Суворівського району, має вихід на об'їзну дорогу й виходить до селища Ліски. Цією вулицею в районі обраного для дослідження виїзду з прилеглих територій курсує два маршрути громадського транспорту – автобусний маршрут № 121 та № 232А з інтервалами руху 3–4 хв і 4–8 хв відповідно. Також необхідно зауважити, що вулицею не заборонено рух вантажного транспорту.

На ділянці – вул. Академіка Заболотного між вул. Академіка Сахарова та вул. Семена Палія – є декілька виїздів із прилеглих територій. На остаточний вибір саме цього виїзду з прилеглих територій вплинула його безпосередня близькість (130 м) до одного з найбільш завантажених регульованих перехресть міста (перехрестя вул. Академіка Заболотного – вул. Семена Палія).

Відповідно до чинної схеми організації дорожнього руху на вул. Академіка Заболотного передбачено по дві смуги руху в кожному напрямку, які розділені розміткою 1.3 [12]. Також на обраному виїзді з прилеглої території організовано пішохідні переходи, що позначені розміткою 1.14.1 (рис. 9) [12]. Необхідно зазначити, що безпосередньо на обраному виїзді з прилеглих територій є розрив у розмітці 1.3, який облаштовано для здійснення відповідних маневрів повороту на цьому об'єкті. Це враховано в процесі побудови імітаційної моделі руху транспортних засобів.

На основі раніше проведених натурних спостережень [1] за рухом транспортних засобів на обраному для дослідження об'єкті встановлено середні значення інтенсивності руху й склад транспортних потоків за напрямками, які використовуються за вхідну інформацію в процесі побудови імітаційної моделі. Значення середньої інтенсивності руху транспортних і пішохідних потоків (од./год)

подано на рис. 10, а склад потоків за напрямками становить:

- на вул. Академіка Заболотного в обох напрямках: легкові – 95 %, вантажівки – 2 %, автобуси (громадський транспорт) – 3 %;
- з виїздів: 100 % легкові автомобілі;
- пішохідні потоки: чоловіки – 40 %, жінки – 60 %.

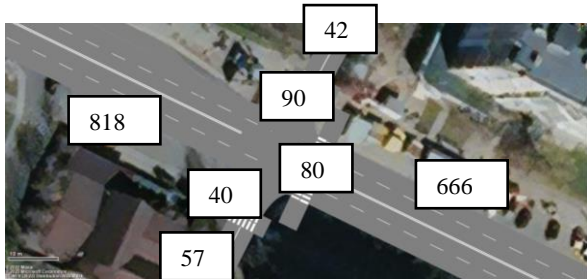


Рис. 10. Інтенсивність транспортних і пішохідних потоків, од./год

Після імітації руху транспортних засобів із використанням PTV VISSIM було отримано середні значення затримок для всіх зафіксованих протягом натурних спостережень маневрів на виїзді з прилеглих прибудинкових територій на вул. Академіка Заболотного між вул. Академіка Сахарова та вул. Семена Палія (напрямки вказані відповідно до рис. 9):

- поворот праворуч: напрям руху 2–1 – 6,7 с, напрям руху 4–3 – 6,86 с;
- поворот ліворуч: напрям руху 2–3 – 13,55 с, напрям руху 4–1 – 13,76 с;
- поворот ліворуч: напрям руху 1–2 – 10,8 с; напрям руху 3–4 – 24,39 с;
- поворот праворуч з основної дороги (напрями 1 і 3) не оцінювались у зв'язку з відсутністю необхідності надання пріоритету в русі;
- середні значення транспортних затримок на об'єкті – 4,57 с.

Відхилення результатів моделювання від реально зафіксованих затримок транспортних засобів на обраному для дослідження виїзді з прилеглих територій під час проведення натурних спостережень [1] становить:

- поворот праворуч: напрям руху 2–1 – 5,8 %, напрям руху 4–3 – 8,4 %;
- поворот ліворуч: напрям руху 2–3 – 5,6 %, напрям руху 4–1 – 4,3 %;
- середні значення транспортних затримок на об'єкті – 7,1 %.

Результати свідчать про досить високу точність розробленої імітаційної моделі та можливість її використання для розроблення й оцінювання заходів з удосконалення організації дорожнього руху на обраному для дос-

лідження об'єкті. За можливий варіант удосконалення організації дорожнього руху транспортних засобів на обраному об'єкті запропоновано заборонити здійснення маневру повороту ліворуч для всіх напрямків руху, тобто водіям необхідно проїхати до найближчого перехрестя та здійснити розворот у потрібному напрямку. Результати імітації цього заходу з використанням PTV VISSIM свідчать про значне скорочення транспортних затримок на об'єкті – скорочення на 2,59 с.

Результати підтверджують ефективність упровадження запропонованого заходу для обраного об'єкта, але необхідно враховувати, що перенаправлені потоки транспортних засобів спричинятимуть додаткове навантаження на наступні найближчі вузли транспортної мережі, де є можливість здійснення маневру розвороту, визначення наслідків впливу якого є подальшими етапами досліджень.

Для підтвердження підвищення якості транспортного обслуговування учасників руху на обраному для дослідження об'єкті побудовано графіки зміни величини середньої затримки за умови зростання інтенсивності руху транспортних і пішохідних потоків за напрямками руху транспортних засобів (рис. 11, 12).

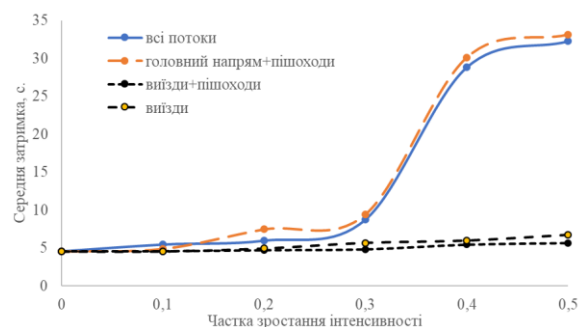


Рис. 11. Залежність затримок від зміни інтенсивності руху потоків (наявний варіант)

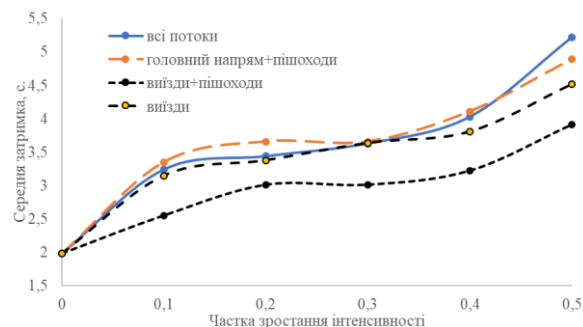


Рис. 12. Залежність затримок від зміни інтенсивності руху потоків (запропонований варіант)

Результати імітації руху транспортних і пішохідних потоків для наявного та запропонованого варіантів транспортного обслуговування учасників руху на виїзді з прилеглих прибудинкових територій на вул. Академіка Заболотного між вул. Академіка Сахарова та вул. Семена Палія свідчать про те, що основний вплив на затримки здійснюють потоки головного напрямку (основна дорога). Зі зростанням інтенсивності трафіку на 30 % та більше для наявного варіанта спостерігається суттєвий стрибок щодо зростання величини середньої затримки на об'єкті. Важливою причиною цього є практично відсутня можливість здійснення маневру повороту ліворуч з усіх напрямків (дуже щільний потік)

Результати імітації запропонованого варіанта транспортного обслуговування учасників руху на виїзді з прилеглих прибудинкових територій на вул. Академіка Заболотного між вул. Академіка Сахарова та вул. Семена Палія (заборона здійснення повороту ліворуч) свідчать про дуже високу його ефективність і можливість упровадження навіть за умов значного зростання інтенсивності потоків, але за умови додаткового дослідження впливу цього заходу на наступних об'єктах транспортної мережі – перехрестя вул. Академіка Заболотного – вул. Семена Палія.

Висновки

Сучасні засоби імітаційного моделювання є потужним і необхідним інструментом оцінювання та розроблення ефективних заходів з удосконалення функціонування як транспортних систем загалом, так і окремих її елементів.

Використання розробленої в PTV VISSIM імітаційної моделі трафіку на виїзді з прилеглих прибудинкових територій на вул. Академіка Заболотного між вул. Академіка Сахарова та вул. Семена Палія в м. Одесі, що побудована за результатами натурних спостережень за рухом транспортних засобів, дає змогу зробити обґрунтовані висновки щодо підвищення якості транспортного обслуговування на обраному для дослідження об'єкті.

Унаслідок імітації руху встановлено, що організація заборони здійснення маневру повороту ліворуч на обраному виїзді з прилеглих територій дає змогу досягти скорочення середньої затримки на 56,7 %. Цей прогрес особливо спостерігається за умов зростання інтенсивності транспортних потоків.

Можливими подальшими напрямками проведення досліджень є розгляд і моделювання інших заходів удосконалення організації дорожнього руху на цьому виїзді з прилеглих територій, наприклад, розгляд можливості й доцільності встановлення об'єктів світлофорної сигналізації, що буде виконувати роль так званого передсигналу в напрямку руху до перехрестя вул. Академіка Заболотного – вул. Семена Палія.

Література

1. Любий Є.В., Белецька О.М. Експериментальні дослідження затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2021. № 1 (16). С. 106–116. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v1i16.513>
2. Prassas E.S., P. Roess R. Unsignalized Intersections: Two-Way STOP Control (TWSC). *The Highway Capacity Manual: A Conceptual and Research History Volume 2. Springer Tracts on Transportation and Traffic*. 2020. Vol.12. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-34480-1_4
3. Любий Є.В., Пономарьова Н.В., Чернишова О.С. Транспортне планування міст: сучасні інструменти транспортного моделювання автотранспортних систем. *Комунальне господарство міст*. 2016. № 128. С. 76–82.
4. Розроблення схеми координації світлофорів на просп. Науки. Звіт про науково-дослідну роботу (заклучний). Харків: ХНАДУ, 2021. 126 с.
5. Ganguly S., Ahmed M.A., Dutta M. Performance Evaluation and Enhancement of Unsignalized Intersection Using Microsimulation in VISSIM. *Proceedings of the Fifth International Conference of Transportation Research Group of India: Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. Edition 219. Chapter 5. Publisher: Springer Singapore. DOI: 10.1007/978-981-16-8259-9_5
6. Septyaningrum I.M., Anindita R.Y., Oktopianto Y. Traffic Signalizing Application at Unsignalized Intersection Applying Vissim Software Microsimulation. *RSF Conference Series: Engineering and Technology*. 2022. No.2 (2). P. 294–306. URL: <https://doi.org/10.31098/cset.v2i2.583>
7. Капінус С.В. Імітаційне моделювання параметрів дорожнього руху у критичних ситуаціях на транспортній мережі. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2017. № 11. С. 79–84.
8. Dutta M., Ahmed M.A. Calibration of VISSIM Models at Three-Legged Unsignalized Intersections Under Mixed Traffic Conditions. *Advances in Transportation Studies*. 2019. No. 48. P. 31–46. URL: <http://surl.li/frokr>
9. Development of a VISSIM Simulation Model for U-Turns at Unsignalized Intersections / Liu Pan

- et al. *Journal of Transportation Engineering*. 2012. No. 138 (11). P. 1333–13339. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000438](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000438).
10. Bagheri M., Bartin B., Ozbay K. Simulation of Vehicles' Gap Acceptance Decision at Unsignalized Intersections Using SUMO. *Procedia Computer Science*. 2022. No. 201. P. 321–329. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.03.043>.
11. PTV Vissim 10. User Manual [Електронний ресурс] User Guide Search Engine. URL: <http://surl.li/frqbf> (дата звернення: 22.01.2023).
12. Правила дорожнього руху. Офіційний сайт Верховної ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п> (дата звернення: 20.02.2023).

References

1. Liubiy, Ye.V., Bielecka, O.M. (2021) Experimental research of traffic delay at the adjacent territory exit. *Modern technologies in mechanical engineering and transport*, no. 1 (16), pp. 106–116. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v1i16.513>
2. Prassas, E.S., P. Roess, R. (2020) Unsignalized Intersections: Two-Way STOP Control (TWSC). *The Highway Capacity Manual: A Conceptual and Research History Volume 2. Springer Tracts on Transportation and Traffic*, vol. 12. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-34480-1_4
3. Lyubiy, Y.V., Ponomareva, N.V., Chernishova, O.S. (2016) Transport planning of cities: modern tools of transport modeling of road transport systems. *Municipal economy of cities*, no. 128, pp. 76–82.
4. Development of a scheme for coordinating traffic lights on Nauky Ave. Report on research work (final). Kharkiv, 2021. 126 p.
5. Ganguly, S., Ahmed, M. A., Dutta, M. (2022) Performance Evaluation and Enhancement of Unsignalized Intersection Using Microsimulation in VISSIM. *Proceedings of the Fifth International Conference of Transportation Research Group of India: Lecture Notes in Civil Engineering*. Edition 219. Chapter 5. Publisher: Springer Singapore. DOI: 10.1007/978-981-16-8259-9_5
6. Septyaningrum, I.M., Anindita, R.Y. Oktopianto, Y. (2022) Traffic Signaling Application at Unsignalized Intersection Applying Vissim Software Microsimulation. *RSF Conference Series: Engineering and Technology*, no. 2 (2), pp. 294–306. URL: <https://doi.org/10.31098/cset.v2i2.583>
7. Kapinus, S.V. (2017) Simulation modeling of traffic parameters in critical situations on the transportation network. *Automobile and electronics. Modern technologies*, no. 11, pp. 79–84.
8. Dutta, M., Ahmed, M.A. (2019) Calibration of VISSIM Models at Three-Legged Unsignalized Intersections Under Mixed Traffic Conditions. *Advances in Transportation Studies*, no. 48, pp. 31–46. URL: <http://surl.li/frokr>
9. Liu, Pan, Qu, Xu, Yu, Hao, Wang, Wei, Cao, Bing. (2012) Development of a VISSIM Simulation Model for U-Turns at Unsignalized Intersections. *Journal of Transportation Engineering*, no. 138 (11), pp. 1333–13339. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000438](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000438)
10. Bagheri, M., Bartin, B., Ozbay, K. (2022) Simulation of Vehicles' Gap Acceptance Decision at Unsignalized Intersections Using SUMO. *Procedia Computer Science*, no. 201, pp. 321–329. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.03.043>
11. PTV Vissim 10. User Manual. User Guide Search Engine. URL: <http://surl.li/frqbf> (last accessed 22.01.2023).
12. Traffic rules. Official website of the Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п> (last accessed 20.02.2023).

Любий Євген Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики, lion_khadi@ukr.net,

тел. +38 050-166-18-08;

Капінус Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри організації та безпеки дорожнього руху, skapinus13@ukr.net, тел. +38 066-133-44-84;

Белецька Ольга Михайлівна, аспірантка кафедри транспортних систем і логістики, olya.krasotova@gmail.com, тел. +38 067-176-01-76.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Simulation of vehicle traffic at exit from the adjacent territory to main streets

Abstract. Problem. The transport systems of Ukrainian cities have a fairly high number of problem areas with difficult conditions for traffic, one such example being exits to main streets from adjacent territories. The probability of transport problems at such facilities is difficult to predict even at the design stage, which ultimately has negative consequences that affect the quality of transport services for road users within these facilities. These shortcomings are already being addressed by traffic management specialists who have transport modeling skills and have the appropriate software packages at their disposal. **Goal.** The main purpose of the article is to estimate vehicle delays at the adjacent territory exit to main streets using PTV VISSIM. **Methodology.** Development of a simulation model of the object selected for the study; assessment of traffic delays for the existing traffic management option; development of measures to improve traffic management at the selected object

of experimental research and evaluation of their effectiveness. **Results.** The result of the simulation model is the animation of traffic in the form of a real-time graphic and the subsequent output of transport and technical parameters: travel time distribution, traffic delays, queue length, idle time, emissions, fuel consumption, which can be differentiated by user group. **Originality.** The results of the simulation of the proposed variant of transport service for traffic participants at the adjacent territory exit to main streets indicate its very high efficiency and the possibility of implementation even under conditions of a significant increase in the intensity of flows. **Practical value.** Using the traffic simulation model of adjacent territory exit to main streets developed in PTV VISSIM, which is based on the results of field observations of vehicle traffic, allows us to draw reasonable conclusions about improving the quality of transport service at the object selected for the study.

Key words: adjacent territory exit, delay, simulation, traffic management, traffic flow, PTV VISSIM.

Liubiy Yevhen, PhD, Associate Professor of Transport Systems and Logistics Department,
lion_khadi@ukr.net,

tel. +38 050-166-18-08;

Kapinus Serhii, PhD, Associate Professor of Road Traffic Organization and Safety Department,
skapinus13@ukr.net,

tel. +38 066-133-44-84;

Bieletska Olha, PhD student of Transport Systems and Logistics Department,

olya.krasotova@gmail.com,

tel. +38 067-176-01-76.

Kharkiv National Automobile and Road University,
61002, Ukraine, Kharkiv, street Yaroslav the Wise, 25.
