

Грицунь О.М., Вельган А.І.
Національний університет «Львівська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ПРОЇЗДІ НЕРЕГУЛЬОВАНОГО ПІШОХІДНОГО ПЕРЕХОДУ

У роботі проведено аналіз існуючих методів визначення затримок транспортних засобів перед нерегульованими пішохідними переходами. Виділено чотири варіанти розташування наземного пішохідного переходу щодо перехрестя: на перегоні вулиці (Тип Г); в зоні перехрестя (Тип А та Тип Б); в зоні впливу перехрестя (Тип В). Побудовано графічні залежності, у яких відображено зміну швидкості руху транспортного потоку під час проїзду нерегульованого пішохідного переходу. Розраховано затримку транспортних засобів для кожного типу переходу з врахуванням швидкісного режиму. Встановлено, що на переході Типу Б спостерігається найбільша транспортна затримка та становить 16,5 с, найменша транспортна затримка спостерігається на переході Типу Г і становить 3,9 с. У такому випадку черга автомобілів, що сформувалася на підході до нерегульованого переходу, залежить тільки від інтенсивності пішохідного потоку, тобто вплив перехрестя на пішохідний перехід в цьому випадку відсутній.

У спеціалізованому програмному середовищі PTV VISSIM створено модель перехрестя з чотирма нерегульованими пішохідними переходами. Змодельовано та досліджено затримки транспортних засобів під час проїзду нерегульованих пішохідних переходів за різної вхідної інтенсивності транспортного та пішохідного потоку. Встановлено, що розміщення нерегульованого пішохідного переходу на проїзній частині знижує пропускну здатність вулично-дорожньої мережі на 10 – 20%. За низької інтенсивності пішохідного потоку (до 200 піш/год) транспортна затримка на досліджуваних типах переходу практично однакова (до 20 с). В такому випадку, між пішоходами спостерігаються великі інтервали, які дають змогу автомобілям проїжджати досліджувану ділянку практично без зупинок. Проте, зі збільшенням вхідної інтенсивності пішохідного потоку, інтервали між ними ущільнюються, в результаті чого зростають затримки автомобілів.

Ключові слова: нерегульований перехід, транспортний потік, пішохідний потік, пропускну здатність, транспортні затримки, імітаційне моделювання.

ВСТУП

Зниження аварійності та підвищення рівня безпеки дорожнього руху є одним із пріоритетних завдань. Найпоширенішими видами дорожньо-транспортних подій, які відрізняються високою тяжкістю наслідків, є наїзди на пішоходів. Пішоходи найбільш вразливі учасники дорожнього руху, оскільки отримують серйозні травми у дорожньо-транспортних подіях. Понад третина наїздів (39%) відбуваються у населених пунктах і є однією з основних проблем аварійності. Тому, поведінка пішохідного руху при перетині проїзної частини є актуальною темою дослідження. Через збільшення інтенсивності як транспортних, так і пішохідних потоків у містах, кількість нерегульованих та регульованих переходів зростає. Це спричиняє збільшення сумарних витрат на пересування транспорту і пішоходів.

Заходи щодо регулювання пішохідного руху спрямовані на забезпечення безпеки пішоходів та підвищення зручності їх пересування. Регулювання пішохідного руху передбачає комплексне використання організаційних та архітектурно-планувальних заходів, що впливають із дослідження умов та характеристик руху пішоходів вулично-дорожньою мережею. Крім цього потрібні дослідження щодо розроблення моделі поведінки пішоходів під час переходу через нерегульовані пішохідні переходи. У цих дослідженнях розглядаються психофізіологічні особливості поведінки пішоходів, які потребують подальшого дослідження при перетині проїжджої частини.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Виникнення аварійної дорожньо-транспортної ситуації багато в чому залежить від поведінки учасників дорожнього руху в місцях їх взаємодії – в зоні дії пішохідних переходів. Таким чином, необхідні знання про закономірності формування транспортних та пішохідних потоків на нерегульованих пішохідних переходах.

Інтенсивність пішохідного руху в містах досить велика та істотно впливає на величину затримок транспортних засобів. Ігнорування цього чинника спричиняє значні помилки в розрахунках при виборі оптимального розподілу транспортних потоків на вулично-дорожній мережі [1].

Поведінка пішоходів все ще залишається в певному сенсі найпоширенішим і небезпечним видом дорожньої поведінки, оскільки, принаймні, кожен з них виступає в ролі беззахисного пішохода. Особливість поведінки пішоходів залежить від їх особистих можливостей, якими

виражається їх відмінність від інших учасників дорожнього руху. Пішоходи відрізняються швидкістю руху, інерційністю та мобільністю під час вибору напрямку руху [2].

У роботі [3] викладено основні математичні підходи до моделювання пішохідного потоку. Дослідження [4] ґрунтується на встановленні ймовірнісних оцінок ДТП, пов'язаних з наїздом на пішохода. Авторами запропоновано методика розрахунку цих оцінок та відносного показника небезпеки. Визначено, що на ймовірність виникнення дорожньо-транспортних подій впливає швидкісний режим руху транспорту на ділянці перед переходом, дисципліна водіїв, а також стан дорожнього покриття, інтенсивність пішохідного та транспортного руху.

Якщо для визначення транспортної затримки під час проїзду регульованих перехресть (переходів) в більшості випадків все зрозуміло, оскільки її причиною є очікування сигналу світлофора [5], то визначення затримки транспортних засобів на нерегульованих переходах складніше.

Затримка автомобілів перед нерегульованими пішохідними переходами – це час, що витрачається кожним автомобілем на пропуск пішоходів, які переходять через проїзну частину [4–7]. У зв'язку з цим, при високій інтенсивності пішохідного руху, транспортним засобам потрібно витратити більше часу для проїзду нерегульованого пішохідного переходу.

Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено, що вплив нерегульованого пішохідного переходу на транспортний потік становить приблизно до 50 м перед ним і на таку ж відстань за ним [1]. Граничні межі довжини ділянки впливу нерегульованого пішохідного переходу на зниження швидкості транспортного потоку залежать від таких чинників: інтенсивність пішохідного потоку, склад транспортного потоку та видимості на перехресті (переході). Також затримки автомобілів можна визначати на основі результатів зменшення швидкості потоку і порівняння їх з вільними умовами руху або за відсутності пішоходів на переході [7–8].

Відомо, що під час збільшення інтенсивності пішохідного руху, зростають транспортні затримки та збільшується зона впливу пішохідного переходу на транспортний потік. Проте, збільшення інтенсивності транспортного потоку ускладнює пішоходам перехід через проїзну частину, збільшується імовірність утворення дорожньо-транспортних подій [9].

Дослідження затримок автомобілів перед нерегульованими пішохідними переходами з використанням відеозйомки дозволить встановити часові та просторові характеристики, зокрема відстань, на якій відбувається різка зміна швидкості транспортних засобів, особливості утворення черг автомобілів в зоні пішохідних переходів для різних періодів доби.

За результатами досліджень [7] відомо, що черги транспортних засобів виникають з таких причин: 43% – через високу інтенсивність транспортного потоку; 29% – режим роботи світлофорної сигналізації; 22% – висока щільність перехресть; 6% – облаштування зупиночних пунктів громадського транспорту поблизу перехресть.

Розглянемо вплив чинника, який відповідає за розміщення пішохідного переходу відносно перехрестя на особливості виникнення затримки руху. У зоні перехрестя розташовуються до 45% загальної кількості пішохідних переходів, на відстані більше 200 м до перехрестя – 25%, інші 30% – на відстані менше 200 м до найближчого перехрестя [7].

У зв'язку з цим обрано три варіанти розташування нерегульованих переходів щодо перехресть: на перегоні вулиці; в зоні впливу перехрестя та в зоні перехрестя. Такий поділ обумовлений тим, що при проїзді пішохідних переходів цих трьох типів величина затримки транспортних засобів значно відрізняється. На пішохідних переходах, які розташовані на перегоні вулиці (рис. 1, Тип Г) затримка транспортних засобів залежить лише від інтенсивності пішохідного руху. Транспортні засоби на таких переходах, за відсутності пішоходів на них, можуть проїхати ділянку без зниження швидкості руху, тому їх затримка може дорівнювати нулю. Крім цього відсутній взаємний вплив умов руху між найближчим перехрестям та пішохідним переходом.

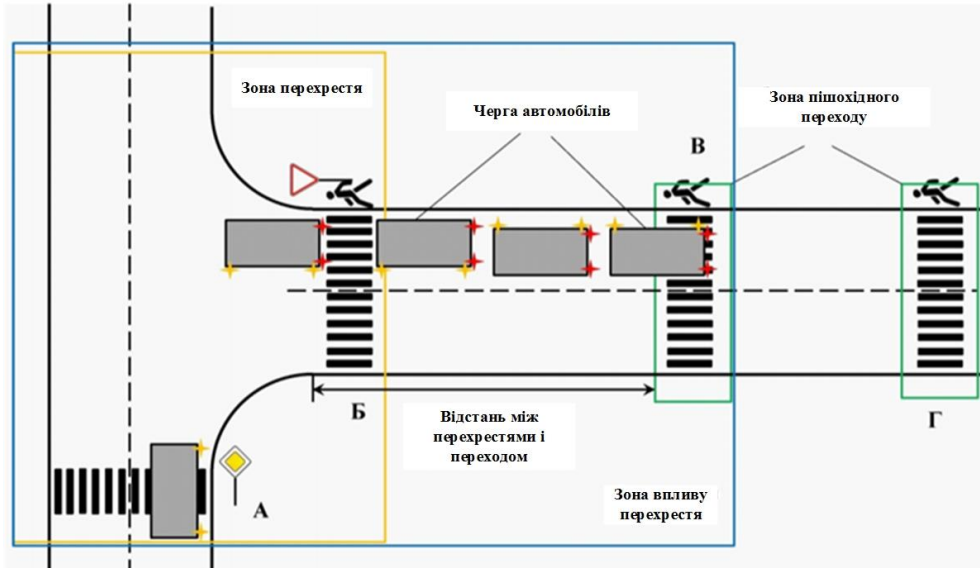


Рисунок 1. Розташування пішохідного переходу відносно перехрестя

На пішохідних переходах, які розташовані в зоні впливу перехрестя (рис. 1, Тип В) затримка транспортних засобів буде складатися з двох складових: затримок викликаних утворенням черги автомобілів перед перехрестям та затримок, зумовлених пропуском пішоходів.

При розташуванні нерегульованого пішохідного переходу в зоні перехрестя (рис. 1, Типи А та Б) затримки транспортних засобів виникають через необхідність пропуску транспортних засобів, що рухаються по головній (другорядній) дорозі та пропуском пішоходів. При великій інтенсивності руху пішоходів і транспортних засобів, що здійснюють правий або лівий поворот, необхідність дати дорогу пішоходам істотно збільшує затримку транспортних засобів.

Затримка транспортних засобів перед нерегульованими пішохідними переходами у випадках наведених на рис. 1 (Тип А, Тип В та Тип Г) розраховується [1]:

$$\Delta t = 0,00147 \frac{N_{\Pi} N_{\text{ТП}}}{v}, \quad (1)$$

де $\Delta t_{\text{ТП}}$ – затримка транспортних засобів (сумарне значення), год;

N_{Π} – інтенсивність пішохідного потоку, піш./год;

$N_{\text{ТП}}$ – інтенсивність транспортного потоку в напрямку що розглядається, од./год;

v – середня швидкість руху транспортних засобів на головному і другорядному напрямках, км/год.

На нерегульованих пішохідних переходах (рис. 2 Тип Б) затримка транспортних засобів безпосередньо залежить від інтенсивності руху на головному напрямку, а також від інтенсивності руху пішоходів. Транспортна затримка в такому випадку визначається за формулою:

$$\Delta t = \Delta t_{\text{ТП}} + \Delta t_{\text{Н}}, \quad (2)$$

де $\Delta t_{\text{Н}}$ – затримка транспортних засобів на другорядному напрямку, с [2];

$$\Delta t_{\text{Н}} = \frac{e^{N_2 t_{\text{ГР}}} - N_2 \cdot t_{\text{ГР}} - 1}{N_2 - N_0 (e^{N_2 t_{\text{ГР}}} - N_2 \cdot t_{\text{ГР}} - 1)} + \frac{v_a}{7,2} \left(\frac{1}{a_{\Gamma}} + \frac{1}{a_{\Pi}} \right), \quad (3)$$

де N_2 – інтенсивність транспортного потоку на головному напрямку, авт./с;

$t_{\text{ГР}}$ – граничний інтервал між транспортними засобами на головному напрямку, с ($t_{\text{ГР}} = 4 - 8$ с);

N_0 – інтенсивність транспортного потоку на другорядному напрямку, авт./с;

a_{Γ} та a_{Π} – відповідно сповільнення та прискорення автомобіля на другорядному напрямку ($a_{\Gamma} = 3 - 4$ м/с²; $a_{\Pi} = 1,0 - 1,5$ м/с²);

v_a – швидкість автомобіля на другорядному напрямку, км/год.

Отже, на нерегульованих пішохідних переходах транспортна затримка залежить від інтенсивності транспортних та пішохідних потоків, індивідуальних якостей пішохода та умов видимості; кількості смуг руху на проїзній частині (ширини вулиці). Такий підхід для проведення експериментальних досліджень дозволяє в подальшому точніше проаналізувати чинники, що

впливають на пропускну здатність вулично-дорожньої мережі та поведінку пішоходів під час перетину нерегульованих переходів.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є дослідження впливу інтенсивності транспортного потоку на пішохідний рух на нерегульованих переходах за різної інтенсивності транспортного потоку та пішохідного руху.

Для досягнення мети сформульовано такі завдання:

- провести аналіз методів дослідження показників учасників дорожнього руху (інтенсивність та швидкість транспортного потоку, інтенсивність та швидкість пішохідного руху);
- дослідити показники учасників дорожнього руху в зоні дії нерегульованих пішохідних переходів;
- провести імітаційне моделювання транспортних та пішохідних потоків для визначення затримок автомобілів перед нерегульованими пішохідними переходами.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для отримання експериментальних даних про затримки транспортних засобів проведено вимірювання на 4-х типах нерегульованих пішохідних переходах. Типова схема розміщення нерегульованого пішохідного переходу відносно перехрестя наведено на рис. 1. У визначені періоди часу (08⁰⁰ – 09⁰⁰, 13⁰⁰ – 14⁰⁰, 17⁰⁰ – 18⁰⁰ год) за конкретних умов (ширина проїжджої частини та тип пішохідного переходу) фіксувалися показники учасників дорожнього руху.

Для проведення експериментального дослідження у м. Львові обрано нерегульовані пішохідні переходи на перехресті вул. Тролейбусна – Рубчака, а також на прогоні по вул. Рубчака. Експериментальне дослідження проводили на другорядному напрямку довжиною 425 м та на головному напрямку довжиною 165 м. На основі проведення результатів досліджень виявлено 4 зони впливу нерегульованих пішохідних переходів на швидкість транспортного потоку (рис. 2).

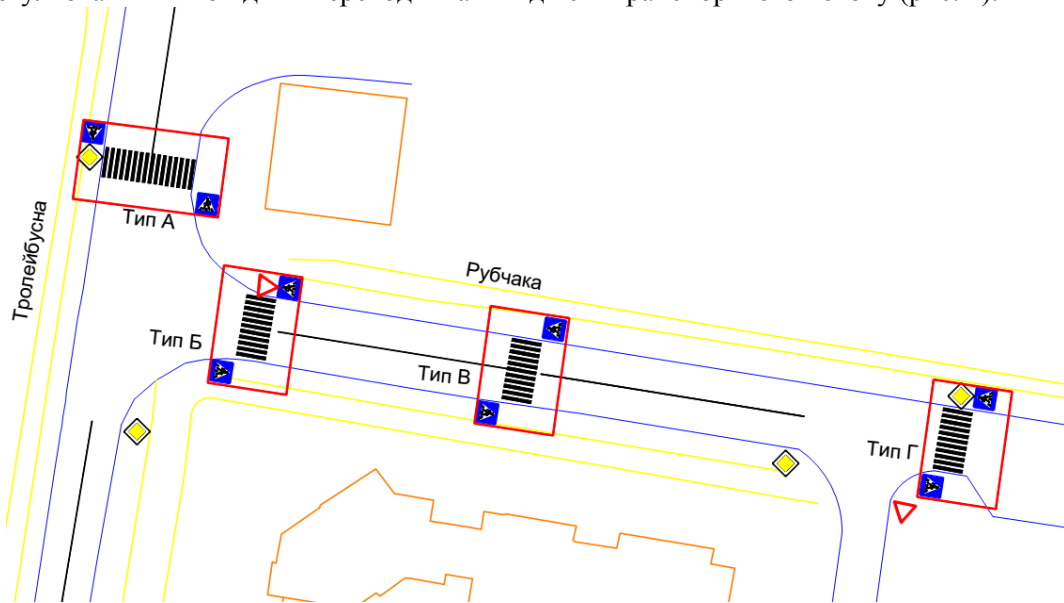


Рисунок 2. Схема для утворення затримок автомобілів перед переходами

Для дослідження затримок автомобілів перед пішохідними переходами кожних 50 м фіксувалась інтенсивність та миттєва швидкість руху транспортних засобів (табл. 1). За результатами цих досліджень можна визначити затримки транспортних засобів, сповільнення (прискорення) транспортних засобів тощо.

Таблиця 1

Середні значення швидкості та інтенсивності транспортного потоку, а також інтенсивності пішохідного руху

| Тип нерегульованого переходу | Відстань до пішохідного переходу, м | Швидкість транспортного потоку км/год | Інтенсивність транспортного потоку од./год | Інтенсивність пішоходів, піш./год |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|-----------------------------------|
| Пішохідний перехід Типу А | 100 | 45 | 955 | – |
| | 50 | 39 | 949 | – |
| | Нерегульований пішохідний перехід | 27 | 953 | 161 |

| | | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|----|-----|-----|
| Пішохідний перехід Типу Г | 15 | 24 | 949 | – |
| | 100 | 38 | 653 | – |
| | 50 | 34 | 672 | – |
| | Нерегульований пішохідний перехід | 29 | 675 | 116 |
| | 50 | 36 | 675 | – |
| | 100 | 38 | 651 | – |
| Пішохідний перехід Типу В | 150 | 34 | 675 | – |
| | 100 | 38 | 651 | – |
| | 50 | 33 | 633 | – |
| | Нерегульований пішохідний перехід | 25 | 634 | 186 |
| | 50 | 31 | 636 | – |
| | 100 | 25 | 622 | – |
| Пішохідний перехід Типу Б | 100 | 31 | 636 | – |
| | 50 | 25 | 622 | – |
| | Пішохідний перехід | 17 | 622 | 153 |
| | 15 | 9 | 622 | – |

Згідно отриманих результатів досліджень побудовано графічну залежність зміни швидкості руху транспортного потоку для чотирьох типів переходів (рис. 3 та рис. 4).

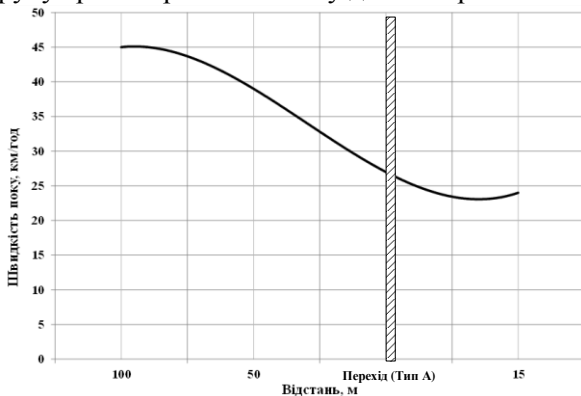


Рис. 3. Зміна швидкісного режиму автомобілів під час проїзду нерегульованого пішохідного переходу на головному напрямку

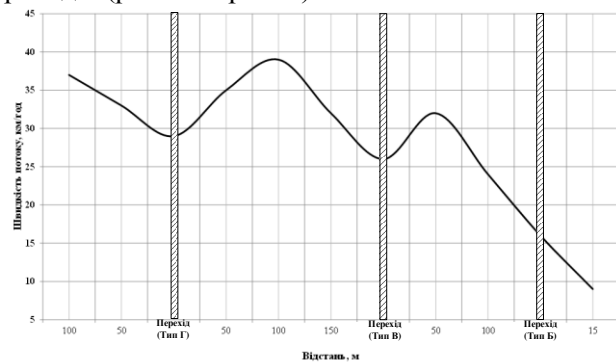


Рис. 4. Зміна швидкісного режиму автомобілів під час проїзду нерегульованого пішохідного переходу на другорядному напрямку

Як показують рис. 3 та рис. 4 зона впливу утворення черг транспортних засобів на підходах до нерегульованих переходів становить від 50 до 100 м. В межах цієї зони впливу спостерігається зниження швидкості транспортного потоку з подальшим зростанням до початкового значення. Середня миттєва швидкість руху на підходах до нерегульованих пішохідних переходів варіювала в межах 24 – 38 км/год. Зниження її значення для транспортного потоку перед пішохідним переходом відбувається в середньому до 25 км/год.

Середній час, втрачений транспортним засобом на проїзд нерегульованого пішохідного переходу Типів А, Б, В та Г можна оцінити за формулою (1):

– для нерегульованого пішохідного переходу Типу А (на головному напрямку):

$$\Delta t_{\text{НП}} = 0,00147 \cdot \frac{161 \cdot 953}{27} = 8,4 \text{ с}$$

– для нерегульованого пішохідного переходу Типу Г (на другорядному напрямку):

$$\Delta t_{\text{НП}} = 0,00147 \cdot \frac{116 \cdot 675}{29} = 3,9 \text{ с}$$

– для нерегульованого пішохідного переходу Типу В (на другорядному напрямку):

$$\Delta t_{\text{НП}} = 0,00147 \cdot \frac{186 \cdot 634}{25} = 6,9 \text{ с}$$

Оскільки, для нерегульованого пішохідного переходу Типу Б (у зоні перехрестя на другорядному напрямку) середній час, втрачений транспортом визначається через суму затримки транспортних засобів перед переходом та затримкою транспортних засобів на другорядній дорозі (формула (2)):

$$\Delta t = \left(0,00147 \cdot \frac{153 \cdot 622}{17} \right) + \frac{e^{0,26 \cdot 4} - 0,26 \cdot 4 - 1}{0,26 - 0,17(e^{0,26 \cdot 4} - 0,26 \cdot 4 - 1)} + \frac{17}{7,2} \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{1,5} \right) = 16,5 \text{ с}$$

Затримки транспортних засобів на нерегульованих переходах варіюють у діапазоні від 3,9 до 16,5 с. На пішохідному переході Типу Б (у зоні перехрестя) спостерігається найбільша затримка транспортних засобів ($\Delta t = 16,5 \text{ с}$). Це пояснюється тим, що на затримки транспортних засобів тут впливає час, необхідний для пропуску пішоходів та транспортних засобів, що рухаються по головному напрямку.

Найменша затримка автомобілів утворюється на переході Типу Г і становить 3,9 с. У такому випадку черга автомобілів, що сформувалася на підході до цього переходу, може залежати тільки від інтенсивності пішохідного потоку, тобто тут вплив перехрестя відсутній.

Для визначення затримок транспортних засобів на нерегульованих переходах необхідно взяти за основу результати натурних досліджень, де визначено основні показники транспортних та пішохідних потоків, завантаження та параметри вулично-дорожньої мережі тощо. Перевірку рівня адекватності результатів експериментальних досліджень виконували у спеціалізованому програмному середовищі PTV VISSIM. З цією метою було створено імітаційну модель перехрестя з чотирма нерегульованими пішохідними переходами. Розташування нерегульованих пішохідних переходів відносно перехрестя наведено на рис. 5.

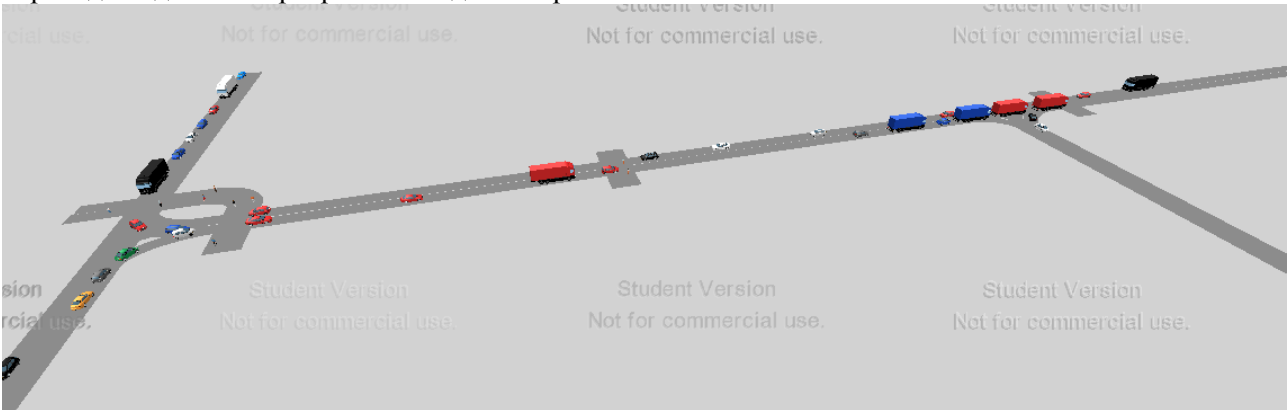


Рис. 5. Імітаційне моделювання нерегульованого пішохідного переходу

Імітаційне моделювання транспортних та пішохідних потоків для визначення моделі поведінки пішоходів на нерегульованих переходах виконували за таким алгоритмом:

- створення моделі нерегульованих пішохідних переходів проводиться зі зміною вхідної інтенсивності автомобільного потоку (50, 200, 400, 600, 800, 1000 авт/год);
- створюється транспортний потік, у складі якого 80% легкові автомобілі, 15% – вантажні та 5% – автобуси;
- швидкість транспортного потоку відповідала результатам натурних досліджень (табл. 1);
- моделювання руху пішоходів на нерегульованих переходах здійснювалося за різної їх інтенсивності (50, 100, 200, 300, 500, 750, 1000 піш/год);
- для визначення руху пішоходів на нерегульованих переходах встановлювалися вимірювальні пункти перед кожним переходом;
- проводили імітаційне моделювання на 4-х типах переходів для визначення моделі поведінки пішоходів на нерегульованих переходах залежно від зміни інтенсивності пішохідного, а також транспортного потоку.

Після впровадження кожного пункту алгоритму імітаційного моделювання, отримано значення затримки транспортних засобів на кожному нерегульованому переході (Тип А, Б, В та Г) залежно від різної інтенсивності транспортного, а також пішохідного потоку (рис. 6 – 9).

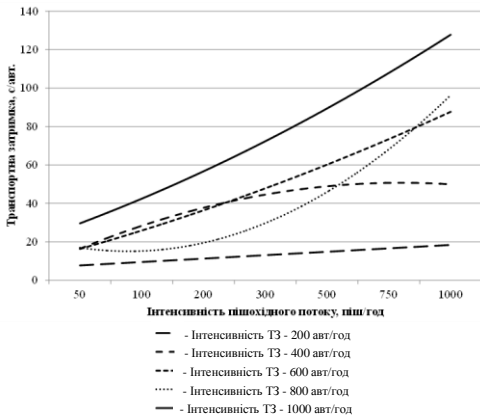


Рис. 6 Утворення транспортної затримки залежно від різної інтенсивності транспортного та пішохідного потоку на пішохідному переході Типу А

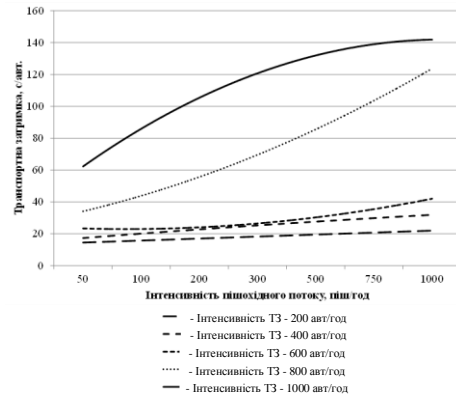


Рис. 7. Утворення транспортної затримки залежно від різної інтенсивності транспортного та пішохідного потоку на пішохідному переході Типу Б

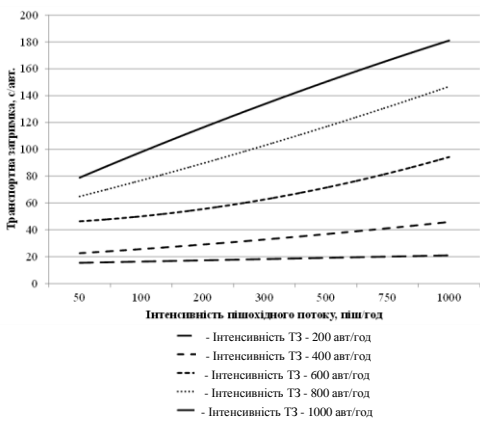


Рис. 8. Утворення транспортної затримки залежно від різної інтенсивності транспортного та пішохідного потоку на пішохідному переході Типу В

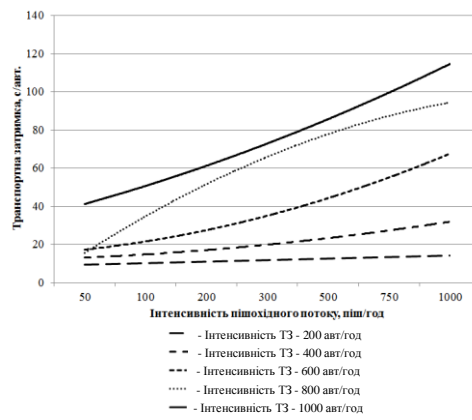


Рис. 9. Утворення транспортної затримки залежно від різної інтенсивності транспортного та пішохідного потоку на пішохідному переході Типу Г

На основі отриманих результатів імітаційного моделювання у програмному середовищі PTV VISSIM можна зробити такі висновки:

- транспортні затримки на нерегульованих пішохідних переходах змінюються в межах 8,7 – 180,1 с. Проте за низької інтенсивності пішоходів зниження швидкісного режиму автомобілів є незначним;

- протяжність зони впливу нерегульованого пішохідного переходу змінюються в межах 90 – 350 м.

Отримані графічні залежності утворення транспортної затримки на нерегульованих пішохідних переходах дозволяють визначити затримку автомобілів з урахуванням інтенсивності транспортних і пішохідних потоків.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджено, що за низької інтенсивності транспортного та пішохідного потоку на нерегульованих пішохідних переходах затримка автомобілів становить на головному напрямку 8,7 с за інтенсивності транспортного потоку 200 авт./год та 9,1 с на другорядному напрямку за такої ж інтенсивності транспортного потоку. Таке явище можна пояснити тим, що під час проїзду пішохідних переходів водії завжди знижувати швидкість руху для комфортного проїзду ділянки переходу.

За максимальної інтенсивності транспортного та пішохідного потоку (близько 1000 авт./год та 1000 пеш./год) затримка автомобілів набуває найбільшого значення на переходи Типу В і становить 180,1 с. Таке значення затримки транспортних засобів можна пояснити наступними чинниками: скупчення великої кількості автомобілів, які мали зупинку перед переходом; поява пішохода поблизу переходу; наявність технічних засобів організації дорожнього руху, що позначають пішохідний перехід тощо.

Якщо аналізувати нерегульовані пішохідні переходи на другорядному напрямку (Типу Б, В та Г), які розташовані один від одного на відстані відповідно 100 та 150 м з однаковими інтенсивностями для транспортного та пішохідного потоку, можна зробити висновок, що найбільші затримки автомобілів утворюються перед переходом Типу В. Це явище можна пояснити тим, що затримки автомобілів на переході Типу В включають в себе затримки викликані необхідністю пропуску пішоходів та затримки викликані чергою транспортних засобів, що сформувалася на попередньому переході (Тип Б).

ВИСНОВКИ

Визначено, що основні функції, які формують рівень небезпеки нерегульованого пішохідного переходу, слід розглядати запропонований швидкісний режим руху транспорту на ділянці перед переходом, непропускання пішоходів водіями транспортних засобів та перевищення деякими водіями запропонованого швидкісного обмеження при під'їзді до переходу. Користуючись викладеною методикою та маючи відомості про чинники, що формують процес переходу пішоходами через проїзну частину, можна отримувати прогностичні оцінки показника небезпеки даного об'єкта, за результатами яких можуть прийматись відповідні управлінські рішення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гілевич В. В. Визначення співвідношення між інтенсивністю транспортних і пішохідних потоків для влаштування нерегульованих пішохідних переходів / В. В. Гілевич, І. А. Могила, О. С. Міхоцький // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів : збірник наукових праць. – 2016. – № 838. – С. 146–152.
2. Поліщук В. П. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник/за заг. ред. В.П. Поліщука; ОО Бакуліч, ОП Дзюба, ВІ Єресов та ін. К.: Знання України, 2011.
3. Васильєва Г. Ю. Методи мінімізації затримок транспорту на магістральній вулично-дорожній мережі міст України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.20 «Містобудування та територіальне планування» / Г. Ю. Васильєва. – К., 2007. – 21 с.
4. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.
5. Грицунь О.М. Аналіз поведінки пішоходів на регульованих перехрестях / О.М. Грицунь // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2016. – Випуск 55. – С. 90 – 95.
6. Traffic Signal Timing Manual / P. Koonce [and others] – McLean: US Department of Transportation, 2008. – 264 p.
7. Fornalchyk Y., Kernytskyi I., Hrytsun O., & Royko Y. Choice of the rational regimes of traffic light control for traffic and pedestrian flows. Y. Fornalchyk, I. Kernytskyi, O. Hrytsun, Y. Royko // Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska. – 2021. – 38 – 50 pp.
8. Transport planning and traffic engineering / Edited by C. A. O'Flaherty. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2018. – 544 p.
9. Li Q. F. Pedestrian delay estimation at signalized intersections in developing cities / Q. F. Li, Z. Wang, J. G. Yang, J. M. Wang // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2005. – 39 (1). – P. 61 – 73.

REFERENCES

1. Hilevych, V. V., Mohyla, I. A., & Mikhotskyi, O. S. (2016). Vyznachennia spivvidnoshennia mizh intensyvniatuu transportnykh i pishokhidnykh potokiv dlia vlashtuvannia nerehulovanykh pishokhidnykh perekhodiv.
2. Polishchuk, V. P. (2011). Orhanizatsiia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu: pidruchnyk/za zah. red. VP Polishchuka; OO Bakulich, OP Dziuba, VI Yeresov ta in. K.: Znannia Ukrainy.
3. Vasylieva, H. Yu. (2007). Metody minimizatsii zatrymok transportu na mahistralnii vulychno-dorozhnii merezhi mist Ukrainy. Dys.... k. t. nauk, Kyiv.
4. Manual, H. C. (2000). Highway capacity manual. Washington, DC, 2(1).
5. Hrytsun, O. M. (2016). Analiz povedinky pishokhodiv na rehulovanykh perekhrestyakh. Naukovi notatky, (55), 90-95.
6. Koonce, P., & Rodegerdts, L. (2008). Traffic signal timing manua. United States. Federal Highway Administration.
7. Fornalchyk, Y., Kernytskyi, I., Hrytsun, O., & Royko, Y. (2021). Choice of the rational regimes of traffic light control for traffic and pedestrian flows. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 30.

8. O'Flaherty, C. A. (Ed.). (2018). Transport planning and traffic engineering. CRC Press.

9. Li, Q., Wang, Z., Yang, J., & Wang, J. (2005). Pedestrian delay estimation at signalized intersections in developing cities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(1), 61-73.

O. Hrytsun., A. Velgan. Investigation of vehicle delay duration during the passage of unsignalized pedestrian crosswalk.

The paper analyzes the existing methods of determining vehicle delays before unsignalized pedestrian crosswalk. There are four options for the location of the pedestrian crosswalk in relation to the intersection: on the street section between intersections (Type D); in the intersection area (Type A and Type B); in the zone of influence of the intersection (Type C). Graphical dependences are built, which show the change in the speed of the traffic flow during the passage of unsignalized pedestrian crosswalk. The delay of vehicles for each type of crosswalk is calculated, taking into account the speed mode. It was established that the highest traffic delay is observed at the Type C crosswalk and is 16,5 s, the smallest traffic delay is observed at the Type D crosswalk and is 3,9 s. In this case, the queue of vehicles formed in the approach to the unsignalized crosswalk depends only on the intensity of the pedestrian flow, that is, the influence of the intersection on the pedestrian crosswalk in this case is absent.

In the specialized software environment PTV VISSIM, a model of an intersection with four unsignalized pedestrian crosswalks was created. Delays of vehicles during the passage of unregulated pedestrian crossings at different intensities of traffic and pedestrian flow were simulated and investigated. It was established that the location of an unsignalized pedestrian crosswalk on the roadway reduces the capacity of the street-road network by 10 – 20%. At a low intensity of pedestrian flow (up to 200 ped./h.), the traffic delay at the investigated types of crosswalks is almost the same (up to 20 s). In this case, large intervals are observed between pedestrians, which enable vehicles to drive through the studied section almost without stopping. However, with an increase in the intensity of the incoming pedestrian flow, the intervals between them become tighter, resulting in increased car delays.

Keywords: unsignalized pedestrian crosswalk, traffic flow, pedestrian flow, traffic capacity, traffic delays, simulation modelling

ГРИЦУНЬ Олег Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій, Національний університету «Львівська політехніка», e-mail: oleh.m.hrytsun@lpnu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8391-9642>

ВЕЛЬГАН Андрій Ігорович, студент кафедри транспортних технологій, Національний університету «Львівська політехніка», e-mail: andrii.velhan.tt.2019@lpnu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-0052-5048>

Oleh HRYTSUN, PhD in Engineering, associate professor of department of transport technologies, Lviv Polytechnic National University, e-mail: oleh.m.hrytsun@lpnu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8391-9642>

Andriy VELGAN, student of department of transport technologies, Lviv Polytechnic National University, e-mail: andrii.velhan.tt.2019@lpnu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-0052-5048>

DOI 10.36910/automash.v2i19.905