

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТРИМКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ
НА НЕРЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ З ОБМЕЖЕНОЮ ШВИДКІСТЮ

Х.А. Барвінська¹, О.М. Грицунь²

¹к.т.н., доцент, доцент кафедри «Транспортні технології»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-3464-3728

²к.т.н., асистент кафедри «Транспортні технології»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-9829-5123

Анотація

Вступ. У багатьох роботах стверджено, що транспортна затримка на нерегульованих перехрестях залежить від інтенсивності потоку головного напрямку та інтенсивності пішохідного потоку. **Мета** – з використанням програмного середовища VISSIM дослідити затримки транспортногo потоку на нерегульованих перехрестях за різної швидкості потоку. **Результати.** У центральній частині міста Львова вибрано ділянки вулично-дорожньої мережі для проведення експериментальних досліджень. Розраховано трикутники відстані видимості, визначено проблемні місця, де необхідно встановити дорожній знак 3.29 «Обмеження максимальної швидкості руху». У роботі проведено аналіз наявних методів визначення транспортних затримок на нерегульованих перехрестях. Наведено методуку оцінки середньої швидкості руху транспортногo потоку та методуку імітаційного моделювання транспортних потоків з метою побудови теоретичної моделі. Проведено аналіз залежності зміни транспортних затримок, отриманих на основі вимірних фактичних даних та методом моделювання транспортних потоків. Розраховано відстань видимості для кожного перехрестя з урахуванням швидкісного режиму. Наведено графічні залежності зміни середньої та максимальної довжини черги транспортних засобів за різних режимів світлофорного регулювання на другорядному напрямку. Визначено, що середня швидкість потоку змінюється від 17 км/год до 38 км/год у разі зміни обмеження максимальної швидкості від 15 км/год до 40 км/год. Встановлено, що найменша середня транспортна затримка на нерегульованих перехрестях спостерігається у разі швидкості транспортногo потоку 30 км/год. **Висновки.** Наведено обґрунтування введення рекомендованого швидкісного режиму на ділянках вулиць з обмеженою швидкістю руху, що враховує транспорту затримку, довжину черги, геометричні параметри вулиці, наявність зупинок громадського транспорту та пішохідних переходів, інтенсивність та склад транспортногo потоку. Запропонована методука управління транспортними потоками другорядного напрямку на нерегульованих перехрестях дозволяє підвищити безпеку руху під час роз'їзду транспортних засобів другорядного напрямку.

Ключові слова: нерегульоване перехрестя, швидкість потоку, імітаційне моделювання, довжина черги, транспортна затримка, інтенсивність руху.

INVESTIGATION OF TRANSPORT FLOW DELAY
AT UNSIGNALIZED INTERSECTIONS WITH LIMITED SPEED

Kh.A. Barvinska¹, O.M. Hrutsyn²

¹ Phd, Associate professor,
Associate Professor at the Department “Transport Technology”,
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID:0000-0003-3464-3728

²Phd, Assistant at the Department “Transport Technology”,
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID:0000-0001-9829-5123,

Summary

Introduction. Many studies have argued that traffic delays at unregulated intersections depend on the intensity of the main flow and the intensity of pedestrian flow. **Purpose.** It is proposed to investigate traffic flow delays using the VISSIM software environment at unsignalized intersections at different flow rates. **Results.** Areas of the street and road network for experimental research were selected in the central part of Lviv. Triangles of visibility distance are calculated, problem places where it is necessary to establish a road sign 3.29 “Limitation of the maximum speed of movement” are defined. An analysis of existing methods for determining traffic delays at unregulated intersections is carried out at the paper. The method of estimating the average speed of traffic flow and the method of simulation modeling of transport flows in order to build a theoretical model are presented. The analysis of the dependence of the change of transport delays, obtained based on measured actual data and the method of modelling traffic flows, is carried out. The visibility distance for each intersection is calculated taking into account the speed mode. Graphical dependences of the change of the average and maximum length of the queue of vehicles under different modes of traffic light regulation in the secondary direction are given. It is determined that the average flow speed varies from 17 km/h to 38 km/h when changing the maximum speed limit from 15 km/h to 40 km/h. It is established that the lowest average traffic delay at unregulated intersections is observed at a traffic flow speed of 30 km/h. **Conclusions.** The substantiation of the introduction of the recommended speed regime on sections of streets with limited speed is given which takes into account transport delay, queue length, geometric parameters of the street, the presence of public transport stops and pedestrian crossings, traffic intensity and composition. The proposed method of controlling secondary traffic flows at unsignalized intersections, allows to increase traffic safety when traveling in secondary vehicles.

Key words: unsignalized intersections, flow speed, simulation, queue length, transport delay, traffic intensity.

Вступ

Зі зростанням рівня автомобілізації на дорогах виникають проблеми, такі як незадовільне утримання вулично-дорожньої мережі (ВДМ), невідповідність забудови вулиць і доріг умовам руху сьогодення на них (розміри проїжджої частини і пішохідних доріжок не розраховані під наявну інтенсивність руху, не дають

можливості врахувати новоутворені велосипедні смуги та виділені смуги руху для громадського транспорту), затримки руху у разі проїзду нерегульованих перехресть, порушення правил дорожнього руху тощо. Вони вимагають серйозних досліджень та конструктивних рішень стосовно їх вирішення.

У разі високої інтенсивності руху на міських вулицях час, що витрачається кожним транспортним засобом (під час руху з другорядних напрямків) в очікуванні прийнятого інтервалу на головному напрямку, щоб безпечно проїхати перехрестя, суттєво зростає. Цей час називається затримкою транспортних засобів [1–3]. Незважаючи на стрімкий розвиток нових технологій управління міським рухом, усе ще залишається велика кількість нерегульованих перехресть, що потребують покращення умов проїзду для зменшення затримок та підвищення безпеки руху на них.

Якщо причиною затримки транспортних засобів на регульованих перехрестях є очікування дозволеного сигналу світлофора, то для визначення затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях необхідно досліджувати та вивчати умови руху як на головному напрямку, так і на другорядному [4].

Постановка проблеми

Безпека руху учасників дорожнього руху на нерегульованих перехрестях визначається забезпеченням видимості в плані вулиці, яка підходить до перехрестя. Під час виконання маневрів пересікання або злиття автомобілів необхідно бачити транспортний засіб, який рухається по головному напрямку. Оскільки розрахункові вимоги до мінімальної відстані видимості для безпечного гальмування та зупинки однакові, проте вони не враховують дорожні умови, швидкісні режими руху автомобілів, психофізіологічні особливості поведінки водіїв, стан дорожнього покриття тощо. Тому основною проблемою є обґрунтування введення рекомендованого швидкісного режиму на ділянках вулиць з обмеженою швидкістю руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Нерегульовані перехрестя – це ділянки дороги, на яких водії приймають рішення про проїзд відповідно до правил дорожнього руху [1; 3]. В [5] описано методологію систематичної оцінки очікуваних середніх затримок на мультимодальних нерегульованих перехрестях, що є адаптованою до використання в різних міських умовах. Методологія враховує значення попиту для різних транспортних потоків (за інтенсивністю руху), а також пріоритет і напрямок кожного потоку, щоб визначити пропускну здатність для кожного підходу.

У результаті аналізу нерегульованих перехресть у [6] наведено метод визначення пропускну здатності, який базується на взаємодії між конфліктними потоками із середньою швидкістю та напрямками руху потоків. Усі можливі потоки конфліктів розглядалися одночасно, а взаємодія враховувалась за допомогою емпіричних досліджень регресійної моделі.

Модель затримки обслуговування, заснована на мікроскопічному аналізі даних затримки в умовах змішаного руху на нерегульованих перехрестях, запропонована в [7]. У побудові такої моделі враховувався склад транспортного потоку і як

результат представлено, що велика кількість вантажних автомобілів суттєво впливає на швидкість проїзду нерегульованих перехресть.

Нові підходи до моделювання та аналізу проїзду нерегульованих перехресть запропоновано в [8], які базуються на врахуванні психофізіологічних особливостей водіїв у виборі інтервалів між автомобілями на головній дорозі для проїзду перехрестя. Це дає можливість оцінювати пропускну здатність нерегульованих перехресть з урахуванням затримок руху.

Формування цілей статті

Сформульовано такі завдання: проаналізувати закономірності та основні методи дослідження транспортних затримок на нерегульованих перехрестях; провести аналіз залежності зміни транспортних затримок, отриманих на основі виміряних фактичних даних та методом моделювання транспортних потоків; дослідити вплив умов руху на ділянках дороги з обмеженою швидкістю руху на затримки транспортного потоку.

Виклад основного матеріалу

Для безпечного проїзду нерівнозначним нерегульованим перехрестям на одному рівні транспортними засобами другорядного напрямку необхідне одночасне виконання двох умов роз'їзду:

1) безпечного роз'їзду – наявність розриву у транспортному потоці головного напрямку;

2) забезпечення достатньої видимості руху.

Якщо перша умова характеризується таким показником, як інтенсивність потоку, то для виконання другої умови необхідно визначити відстань видимості на перехресті. Відстань видимості – це відстань, після якої обриси предметів, за якими спостерігають, стають нечіткими. Розрахунок відстаней видимості на перехресті визначається за формулою [3; 9; 10]:

$$L_B^a = \frac{t_p \cdot V_a}{3,6} + \frac{k_e \cdot V_a^2}{254 \cdot (\varphi \pm i)} + l_a + l_b \quad (1)$$

t_p – час реакції водія, с; V_a – швидкість руху транспортного засобу, км/год;

k_e – коефіцієнт ефективності гальмування; φ – коефіцієнт повздовжнього зчеплення коліс з дорожнім покриттям; i – поздовжній ухил автомобільної дороги, %; l_a – довжина автомобіля, м; l_b – відстань безпеки між автомобілями, які зупинилися, м.

Для проведення експериментальних досліджень визначення відстані видимості на перехресті вибрано ділянки ВДМ міста Львова. Оскільки найбільш завантажені транспортним потоком вулиці розташовуються в центральній частині міста, отже, зона проведення дослідження була встановлена на вулиці І. Франка. Було вибрано ділянку схеми ВДМ, що складається з трьох нерегульованих перехресть з відмінними умовами руху, геометричними параметрами та складом транспортного потоку (перехрестя вул. І. Франка – Зелена, вул. І. Франка – Самчука; вул. І. Франка – Снопківська). Терміни проведення експерименту були визначені осіннім періодом за сонячних погодних умов протягом вересня.

Проведемо розрахунок сторін кожного з трикутників видимості на перехресті вулиць І. Франка – Зелена, використовуючи формулу (1):

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 25}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 34^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 27,69 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 34}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 39^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 33,8 \text{ м}$$

На рисунку 1 зображені допустимі напрямки руху транспортних засобів на перехресті, місця взаємодії транспортних потоків (конфліктні точки) та трикутник видимості.

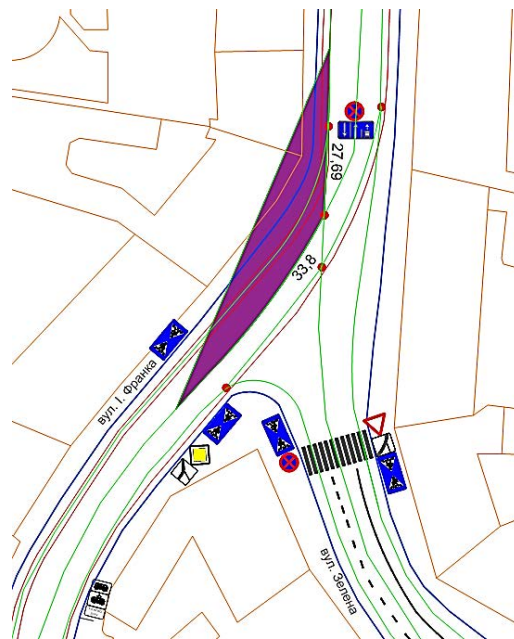


Рис. 1. Трикутник видимості на нерегульованому перехресті вулиць І. Франка – Зелена

На перехресті необхідно встановити дорожній знак 3.29 «Обмеження максимальної швидкості руху», оскільки після проведених розрахунків трикутники видимості перетинали будівлі та інші споруди, що є перешкодами для зорового сприйняття водіями дорожньої ситуації.

На перехресті вулиць І. Франка – Снопківська проведемо розрахунок сторін кожного з трикутників видимості:

1 трикутник видимості:

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 22}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 32^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 15,9 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 25}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 35^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 17,69 \text{ м}$$

2 трикутник видимості:

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 22}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 32^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 20,9 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 16}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 36^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 15,68 \text{ м}$$

3 трикутник видимості:

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 25}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 35^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 17,69 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 23}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 33^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 16,48 \text{ м}$$

4 трикутник видимості:

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 25}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 35^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 17,69 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 16}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 36^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 12,68 \text{ м}$$

На рисунку 2 зображені допустимі напрямки руху транспортних засобів на перехресті, місця взаємодії транспортних потоків (конфліктні точки) та трикутник видимості.

На перехресті швидкісні режими руху взяті з натурних досліджень, тому після розрахунків впливає, що 2 трикутник відстані видимості перетинає будівлі та інші споруди, що є перешкодами для зорового сприйняття водіями дорожньої ситуації. У розрахунках для трикутників 1, 3, 4 використано швидкості, за яких відстані видимості не перетинають межі будівель та споруд.

На перехресті вулиць І. Франка – Самчука, використовуючи формулу (1), проведемо розрахунок сторін кожного з трикутників видимості:

1 трикутник видимості:

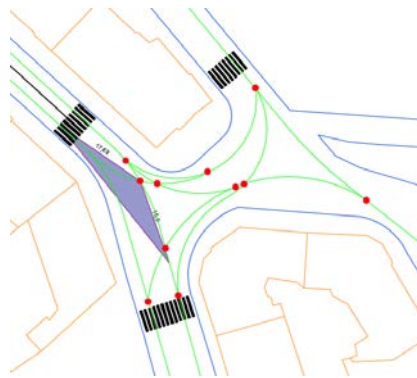
$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 30}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 35^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 24,57 \text{ м}$$

$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 36}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 35^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 24,57 \text{ м}$$

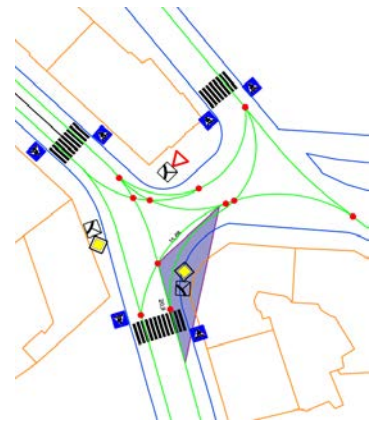
2 трикутник видимості:

$$L_{B1}^a = \frac{1,0 \cdot 30}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 36^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 25,01 \text{ м}$$

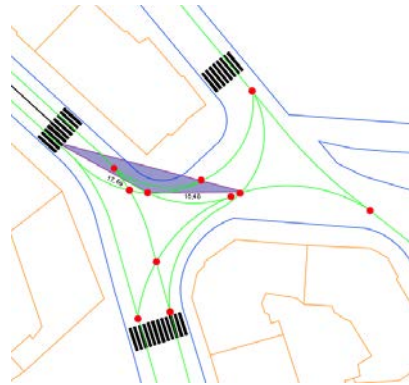
$$L_{B2}^a = \frac{1,0 \cdot 36}{3,6} + \frac{1,2 \cdot 37^2}{254 \cdot (0,7 - 0,005)} + 5 + 1,5 = 26,69 \text{ м}$$



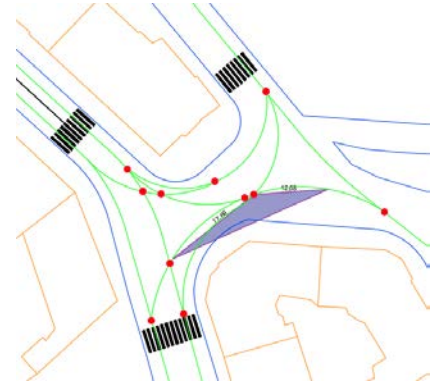
1 трикутник видимості



2 трикутник видимості



3 трикутник видимості



4 трикутник видимості

Рис. 2. Трикутники видимості на нерегульованому перехресті
вулиць І. Франка – Снопківська

На рисунку 3 зображені допустимі напрямки руху транспортних засобів на перехресті, місця взаємодії транспортних потоків (конфліктні точки) та трикутник видимості.

Відстань трикутника видимості 2 перетинає будівлю, тому необхідно вводити обмеження максимальної дозволеної швидкості руху. На перехресті для розрахунку 1 трикутника відстані видимості швидкісні режими руху взяті з натурних досліджень, тому після розрахунків швидкості не потрібно знижувати.

З урахуванням результатів натурних досліджень проведено моделювання з метою визначення порівняння транспортних затримок на перехресті за наявних умов руху та з урахуванням впливу умов руху на досліджуваних ділянках з обмеженою швидкістю руху. На досліджуваних об'єктах відбувалася ситуація, коли трикутники відстаней видимості перетинали будівлі та інші

споруди, що є перешкодами для зорового сприйняття водіями дорожньої ситуації. Тому на таких досліджуваних об'єктах встановлювався дорожній знак 3.29 «Обмеження максимальної швидкості руху».

З метою визначення транспортної затримки за різних режимів регулювання на другорядному напрямку проведено імітаційне моделювання (для п'яти циклів) зі збільшенням (зменшенням) максимальної швидкості руху за наявної вхідної інтенсивності транспортних потоків. Результати моделювання визначення величини затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях за різних режимів регулювання на другорядному напрямку наведено у таблиці 1.

На основі проведених досліджень у спеціалізованому продукті PTV VISSIM побудовано графічну залежність визначення величини затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях за різних режимів регулювання на другорядному напрямку (рисунок 4–6).

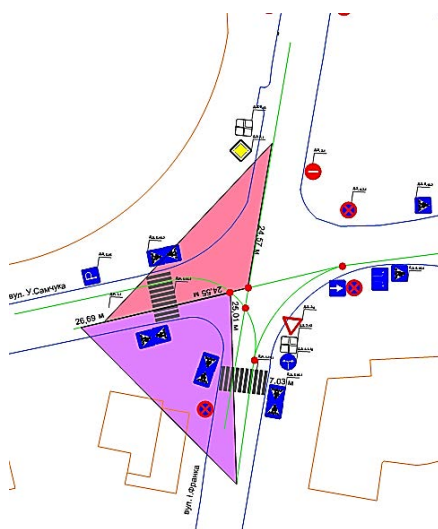


Рис. 3. Трикутники видимості на нерегульованому перехресті вулиць І. Франка – У. Самчука

Таблиця 1

Результати моделювання визначення величини затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях за різних режимів регулювання на другорядному напрямку

Обмеження максимальної швидкості руху на другорядному напрямку, км/год	Середня транспортна затримка, с/авт.	Середня довжина черги, м	Максимальна довжина черги, м
Перехрестя вулиць І. Франка – Зелена			
20	17,56	48,15	274,15
30	14,26	35,14	214,61
40	18,54	39,51	241,01
50	20,35	53,14	295,36
Перехрестя вулиць І. Франка – Снопківська			
20	11,36	29,63	204,32
30	8,14	26,15	185,14
40	13,54	30,14	206,52
50	15,21	32,01	212,32
Перехрестя вулиць І. Франка – У. Самчука			
20	11,59	29,31	181,3
30	10,54	27,01	174,14
40	12,78	31,26	197,28
50	14,84	33,12	203,12

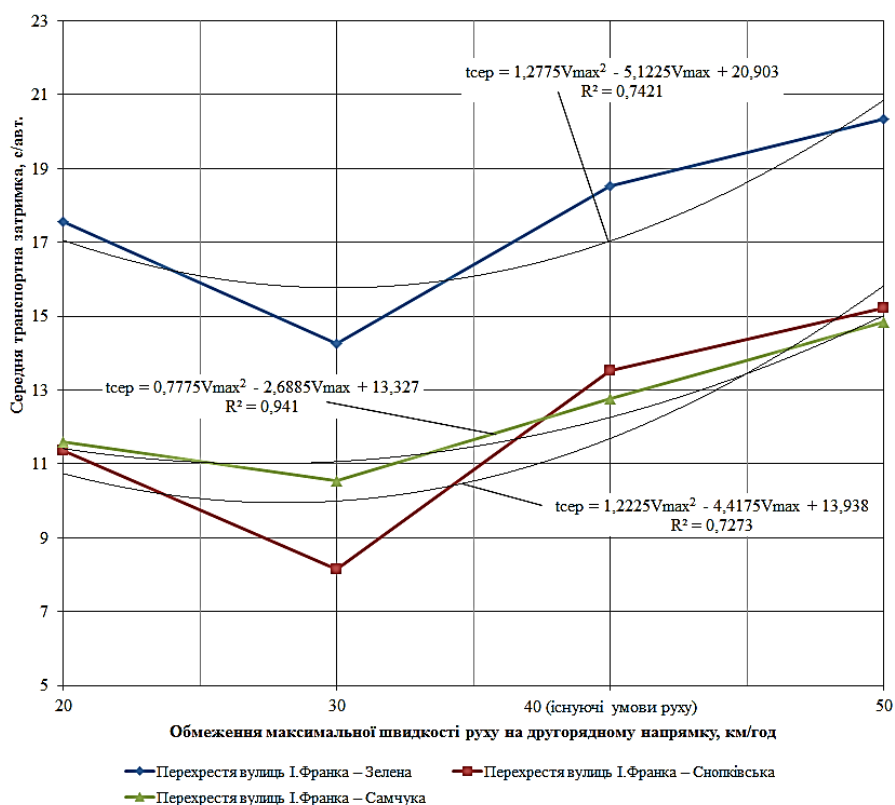


Рис. 4. Графік зміни середньої транспортної затримки за різних режимів регулювання на другорядному напрямку

Проведений початковий аналіз зміни середньої транспортної затримки за різних режимів регулювання на другорядному напрямку свідчить про те, що найменша середня транспортна затримка спостерігається у разі швидкості транспортного потоку 30 км/год і становить на перехресті: вул. І. Франка – Зелена 14,26 с/авт.; вул. І. Франка – Снопківська 8,14 с/авт.; вул. І. Франка – У. Самчука 10,54 с/авт. Це пояснюється тим, що у містах із щільною забудовою за такої рекомендованої швидкості руху зменшується відстань трикутників видимості. Це своєю чергою підвищує безпеку учасників дорожнього руху.

Великі значення середньої та максимальної довжини черги за різних режимів регулювання на другорядному напрямку (рисунки 5 та 6) спостерігаються у разі максимально дозволеної швидкості руху – 50 км/год. За заданих умов руху на перехресті вул. І. Франка – Зелена середня довжина черги становить 53,14 м, максимальна довжина черги – 295,36 м; вул. І. Франка – Снопківська: середня довжина черги становить 32,01 м, максимальна довжина черги – 212,32 м; вул. І. Франка – У. Самчука: середня довжина черги становить 33,12 м, максимальна довжина черги – 203,12 м. Також великого значення довжина черги набуває за швидкості 20 км/год. Це пояснюється тим, що на підході до перехрестя транспортним засобам потрібно більше часу, щоб покинути досліджувану ділянку.

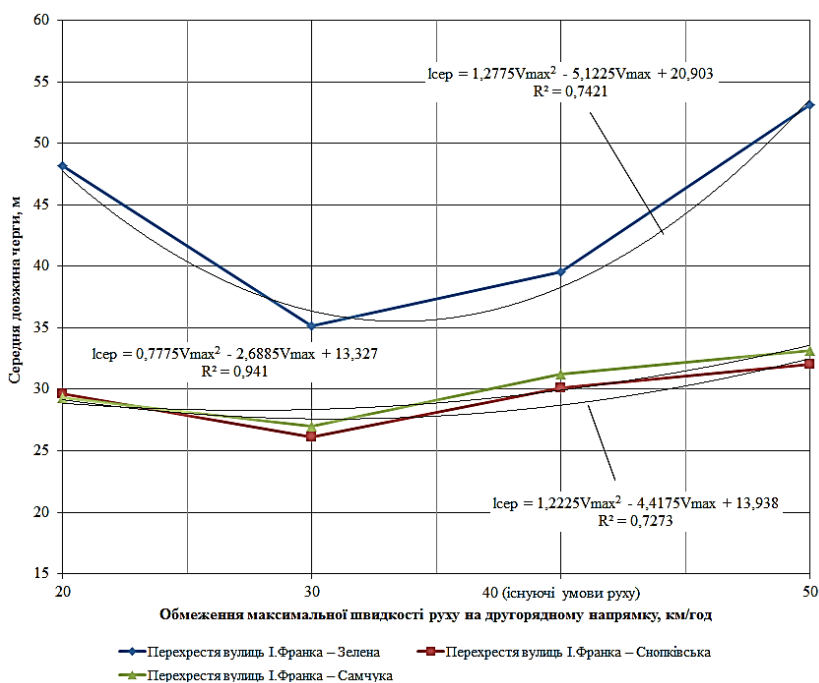


Рис. 5. Графік зміни середньої довжини черги за різних режимів регулювання на другорядному напрямку

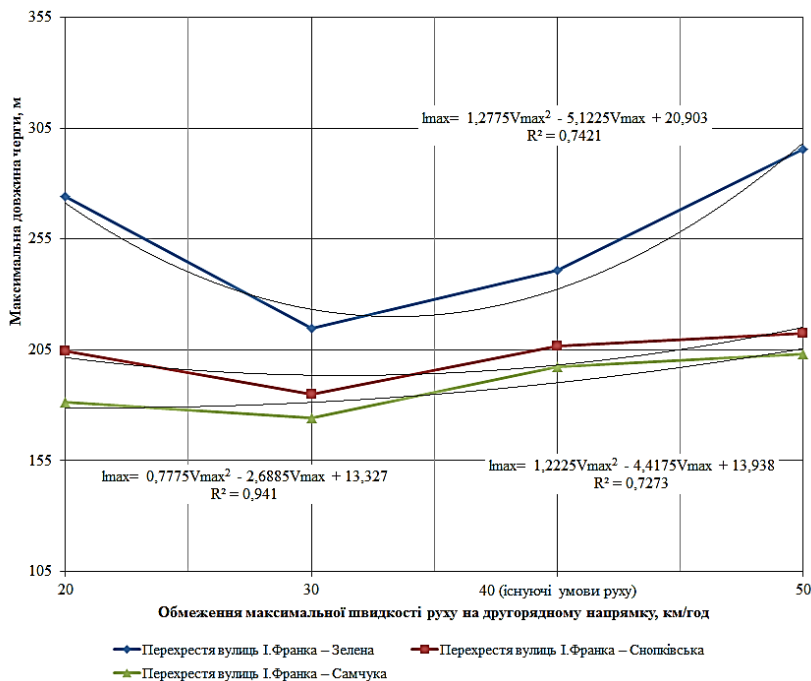


Рис. 6. Графік зміни максимальної довжини черги за різних режимів регулювання на другорядному напрямку

Висновки

Таким чином, запропонована методика управління транспортними потоками другорядного напрямку на нерегульованих перехрестях дозволяє підвищити безпеку руху під час роз'їзду транспортних засобів другорядного напрямку.

Отже, під час обґрунтування проєктування доцільності (або заборони) введення рекомендованого швидкісного режиму на ділянках вулиць з обмеженою швидкістю руху необхідно враховувати не тільки транспортну затримку та довжину черги, але і геометричні параметри вулиці, наявність зупинок громадського транспорту та пішохідних переходів, інтенсивність та склад транспортного потоку тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Врубель Ю.А. Определение потерь в дорожном движении : монография / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Е.Н. Кот. Минск : БНТУ, 2006. 240 с.
2. Живоглядов В.Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков : монография. Ростов-на-Дону : Изд-во журн. «Изв. вузов Сев.-Кавк. региона», 2005. 1082 с.
3. Лобанов Е.М. Пропускная способность автомобильных дорог. Москва : Транспорт, 1978. 247 с.
4. Васильева 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». Київ, 2007. 21 с.
5. S. Ilgin Gulera. Methodology for estimating capacity and vehicle delays at unsignalized multimodal intersections / S. Ilgin Gulera, Monica Menendezb. *International Journal of Transportation Science and Technology*. Volume 5, Issue 4, December 2016, Pp. 257–267. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.03.002>.
6. Joewono Prasetijoa. Capacity of Unsignalized Intersections under Mixed Traffic Conditions / J. Prasetijoa, Mehdi H. Poura, Seyed M.R. Ghadiria. 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Stockholm, Sweden. June 28 – July 1, 2011. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 16. 2011. Pp. 676–685.
7. Satish Chandra. Microscopic Analysis of Service Delay at Uncontrolled Intersections in Mixed Traffic Conditions. / S. Chandra, A. Agrawal, A. Rajamma. *Journal of Transportation Engineering*. No. 135(6), June 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2009)135:6(323).
8. S. Ilgin Gulera. Methodology for estimating capacity and vehicle delays at unsignalized multimodal intersections / S. Ilgin Gulera, Monica Menendezb. *International Journal of Transportation Science and Technology*. Volume 5, Issue 4, December 2016, Pp. 257–267. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.03.002>.
9. Організація та регулювання дорожнього руху : підручник / За заг. ред. В.П. Поліщука, О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В.І. Єресов та ін. Київ : Знання України, 2012. 467 с.

10. Rod J. Troutbeck. Limited priority merge at unsignalized intersections/Rod J. Troutbeck, Soichiro Kako. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*. Volume 33, Issues 3–4, April 1999, pp. 291–304. URL: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(98\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00046-9).

REFERENCES

1. Vrubel', Ju. (2006). Determination of losses in road traffic [Opredelenye poter v dorozhnom dvizhenii]. Minsk: BNTU, 240 p.
2. Zhyvohliadov, V. (2005). Theory of traffic and pedestrian flows [Teoriya dvizheniya transportnykh i peshehodnykh potokov]. Rostov-na-Donu, Transport. 1082 p.
3. Lobanov, E. (1978). Road capacity [Propusknaya sposobnost avtomobilnykh dorog]. Moscow, Transport. 247 p.
4. Vasileva, G. (2007). The methods of minimization of transport delays on highway cities of Ukraine [Metody minimizatsii zatrymok transportu na mahistralnii vulychno-dorozhniy mrezhi mist Ukrainy]. Kyiv: KNUBIA, 21 p.
5. S. Ilgin Gulera. Methodology for estimating capacity and vehicle delays at unsignalized multimodal intersections / S. Ilgin Gulera, Monica Menendezb. *International Journal of Transportation Science and Technology*. Volume 5, Issue 4, December 2016, Pp. 257–267. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.03.002>.
6. Joewono Prasetijoa. Capacity of Unsignalized Intersections under Mixed Traffic Conditions / J. Prasetijoa, Mehdi H. Poura, Seyed M.R. Ghadiria. 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Stockholm, Sweden. June 28 – July 1, 2011. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 16, 2011. Pp. 676–685.
7. Satish Chandra. Microscopic Analysis of Service Delay at Uncontrolled Intersections in Mixed Traffic Conditions. / S. Chandra, A. Agrawal, A. Rajamma. *Journal of Transportation Engineering*, 135(6), June 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2009)135:6(323); Abhishek. (2019). Generalized gap acceptance models for unsignalized intersections / Abhishek, Boon M.A.A., Mandjes M. *Mathematical Methods of Operations Research*. Volume 89. Pp. 385–409. DOI: 10.1007/s00186-019-00662-0.
8. S. Ilgin Gulera. Methodology for estimating capacity and vehicle delays at unsignalized multimodal intersections / S. Ilgin Gulera, Monica Menendezb. *International Journal of Transportation Science and Technology*. Volume 5. Issue 4. December, 2016, Pp. 257–267. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.03.002>.
9. Orhanizatsiia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu: pidruchnyk [Organization and regulation of traffic] / Za zah. red. V.P. Polishchuka; O.O. Bakulich, O.P. Dziuba, V.I. Yeresov ta in. Kyiv: Znannia Ukrainy, 2012. 467 s.
10. Rod J. Troutbeck. Limited priority merge at unsignalized intersections / Rod J. Troutbeck, Soichiro Kako. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*. Volume 33, Issues 3–4, April 1999, pp. 291–304. URL: [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(98\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00046-9).