

ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНІХ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ВИЇЗДІ З ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ НА МАГІСТРАЛІ

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Проаналізовано та визначено основні відмінні риси методів визначення затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях з нерівнозначними напрямками, які за принципами організації та регулювання дорожнього руху є доволі схожими з виїздами з прилеглих територій на магістральні вулиці та дороги великих і найбільших міст. Метою статті є розробка аналітичних моделей визначення часових затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій на магістральні вулиці та дороги. Об'єктом дослідження є взаємодія транспортних потоків, що рухаються міською магістральною мережею, та потоку транспортних засобів, які виїжджають з прилеглих до магістральних територій. В дослідженні запропоновано підхід до визначення затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій на магістральні вулиці та дороги, який базується на принципах системи масового обслуговування та враховує пріоритетність руху транспортних засобів на конкурвувальних напрямках. Як основну інформаційну базу для використання запропонованого підходу щодо визначення часових затримок при виїзді з прилеглих територій необхідно мати дані про інтенсивність транспортного потоку конкурвувальних напрямків і час, що витрачається автомобілем для виїзду з прилеглої території на магістраль, які можна встановити за рахунок проведення натурних спостережень на обраних об'єктах експериментальних досліджень. Розроблений підхід потребує в подальшому експериментальної перевірки шляхом порівняння емпіричних і теоретичних результатів розрахунку затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій на міську магістральну мережу, а також за рахунок проведення імітаційного експерименту на вибраних об'єктах.

Ключові слова: аналітичні моделі, виїзди з прилеглих територій, нерегульовані перехрестя, система масового обслуговування, транспортні потоки, часові затримки транспортних засобів.

Вступ та постановка проблеми

Значне зростання рівня автомобілізації та автомобілекористування, що спостерігається останніми роками в містах України, мають свої негативні наслідки, які полягають у суттєвому перевантаженні транспортної системи (ТС) та збільшенні кількості конфліктних ситуацій на різних елементах вулично-дорожньої мережі (ВДМ). Особливо негативно ця проблема впливає на дорожній рух (ДР) у великих і найбільших містах, оскільки саме вони характеризуються значною кількістю різних учасників ДР та потужною розвинутою ТС. Перевантаження ТС призводить насамперед до зростання часових затримок транспортних засобів (ТЗ) та збільшення кількості викидів шкідливих речовин у зовнішнє середовище.

Найчастіше затримки ТЗ призводять до втрат водіями часу на пересування ділянками ВДМ, а найбільша частка транспортних затримок припадає на перехрестя і підходи до них [1]—[3]. Але потрібно також враховувати, що зі значним зростанням кількості ТЗ у населення та появи великої кількості новобудов у містах почали з'являтися нові проблемні («вузькі») місця на ВДМ населених пунктів стосовно ефективної організації ДР, до яких можна віднести виїзди з прилеглих територій на магістральні вулиці та дороги. Зростання кількості таких проблемних місць на міській ВДМ, а особливо поблизу регульованих перехресть, створює незручності як для ТЗ головного потоку, так і для ТЗ, що здійснюють виїзд з прилеглих територій. Основні відмінності між перехресттям і виїздом з прилеглої території з точки зору організації ДР зазначені в [2].

Найподібнішими з виїздами з прилеглих територій на магістральні вулиці та дороги за принци-

пами організації ДР є нерегульовані перехрестя з нерівнозначними напрямками руху ТЗ. Результати проведеного аналізу методів визначення часових затримок на таких перехрестях свідчать про те, що їх умовно можна об'єднати в декілька груп [3]:

- методи, що засновуються на проведенні натурних спостережень за транспортними потоками (ТП);
- методи, засновані на використанні аналітичних моделей, які враховують детерміністичні та стохастичні властивості ТП та поведінку водіїв;
- методи, засновані на використанні моделей регресійного аналізу;
- методи, засновані на використанні засобів мікромодельовання руху ТП.

Звичайно, сучасні програмні комплекси імітаційного моделювання трафіку (VISSIM, SUMO, AIMSUN, Paramics, SimTraffic та інші) дозволяють на достатньо високому рівні здійснити оцінку часових затримок руху ТЗ на ділянках ВДМ, але разом з тим, в переважній більшості, мають доволі високу вартість. Для формування точної, адекватної імітаційної моделі руху ТП з використанням програмних комплексів необхідна інформація про характеристики ТП на об'єкті моделювання, яку можна отримати на основі проведення натурних спостережень за трафіком. Але слід також розуміти, що розробка аналітичних моделей руху ТП на елементах ВДМ сприяє чіткішому розумінню транспортного процесу та дозволяє отримати нові моделі визначення часових затримок ТЗ, точність яких можна перевірити з використанням програмних засобів імітації руху ТП.

Отже, метою роботи є розробка аналітичних моделей визначення часових транспортних затримок ТЗ при виїзді з прилеглих територій на магістральні вулиці та дороги.

Результати дослідження

Запропонований підхід до визначення затримок ТЗ при виїзді з прилеглих територій на магістральні вулиці та дороги базується на принципах теорії масового обслуговування, що дозволяє врахувати пріоритетність руху ТП на конкуруючих напрямках.

Для розробки моделей середніх затримок ТЗ при виїзді з прилеглих територій доцільно використовувати основні формули для однопіної системи масового обслуговування з відносним пріоритетом [5]—[8]. У відповідності до цього виїзд з прилеглої території можна розглядати як об'єкт взаємодії двох конкуруючих напрямків (пріоритетів):

- перший (основний, головний) — рух ТЗ магістральною мережею;
- другий — рух ТЗ з прилеглої території.

Зрозуміло, що ТЗ першого напрямку мають відносний пріоритет у порівнянні з ТЗ другого напрямку, тобто дають можливість завершити рух ТЗ другого напрямку, що в'їхав у зону взаємодії ТП.

Введемо позначення основних складових для розробки моделі середніх затримок ТЗ у разі виїзду з прилеглої території:

- i — номер напрямку руху ТЗ (пріоритету), $i = 1, 2$;
- λ_i — інтенсивність ТЗ i -го напрямку руху (інтенсивність надходження вимог i -го пріоритету), c^1 ;
- Δ_i — час проїзду динамічного габариту ТЗ i -го напрямку руху (тривалість обслуговування вимог i -го пріоритету), c . Під часом проїзду динамічного габариту ТЗ розуміється необхідний часовий інтервал для здійснення відповідних маневрів при виїзді автомобілів з прилеглих територій на міські магістралі;
- W_i — середня затримка ТЗ i -го напрямку руху (стаціонарний час очікування вимог i -го пріоритету), c .

Тоді, відповідно до [5]—[8] функція розподілу імовірності часу проїзду динамічного габариту ТЗ з i -го напрямку руху матиме вигляд

$$G_i(t) = P(\Delta_i \leq t), \quad t > 0, \quad (1)$$

а рівень завантаження i -го напрямку руху ТЗ (навантаження на систему обслуговування вимог i -го пріоритету) матиме такий вигляд:

$$\rho_i = \lambda_i M(\Delta_i) = \lambda_i \int_0^{\infty} t dG_i(t), \quad (2)$$

де $M(\Delta_i)$ — математичне очікування часу проїзду динамічного габариту ТЗ i -го напрямку руху (тривалість обслуговування вимог i -го пріоритету).

Звідси виникає можливість визначення рівня завантаження конкуруючих напрямків:

– для першого напрямку (рух ТЗ магістральною мережею)

$$\rho_1 = \lambda_1 \Delta_1; \quad (3)$$

– для другого напрямку (рух ТЗ з прилеглої території)

$$\rho_2 = \lambda_2 \Delta_2. \quad (4)$$

За умови, що сумарне завантаження обох конкуруювальних напрямків руху ТЗ (сумарне навантаження на систему обслуговування вимог обох пріоритетів) є меншою за одиницю

$$\rho = \sum_{i=1}^2 \rho_i = \rho_1 + \rho_2 < 1, \quad (5)$$

можна отримати формули для першого моменту середньої затримки ТЗ i -го напрямку руху (стаціонарного часу очікування вимог i -го пріоритету)

$$M(W_i) = \frac{\sum_{i=1}^2 \lambda_i^2 \cdot M(\Delta_i^2)}{2(1-\rho_i) \left(1 - \sum_{i=1}^2 \rho_i\right)}. \quad (6)$$

Беручи до уваги формулу (6), наведемо залежності для визначення середньої затримки ТЗ для кожного напрямку руху ТЗ при виїзді з прилеглої території:

– для першого напрямку (рух ТЗ магістральною мережею)

$$W_1 = \frac{\lambda_1 \Delta_1^2}{2(1-\rho_1)}; \quad (7)$$

– для другого напрямку (рух ТЗ з прилеглої території)

$$W_2 = \frac{\lambda_1 \Delta_1^2 + \lambda_2 \Delta_2^2}{2(1-\rho_1)(1-\rho_1-\rho_2)}. \quad (8)$$

Зі свого боку, середня затримка для обох конкуруювальних напрямків руху ТЗ у разі виїзду з прилеглої території визначатиметься так:

$$W = \frac{\lambda_1 W_1 + \lambda_2 W_2}{\lambda_1 + \lambda_2}. \quad (9)$$

Використання розроблених моделей для визначення середніх затримок часу ТЗ при виїзді з прилеглих територій на міську магістральну мережу передбачає збір інформації про інтенсивність ТП з конкуруювальних напрямків та дані про час проїзду динамічного габариту ТЗ за напрямками та маневрами. Зрозуміло, що ця інформація повинна характеризуватися високим ступенем точності та надійності, тому одним з основних способів її отримання є проведення натурних спостережень за параметрами руху ТП на об'єктах експериментальних досліджень. Результати натурних спостережень також можна використовувати для розробки імітаційних моделей вибраних об'єктів з використанням відповідного програмного забезпечення, до прикладу, VISSIM або SUMO.

Висновки

Основою розроблених аналітичних моделей визначення затримок ТЗ при виїзді з прилеглих територій на міські магістралі є принципи обслуговування систем масового обслуговування з відносним пріоритетом.

Результати натурних спостережень за рухом ТП при виїзді з прилеглих територій на міську магістральну мережу є основною базою порівняння точності розробленого підходу щодо визначення затримок ТЗ та розробки імітаційних моделей трафіку на вибраних об'єктах експериментальних досліджень.

Запропонована модель для визначення середніх затримок ТЗ при виїзді з прилеглих територій на міську магістральну мережу є однією з перших спроб щодо оцінки якості транспортного обслуговування учасників транспортного процесу на таких об'єктах транспортної інфраструктури.

Результати розрахунку затримок ТЗ за розробленими моделями та результати імітаційного мо-

делювання руху ТП при виїзді з прилеглих територій можуть стати основою для розробки, обґрунтування та порівняння ефективності заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху на таких об'єктах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] K. Barvinska, and O. Hnatsyn, "Investigation of transport flow delay at unsignalized intersections with limited speed," *Transport Development*, no. 1(6), pp. 80-91, 2020. <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.07> (українською мовою).
- [2] С. В. Любий, і О. М. Белецька, «Експериментальні дослідження затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій,» *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, № 1(16), с. 106-116, 2021. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i16.513>.
- [3] С. В. Любий, О. В. Денисенко, і О. М. Белецька, «Сучасні підходи щодо визначення транспортних затримок на нерегульованих перехрестях,» *Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей*, матер. VI Міжнародної науково-технічної конференції, Луцьк, 26-27 червня 2020. Луцьк: ЛНТУ, 2020, с. 97-101.
- [4] П. Ф. Горбачов, С. В. Любий, і О. М. Белецька, «Підхід щодо визначення затримок автомобілів на нерегульованих перехрестях з рівнозначними напрямками,» *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*, матер. II Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції, Рівне, 9-11 листопада 2020. Рівне: НУВГП, 2020, с. 94-96.
- [5] B.W. Gnedenko, and D. König, *Handbuch der Bedienungstheorie II: Formeln und andere Ergebnisse*. Berlin, Boston: De Gruyter, Reprint 2022 ed. edition (December 31, 1984), 610 p. <https://doi.org/10.1515/9783112614747>.
- [6] N. K. Jaiswal, *Priority Queues*. Academic Press, 1968, 240 p.
- [7] L. Kleinrock, *Queueing systems 2: Computer applications*, 1st edition. Wiley-Interscience, 1976, 576 p.
- [8] M. J. Pardo, and D. de la Fuente, "Optimizing a priority-discipline queueing model using fuzzy set theory," *Computers & Mathematics with Applications*, no. 54(2), pp. 267-281, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2007.01.019>.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 20.10.2022

Любий Євген Володимирович — канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики, e-mail: lion_khadi@ukr.net ;

Белецька Ольга Михайлівна — аспірантка кафедри транспортних систем і логістики, e-mail: olya.krasotova@gmail.com .

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Ye. V. Liubiy¹
O. M. Bieletska¹

An Approach to Determine the Average Transport Delays at Adjacent Territory Exit on the Highway

¹Kharkiv National Automobile and Highway University

The main distinguishing features of methods to determine transport delays at unsignalized intersections with unequal directions, which are quite similar to adjacent territory exit to arterial streets and roads of large, significant and most significant cities by the principles of organization and regulation of traffic, are analyzed and determined. The purpose of the article is to develop analytical models to determine transport delays at adjacent territory exit to arterial streets and roads. The object of the study is the interaction of traffic flow moving through the urban highway network and the flow of vehicles leaving adjacent territory. The study proposes an approach to determine transport delays at adjacent territory exit to arterial streets and roads, which is based on the principles of a queuing theory and takes into account the priority of traffic in competing directions. As the main information base for the use of proposed approach to determine transport delays at adjacent territory exit, it is necessary to have the value of the traffic flow intensity in competing directions and the passing time of the vehicle dynamic dimensions, which can be obtained by conducting field observations at the selected experimental research objects. The developed approach needs to be experimentally verified by comparing empirical and theoretical results of calculating transport delays at adjacent territory exit to the arterial network, as well as by conducting a simulation experiment on selected of experimental research objects. The proposed analytical models to determine the average transport delays simplify the perception of traffic flows interaction at adjacent territory exit.

Keywords: analytical models, adjacent territory exit, unsignalized intersections, queuing theory, traffic flows, transport delays.

Liubiy Yevhen V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Transport Systems and Logistics Department, e-mail: lion_khadi@ukr.net ;

Bieletska Olha M. — Post-Graduate Student of the Chair of Transport Systems and Logistics, e-mail: olya.krasotova@gmail.com