

Ю. Я. Ройко, Р. Р. Бура, В. А. Давосир, С. А. Максимюк  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра транспортних технологій

## ВПЛИВ ЗУПИНОК МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ПЕРЕХРЕСТЬ

© Ройко Ю. Я., Бура Р. Р., Давосир В. А., Максимюк С. А., 2019

Розглянуто вплив місця розташування зупинок міського громадського транспорту на характер руху транспортних потоків, зокрема час проїзду ними зони нерегульованих і регульованих перехресть, середньої та максимальної довжини черги транспортних засобів на головному та другорядному напрямках нерегульованих перехресть, а також у фазах регулювання на регульованих перехрестях. Підґрунтям для дослідження ефективності роботи перехресть за вказаних умов були натурні дослідження, проведені з метою визначення основних показників учасників дорожнього руху, та імітаційне моделювання руху, здійснене у спеціалізованому програмному середовищі PTV VISSIM. Результатом роботи є визначення часових затримок транспорту залежно від зміни показників учасників дорожнього руху та місця розміщення зупинок в зоні перехресть.

**Ключові слова:** транспортний потік, склад транспортного потоку, натурні дослідження, імітаційне моделювання, середня довжина черги транспортних засобів, максимальна довжина черги транспортних засобів.

Yu. Royko, R. Bura, V. Davosyr, S. Maksymiuk

## IMPACT OF STOPPING POINTS OF URBAN PUBLIC TRANSPORT ON THE EFFECTIVENESS OF INTERSECTIONS FUNCTIONING

An impact of stopping points location of urban public transport on the character of traffic flows movement is reviewed, in particular time of passing by them a zone of uncontrolled and controlled intersections, the average and the maximum queue length of vehicles on the main and the secondary directions of uncontrolled intersections and also in control phases on controlled intersections. The basis for the investigation of the effectiveness of intersections functioning in pointed conditions was field research that were carried out with the aim to determine the main indicators of traffic users and simulation modeling that was conducted in specialized program software PTV VISSIM. The result of the work is determination of time delays of transport depending from the change of indicators of traffic users and the location of stopping points in intersection zones.

**Key words:** traffic flow, traffic flow composition, field research, simulation modeling, average length of vehicle queue, maximum length of vehicle queue.

**Формування проблеми.** Під час удосконалення наявних та проектування нових схем організації дорожнього руху (ОДР) часто виникають питання обґрунтування місця розміщення зупинок міського громадського транспорту (МГТ) щодо перехресть. Чинними нормативами дозволено розміщення зупинок і на підходах до перехресть, і після їх проїзду залежно від виду МГТ, який здійснює обслуговування пасажирських потоків на тих чи інших маршрутах. Проте такий визначений інженерний підхід не завжди відповідає інтересам учасників дорожнього руху

(УДР), що зумовлено впливом багатьох інших чинників, серед яких: геометрично-планувальні параметри і конфігурація перехресть; інтенсивність транспортних потоків (ТП) та їх перерозподіл у зоні перехресть; кількість дозволених напрямків руху на підході до перехресть та після їх проїзду; спосіб організації руху пішохідних потоків у межах перехресть та їх інтенсивність; наявність місць генерації пасажирських потоків та їх розміщення стосовно перехресть; кількість та напрям маршрутів МГТ на перехрестях тощо. Неврахування цих чинників, а також їх одночасне накладання може спричинити додаткові втрати часу під час проїзду перехресть, які до того ж відрізняються між собою конфігурацією та способом регулювання руху і, відповідно, погіршити ефективність їх роботи. Розв'язання такої проблеми в умовах сучасних міст, де кількість транспорту та інтенсивність руху постійно зростають, є актуальним науково-прикладним завданням, яке може вирішуватися по-різному навіть за однакових показників УДР, серед яких інтенсивність та її нерівномірність для транспортних і пішохідних потоків, склад ТП тощо. Додатково відзначимо й те, що деякі зупинки МГТ облаштовані заїзними кишенями, інші без таких кишень, що також вносить зміни у характер руху ТП, за винятком тих місць, де МГТ здійснює рух відокремленими смугами. Важливо зауважити, що в практиці проектування не завжди вдається досягти бажаного результату, навіть якщо витрачено значну кількість фінансових ресурсів для перепроєктування елементів вулично-дорожньої мережі (ВДМ) на перехрестях та в зоні їх дії. Частково це завдання вдається реалізувати із використанням методів імітаційного моделювання, яке дає змогу із достатнім рівнем точності результатів передбачити ефективність впроваджених заходів за фактичних та прогнозованих показників УДР.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На початковому етапі дослідження проаналізуємо нормативні підходи до розміщення зупинок МГТ щодо перехресть міських вулиць та доріг, які чинні на цей час в Україні. Ними встановлено [1], що зупинки маршрутного транспорту, який рухається спільно з іншими транспортними засобами (ТЗ), як правило, повинні розміщуватися за перехрестями на відстані не менше ніж 5 м від пішохідного переходу і 20 м від перехрестя до посадкового майданчика. Трамвайні зупинки на відокремлених смугах або посередині проїзної частини слід розташовувати до перехрестя вулиць і доріг перед пішохідними переходами на відстані не менше ніж 5 м від перехрестя. Розміщення трамвайних зупинок за перехрестями міських вулиць і доріг допускається, як виняток, у випадках, коли за перехрестям розташований великий об'єкт масового відвідування (місце генерації пасажирських потоків) або пропускна здатність смуг руху вулиці (дороги) за перехрестям більша, ніж до нього [1]. Аналізуючи такі нормативні положення, можна сказати, що облаштування зупинки обґрунтовується пропускною здатністю вулиць та перехресть, утворених ними, а також планувальними особливостями з урахуванням положень містобудування. Проте, керуючись лише положеннями нормативу, часто не враховують специфіку трансформації пішохідного потоку в пасажирській в межах місць значної його генерації, що призводить до необхідності облаштування великої кількості пішохідних переходів і потреби забезпечити відповідне їх регулювання, а також те, що пасажирів МГТ можуть здійснювати пересідання між різними його маршрутами та видами і для реалізації цього потрібні додаткові переміщення в зоні перехрестя. В умовах регульованих перехресть відбувається скупчення пішоходів на переходах, а це вимагає забезпечення їм окремих фаз, що спричиняє додаткову затримку під час руху ТП, зокрема і МГТ [2]. Якщо ж розглядати нерегульовані перехрестя, то такі додаткові затримки можуть виникати у разі необхідності реалізації пішохідних переходів у їх зоні через усі вулиці, які утворюють такі перехрестя.

Розглянемо наукові підходи до визначення затримки руху на перехрестях та зосередимо основну увагу на чинниках, які її спричиняють. Усі вони ґрунтуються на положенні, що прибуття УДР до перехрестя є випадковим процесом.

На регульованих перехрестях для визначення затримки ТЗ часто використовують такі показники: тривалість світлофорного циклу; ступінь насичення напрямку руху, відношення тривалості горіння зеленого сигналу до тривалості циклу, інтенсивність руху ТЗ на досліджуваному напрямку, коефіцієнт варіації інтенсивності потоку (відношення середнього квадра-

тичного відхилення до математичного сподівання кількості ТЗ, що прибувають за цикл до перехрестя), потік насичення [3–5].

На нерегульованих перехрестях вулиць (доріг) на одному рівні витрати часу ТЗ визначають з урахуванням інтенсивності руху другорядною вулицею (дорогою) в обох напрямках у фізичних одиницях, середньої затримки одного ТЗ, коефіцієнта нерівномірності руху впродовж доби, граничного інтервалу, який необхідний ТЗ з другорядного напрямку для того, щоб виїхати на головний або перетнути його [4]

Недоліком запропонованих методик є те, що в обох випадках зовсім не враховано вплив зупинок МГТ, додаткову затримку, зумовлену потребами інтенсивних пішохідних потоків на перехід в умовах світлофорного регулювання, а також те, що на нерегульованих перехрестях пішоходи переходять не лише другорядний напрямок, але й головний, де також, у зв'язку із цим, виникають затримки в русі ТЗ. До того ж відомо, що затримки на всіх типах (за способом регулювання руху) перехресть можуть виникати і через нерівності дорожнього покриття [3].

Щодо затрат часу пішоходів на перехід через нерегульований пішохідний перехід, то тут за результатами експериментальних досліджень визначено, що група пішоходів вважає прийнятним для такого переходу менший інтервал між ТЗ, ніж окремих пішохід [7, 8].

Щодо затримок МГТ на регульованих перехрестях, то вони можуть залежати від таких ситуацій. Найперше, затримка сигналу світлофора – це проста затримка, яка виникає з-за великої кількості ТЗ, які використовують ту саму смугу, що й МГТ, і пов'язана із пропускнуою здатністю перехрестя [9–11]. По-друге, затримки можуть виникати у зв'язку із тимчасовим скупченням у смугах автобусів, тролейбусів (або трамваїв), які можуть мати спільні зупинки для посадки та висадки пасажирів [12, 13]. Пріоритетне світлофорне регулювання для МГТ можливе в одній із двох форм – пасивній або активній [14, 15]. Пасивне світлофорне регулювання – розроблення таких систем керування, коли напрямку (вулиці або дорозі), який обслуговує маршрут МГТ, завжди надається більше дозвільного сигналу порівняно з іншими конфліктними напрямками. Такі дії спричиняють збільшення швидкості всього ТП, який рухається зазначеним напрямком [16, 17]. Під час активного регулювання або ж регулювання в режимі реального часу, фаза світлофора на напрямку, який обслуговує МГТ, змінюється під час наближення таких ТЗ до стоп-лінії.

**Формулювання мети.** Метою роботи є визначення зміни тривалості проїзду, середньої та максимальної довжини черги ТЗ залежно від зміни інтенсивності транспортних і пішохідних потоків та принципу облаштування зупинок МГТ у зоні впливу перехресть міських вулиць та доріг.

**Виклад основного матеріалу.** У цій роботі розглянуто результати імітаційного моделювання, яке проводилося для визначення умов руху та показників затримки, довжини черги ТЗ на нерегульованому перехресті вулиць Патона – Рясівська та регульованому перехресті вулиць Городоцька – Коротка та площі Кропивницького із використанням спеціалізованого програмного середовища PTV VISSIM. Для дослідження ці об'єкти вибрано, оскільки тут зупинки облаштовано відповідно до нормативних вимог. Моделювання полягало у виконанні таких етапів:

- визначення інтенсивності руху та складу ТП на всіх підходах до перехресть;
- побудова смуг руху та конструктивних елементів перехрестя у PTV VISSIM за допомогою його копіювання та геоінформаційних даних;
- визначення тривалості проїзду одним ТЗ зони регульованого перехрестя, максимальної та середньої довжини черги на підході по вулиці Городоцька (від центру) за наявності зупинки МГТ, не облаштованої заїзною кишенею (наявна модель), та відсутності зупинки (модель для імітації), коли її перенесено за перехрестя;
- визначення тривалості проїзду одним ТЗ зони нерегульованого перехрестя по головному напрямку за двох випадків, коли зупинка МГТ облаштована у заїзній кишені (наявна модель) та без заїзної кишені (модель для імітації) за таких самих умов імітації, як і для регульованого перехрестя;
- формування результатів у вигляді таблиць та їх графічна інтерпретація.

Інтенсивність та склад ТП, а також інтенсивність пішохідного потоку визначено за результатами проведення натурних досліджень з використанням методу оперативного обліку руху (визначення показників УДР протягом короткотривалих вимірювань тривалістю до 1 год) у пікові години робочих днів тижня. Інтенсивність руху ТП на підході з вулиці Городоцької регульованого перехрестя вулиць Городоцька – Коротка та площі Кропивницького становила 1252 авт./год за такого складу ТП: легкові автомобілі – 60 %; вантажні автомобілі – 8 %; МГТ (автобуси та трамваї) – 32 %. Розглянутий підхід передбачає дві смуги руху в одному напрямку. На головному прямому та зустрічному напрямках нерегульованого перехрестя вулиць Патона – Ряшівська виміряна інтенсивність руху становила відповідно 534 авт./год та 362 авт./год за такого складу ТП: легкові автомобілі – 90 %; вантажні автомобілі – 5 %; МГТ (автобуси та тролейбуси) – 5 %.

Після побудови моделі перехрестя у спеціалізованому програмному середовищі PTV VISSIM проведено імітацію тривалістю 1 год з метою визначення характеристик ТП для наявної та проектної схем. Результати імітації для підходу з вулиці Городоцька регульованого перехрестя вулиць Городоцька – Коротка та площі Кропивницького наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Результати моделювання характеристик ТП на підході з вулиці Городоцька (від центру) до регульованого перехрестя вулиць Городоцька – Коротка та площі Кропивницького у м. Львові**

<i>Наявна модель</i>						
Показник	Номер стану моделі (результати імітації за зміни інтенсивності руху)					
	1	2	3	4	5	6
Інтенсивність руху на підході до перехрестя, $N$ , авт./год	1252	1472	1693	1913	2134	2354
Тривалість проїзду одним ТЗ зони регульованого перехрестя, с						
$t_{ТЗ}^P$	28,0	32,1	48,4	56,2	58,6	62,1
Середня довжина черги ТЗ на підході до регульованого перехрестя за час імітації (1 год), м						
$\bar{l}_{черг}$	37,8	75,2	108,0	113,2	123,4	125,3
Максимальна довжина черги ТЗ на підході до регульованого перехрестя за час імітації (1 год), м						
$l_{черг, max}$	134,1	157,0	156,1	161,8	164,0	160,4
<i>Модель для імітації</i>						
Тривалість проїзду одним ТЗ зони регульованого перехрестя, с						
$t_{ТЗ}^P$	16,9	17,3	17,8	18,1	18,9	19,3
Середня довжина черги ТЗ на підході до регульованого перехрестя за час імітації (1 год), м						
$\bar{l}_{черг}$	4,3	25,0	60,5	49,7	56,0	63,2
Максимальна довжина черги ТЗ на підході до регульованого перехрестя за час імітації (1 год), м						
$l_{черг, max}$	34,4	63,5	100,5	98,7	100,5	98,7

Моделювання відбувалось із урахуванням сталого приросту інтенсивності руху на підході (20 %) за незмінного складу ТП з такими припущеннями. Якщо ТЗ виїхав на перехрестя в момент ввімкнення жовтого сигналу, то він завершує проїзд перехрестя. Зазначене спрощення призводить до того, що максимальне значення черги в моделі досягається у момент ввімкнення дозвільного сигналу. У реальних умовах за час початку руху перших ТЗ з черги в її хвіст прибувають ще декілька ТЗ. У момент початку руху останнього ТЗ з черги, що була у момент ввімкнення дозвільного сигналу, її довжина на підході до перехрестя менша, ніж максимальна, але протяжність (в автомобілях або метрах) більша. Тому отримані значення максимальної довжини черги можна використовувати для оцінювання ефективності алгоритму керування, а не для оцінювання довжини смуги руху, необхідної для накопичення черги.

В алгоритмі не враховано зміну складу ТП, а також пішохідний рух через перехрестя (вважаємо, що пішоходам достатньо часу для переходу проїзної частини за тривалість горіння дозвільного сигналу відповідної фази). Графічна інтерпретація результатів моделювання, наведених у табл. 1, відображена на рис. 1.

Аналізуючи рис. 1, а, можна сказати, що зміна тривалості проїзду одним ТЗ із зазначеного підходу зони регульованого перехрестя за наявності зупинки МГТ, не обладнаної заїзною кишенею, змінюється зі збільшенням інтенсивності на 20 % у межах від 4 % до 51 %. Отже, зі збільшенням інтенсивності удвічі час проїзду збільшується у 2,2 разу. Водночас, коли зупинка МГТ відсутня (перенесена за перехрестя), за таких самих параметрів світлофорного регулювання і приросту інтенсивності, тривалість проїзду змінюється від 2 % до 5 %, тобто за зростання інтенсивності вдвічі отримуємо збільшення часу проїзду 1,14 разу. Якщо порівнювати результати імітації тривалості проїзду одним ТЗ в умовах наявності та відсутності зупинки МГТ за однакового значення інтенсивності, бачимо збільшення ефективності від 1,66 разу за початкових (вимірних) значень інтенсивності руху до 3,22 разу в разі її збільшення удвічі. З рис. 1, б можна зробити висновок, що схожі тенденції спостерігаються для середньої довжини черги ТЗ на підході до регульованого перехрестя.

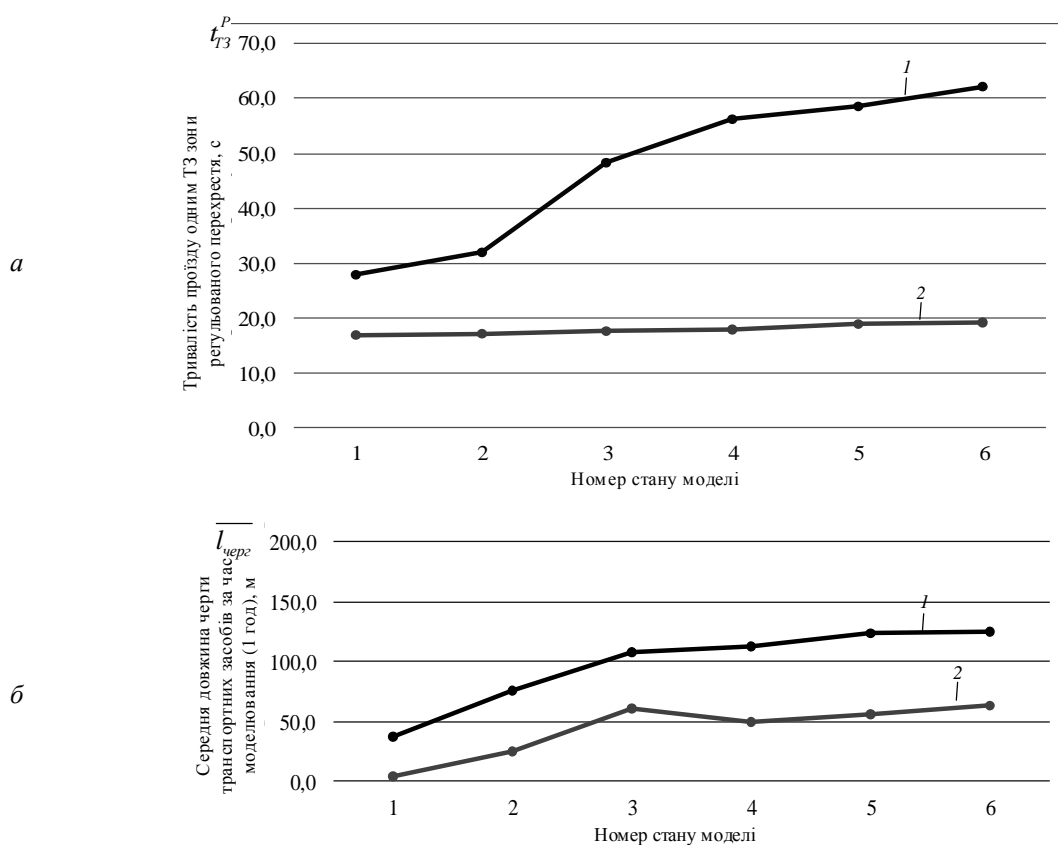


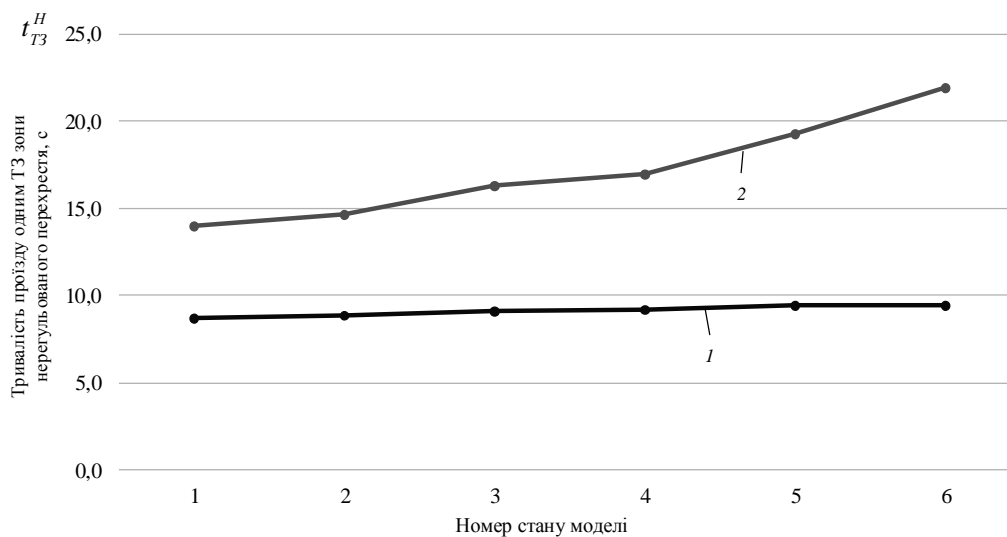
Рис. 1. Визначення тривалості проїзду одним ТЗ зони регульованого перехрестя (а) та середньої довжини черги (б) на підході з вул. Городоцька (від центру) за умови наявності зупинки МГТ, не обладнаної заїзними кишенями (1), та її відсутності (2)

Порівняно з регульованими перехрестями, де затримка ТЗ, окрім їх динамічних характеристик, визначається режимом світлофорної сигналізації, на нерегульованих процеси випадковості проявляються частіше і пов'язані з нерівномірністю прибуття ТЗ до перехрестя, тобто через випадкові часові інтервали між ними. До того ж таке явище випадковості притаманне пішохідним потокам, які здійснюють переміщення в зоні перехрестя через нерегульовані пішохідні переходи. Розглянемо результати імітаційного моделювання для головних напрямків нерегульованого перехрестя (табл. 2).

**Результати моделювання характеристик ТП на головних напрямках  
нерегульованого перехрестя вулиць Патона – Ряшівська у м. Львові**

Показник	Номер стану моделі (результати імітації за зміни інтенсивності руху)					
	1	2	3	4	5	6
Інтенсивність руху на головному попутному напрямку, $N_1^{zoi}$ , авт./год	534	658	784	908	1034	1158
Інтенсивність руху на головному зустрічному напрямку, $N_2^{zoi}$ , авт./год	362	452	543	633	724	814
Сумарна інтенсивність на підході до перехрестя за головним напрямком, $N_a$ , авт./год	896	1110	1327	1541	1758	1972
Тривалість проїзду одним ТЗ зони нерегульованого перехрестя, де передбачено заїзні кишені на зупинках МГТ, с						
$t_{T31}^H$	14,0	14,7	16,3	16,9	19,3	21,9
$t_{T32}^H$	8,7	8,9	9,1	9,2	9,4	9,4
Тривалість проїзду одним ТЗ зони нерегульованого перехрестя, де не передбачено заїзні кишені на зупинках для МГТ, с						
$t_{T31}^H$	18,4	19,2	19,8	20,9	21,3	23,2
$t_{T32}^H$	11,6	12,8	13,0	14,9	18,2	18,1

Графічну інтерпретацію результатів моделювання, наведених у табл. 2, відображено на рис. 2, 3.



*Рис. 2. Залежність тривалості проїзду одним ТЗ зони нерегульованого перехрестя за попутним (1) та зустрічним (2) напрямками, де передбачено заїзні кишені для зупинок МГТ, від зміни інтенсивності руху*

Аналізуючи рис. 2, відзначимо, що тривалість проїзду одним ТЗ зони нерегульованого перехрестя менша, ніж на регульованих перехрестях, що зумовлено відсутністю затримки, пов'язаної із режимом світлофорного регулювання. До того ж за збільшення інтенсивності руху така тривалість проїзду між кроками імітації не перевищує 3 %, а під час збільшення сумарної

інтенсивності удвічі (від 896 авт./год до 1972 авт./год) – від 8 % до 56 %, що є меншим діапазоном значень порівняно з регульованими перехрестями.

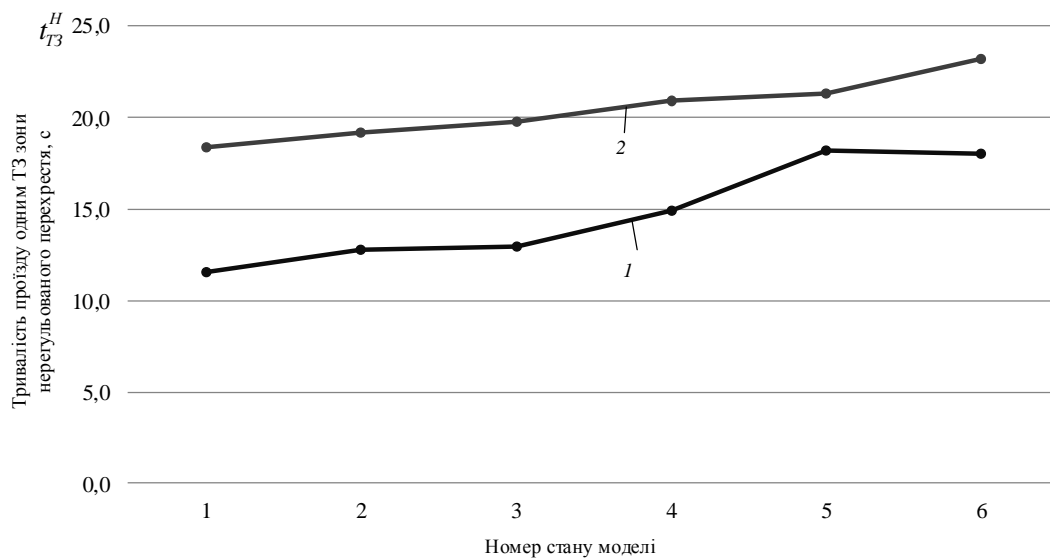


Рис. 3. Залежність тривалості проїзду одним ТЗ зони нерегульованого перехрестя за попутним (1) та зустрічним (2) напрямками, де не передбачено заїзні кишені на зупинках МГТ, від зміни інтенсивності руху

Аналогічні тенденції спостерігаються і у разі зміни такої самої тривалості проїзду, де заїзних кишень на зупинках не передбачено. Тут різниця між мінімальним та максимальним значеннями за такої ж зміни сумарної інтенсивності руху на підходах становить 26–56 %.

**Висновки.** За результатами досліджень можна зробити такі висновки:

- проаналізовано основні чинники, які впливають на формування затримок в русі транспортних та пішохідних потоків у зоні дії перехрестя залежно від способу організації і регулювання руху і визначено, що такими є: інтенсивність руху, режим роботи світлофорної сигналізації, інтервали часу між ТЗ на підходах до перехрестя, склад ТП, а також спосіб облаштування зупинок МГТ;

- визначено, що на регульованих перехрестях тривалість проїзду за умови відсутності заїзних кишень на зупинках МГТ та збільшення інтенсивності руху на підході з 1252 авт./год до 2354 авт./год збільшується у 2,2 разу, а за відсутності такої кишені у 1,14 разу;

- визначено, що на нерегульованих перехрестях під час зміни сумарної інтенсивності руху на головному напрямку тривалість проїзду менша, ніж на регульованих перехрестях, що зумовлено відсутністю примусового світлофорного регулювання і за час імітації (покрокового збільшення сумарної інтенсивності руху від 896 авт./год до 1972 авт./год) змінюється в діапазоні 8–56 % за умови, коли зупинки МГТ із заїзними кишнями, та 26–56 %, якщо зупинки МГТ без заїзних кишень.

Отже, дотримання чинних нормативів не дає достатнього обґрунтування щодо місця і способу розміщення зупинки МГТ, з урахуванням критерію мінімізації часу проїзду ТЗ зони перехрестя залежно від способу регулювання руху на них та черг, які виникають на під'їзді до них.

1. *Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5-2018.* – [Чинні від 24.04.2018'103]. – К.: Держбуд України, 2018. – 61 с. – (Державні будівельні норми України). 2. Грицунь О. М. *Обґрунтування раціональних режимів світлофорного регулювання з урахуванням характеристик транспортних потоків і поведінки пішоходів* : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 "Транспортні системи" / Грицунь Олег Михайлович – Львів, 2019. – 22 с.

3. Форнальчик Є. Ю. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія / Є. Ю. Форнальчик, І. А. Могила, В. Е. Грушевський, В. В. Гілевич. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 236 с. 4. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху [Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.]; за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2007. – 452 с. – (5 кн./ Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.; кн. 4). 5. Кременець Ю. А. Технические средства организации дорожного движения / Ю. А. Кременець, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М: ИКЦ “Академкнига”, 2005. – 279 с. 6. Miller A. J. The Capacity of Signalized Intersections in Australia / A. J. Miller // Australian Road Research Board, ARRB Bulletin. – 1968. – 95 p. 7. Лобашов О. О. Практикум з дисципліни “Організація дорожнього руху”: навч. посіб. / О. О. Лобашов, О. В. Прасоленко. Харків: ХНАМГ, 2011. – 221 с. 8. Буга П. Г. Организация пешеходного движения в городах / П. Г. Буга, Ю. Д. Шелков. – М. : Высшая шк., 1980. – 232 с. 9. Ji, Y., Tang, Y., Wang, W., Du, Y. Tram-Oriented Traffic Signal Timing Resynchronization. *Journal of Advanced Transportation* 2018, 2018, art. no. 8796250, 13. <https://doi.org/10.1155/2018/8796250>. 10. Wu, J. Q., Yu, Y., Lin, X. Y. Dynamic Priority Algorithm for Modern Tram Based On MADM. *Proc. of the 2017 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering, ICITE 2017, (September 1–3), Singapore, 2017, pp. 89–93.* <https://doi.org/10.1109/ICITE.2017.8056887>. 11. Zhu, H., Hang, C., Yang, X. A bandwidth maximization model for coordinated tramcar signal priority control alone arterials, *Proc. of the 4th International Conference on Transportation Information and Safety, ICTIS 2017, (August 8–10), Banff, Alberta, Canada, 2017, pp. 631–634.* <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2017.8047832>. 12. Shi, J., Sun, Y., Schonfeld, P., Qi, J. Joint optimization of tram timetables and signal timing adjustments at intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 2017, 83, 104–119. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.07.014>. 13. Yang, M., Ding, J., Wang, W., Ma, Y.-Y. A coordinated signal priority strategy for modern trams on arterial streets by predicting the tram dwell time. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2018, 22(2), 823–836. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1187-4>. 14. Li Zhou, Yizhe Wang, Yangdong Liu. Active signal priority control method for bus rapid transit based on Vehicle Infrastructure Integration *International Journal of Transportation Science and Technology* 2017, 6(2), 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.06.001>. 15. Furth, P.G., Muller, T.H.J. Conditional bus priority at signalized intersections: Better service with less traffic disruption. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2000, 1731, 23–30. <https://doi.org/10.3141/1731-04>. 16. Scheffler, R., Strehler, M. Optimizing traffic signal settings for public transport priority, *Proc. of the 17th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems (ATMOS 2017), (September 7–8), Vienna, Austria, 2017, pp. 9:1–9:15.* <https://doi.org/10.4230/OASIS.ATMOS.2017>. 17. Bai, Y., Li, J., Li, T., Yang, L., Lyu, C. Traffic Signal Coordination for Tramlines with Passive Priority Strategy. *Mathematical Problems in Engineering* 2018, 2018, art. no. 6062878, 14. <https://doi.org/10.1155/2018/6062878>.