



ВПЛИВ ДОРОЖНИХ ТА АВТОМОБІЛЬНИХ ЧИННИКІВ НА СУМАРНІ ЗАТРИМКИ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ПЕРЕД РЕГУЛЬОВАНИМИ ПЕРЕХРЕСТЯМИ

Анотація. Наведено порівняльні результати моделювання роботи ізольованого регульованого перехрестя з врахуванням: коефіцієнтів зведення за Левашевим (базовий варіант); технічного стану транспортних засобів; рівності проїжджої частини; другого та третього. Основним критерієм у порівнянні вибрано сумарну затримку транспортних засобів перед перехрестям, яка виявилася меншою ніж у базовому варіанті.

Ключові слова: регульоване перехрестя, світлофорний цикл, сумарна затримка, технічний стан транспортних засобів, рівність проїжджої частини.

Аннотация. Приведены сравнительные результаты моделирования работы изолированного регулируемого перекрестка с учетом: коэффициентов приведения по Левашеву (базовый вариант); технического состояния транспортных средств; ровности проезжей части; второго и третьего. Главным критерием сравнения принята суммарная задержка транспортных средств перед перекрестком, которая оказалась меньше чем в базовом варианте.

Ключевые слова: регулируемый перекресток, светофорный цикл, суммарная задержка, техническое состояние транспортных средств, ровность проезжей части.

Annotation. Comparative results of modeling of isolated signalized intersection functioning were given with taking into account: the passenger car equivalent according to Levashev (basic version); technical condition of vehicles; smoothness of carriageway; second and third. The total delay of vehicles before the intersection was chosen as the main criterion in comparison, and it was less than delay at the basic version.

Key words: signalized intersection, traffic light cycle, the total delay, technical condition of vehicles, smoothness of carriageway.

Вступ

Проблеми з організацією дорожнього руху особливо стосуються великих міст, зокрема міст-мільйонників. Їх розвиток призводить до збільшення кількості населення і своєю чергою підвищення рівня автомобілізації. Зростає не лише відсоток індивідуальних транспортних засобів (далі – ТЗ), а й кількість маршрутних ТЗ (автобусів, тролейбусів, трамваїв), які за своїми тягово-гальмівними властивостями подекуди далекі від заводських. До цього варто додати не ідеальну вулично-дорожню мережу (далі – ВДМ), яка за своїми геометричними параметрами (рівністю, типами і якістю покриттів, кривими в плані) переважно не відповідає вимогам ДБН. Усе це та інше є причинами проблем з організацією руху.

Скрутною вважається ситуація з дорожнім рухом у вузлових пунктах ВДМ – перехрестях, особливо регульованих. У зв'язку з наведеним було сформульовано завдання щодо розробки (вдосконалення) методів розрахунку тривалості світлофорного циклу та його елементів, які б враховували різноструктурність транспортних потоків (далі – ТП), технічний стан його учасників, а також рівність проїжджих частин (далі – ПЧ) в околі перехрестя, яка у містах з історичною забудовою не завжди відповідає вимогам.

Аналіз досліджень і публікацій. Результатами наукових досліджень українських і закордонних вчених щодо впорядкування та оптимізації ТП у великих містах, які

проїжджають регульовані перехрестя, встановлено відповідні параметри руху ТП, які мінімізують у кінцевому результаті затримки ТЗ [1-5]. Однак серед усіх них не розглядається вплив на ці затримки нерівностей дорожніх покриттів і структури ТП, у складі яких тихохідні ТЗ (вантажівки, автобуси). Стартова тихохідність їх зумовлена, зазвичай, зношеністю конструктивних елементів (двигуни, трансмісія). Підтвердженням потреби дослідження впливу цих чинників на особливість проїзду ізольованих регульованих перехресть і встановлення затримок ТЗ, пов'язаних з проїздом їх, для великих міст є отримані нами результати попередніх досліджень [6-11] на прикладі ВДМ м. Львова. Це особливо стосується перехресть магістральних вулиць із другорядними, через які проїжджають з відносно високим відсотком міські рейсові автобуси і вантажівки. Якщо йдеться про визначення тривалості світлофорного циклу, то існуючі методики не враховують впливу на затримки цих чинників. Тому в результаті утворюються значні черги ТЗ перед перехрестям, зокрема на головному напрямку.

Мета роботи. Із врахуванням наведеного, у роботі досліджуються: вплив рівності дорожніх покриттів і технічного стану ТЗ на тривалості затримок транспортних потоків перед ізольованими регульованими перехрестями; порівняльні результати з результатами базового варіанту ТП, для якого світлофорні цикли розраховані за традиційною методикою.



Таблиця 1

Характеристика дослідів під час моделювання

Номер з/п	Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год	Склад ТП, який проїжджає перехрестя, %	Кількість смуг руху на напрямках, шт.
1	500x100	65 % – легкові, 35 % – автобуси (вантажні ТЗ)	1 на головному напрямку та 1 на другорядному (1x1)
2	500x200		
3	700x100		
4	700x200		
5	500x100	65 % – легкові, 35 % – автобуси (вантажні ТЗ)	2 на головному напрямку та 1 на другорядному (2x1)
6	500x200		
7	700x100		
8	700x200		
9	500x100	70 % – легкові, 35 % – автобуси (вантажні ТЗ)	1 на головному напрямку та 1 на другорядному (1x1)
10	500x200		
11	700x100		
12	700x200		
13	500x100	70 % – легкові, 35 % – автобуси (вантажні ТЗ)	2 на головному напрямку та 1 на другорядному (2x1)
14	500x200		
15	700x100		
16	700x200		

Основна частина

У дослідженні особливостей проїзду ТП різної структури (з урахуванням технічного стану тихохідних ТЗ) ізольованих регульованих перехресть із різними нерівностями (перед/на/після перехрестя чи вздовж всієї ділянки) використовувався програмний продукт VISSIM. Попередніми результатами моделювання такого проїзду лише з урахуванням рівності дорожнього покриття було визначено потоки насичення [7-8], а з урахуванням технічного стану ТЗ – відповідні коефіцієнти зведення до легкового автомобіля [11-12].

Початковими даними у цьому дослідженні були: структури та інтенсивності ТП, стартові прискорення ТЗ (яким враховувався технічний стан ТЗ), тривалість світлофорного циклу та дозвільного сигналу для відповідних напрямків руху ТП, зони обмеження швидкості. За базову модель проїзду ТП перехрестя бралися коефіцієнти зведення до легкового автомобіля за Левашевим [1] і потік насичення за Кременцем [13].

Транспортний потік базової моделі складався з легкових і вантажних ТЗ (маршрутні автобуси). У роботі [1] вантажні ТЗ відповідали вантажності більше 6 т або автобусам великої вмістимості, для яких коефіцієнт зведення $K_{зв}=1,647$. У цьому дослідженні у моделі регульованого перехрестя були зроблені такі обмеження: вантажні ТЗ рухаються лише на головному напрямку; заборонено ліві повороти з усіх напрямків, а правоповоротні потоки становлять 8 % від інтенсивності на від-

повідному напрямку; відсутні позовжні ухили на підході до перехрестя. Відповідно до цього, потік насичення виступав чинником, який залежить лише від ширини смуги руху [13]. У моделі ширина смуги руху на головному напрямку становила 5 м, а на другорядному – 3,5 м. Отже, потік насичення на смугах головного (магістрального) напрямку становив 2625 авт./год, на другорядному – 1920 авт./год.

Для усіх варіантів моделювання проїзду ТП перехрестя бралися тривалості світлофорних циклів рівні 65 с, які, як встановлено натурними дослідженнями, найхарактерніші для таких перехресть. Під час моделювання для різних варіантів руху ТП змінювались тривалості дозвільних сигналів на головному напрямі від 31 с до 52 с. Для перехресть з 1x1 смугами руху від 40 с до 52 с, а для 2x1 – відповідно 31-49 с. Необхідно зазначити, що при розрахунку зелених сигналів для умов врахування рівності ПЧ і технічного стану ТЗ, зокрема одночасного, для інтенсивностей 700 авт./год на головному напрямку і 100 авт./год на другорядному для 1x1 смуги руху вони виходили 53 с і 54 с відповідно. Отже, якщо тривалість перехідного сигналу в моделі є рівною 3 с, то час горіння дозвільного сигналу на другорядному напрямку за таких умов становитиме 5-6 с. Очевидно, що це суперечить вимогам щодо мінімальної тривалості зеленого сигналу, яка повинна бути не менше 7 с [13-15]. У зв'язку з цим за тривалості світлофорного циклу 65 с дозвільний сигнал повинен становити не більше 52 с.

Таблица 2

Визначення затримок ТЗ за результатами моделювання проїзду ТП через ізолюване регульоване перехрестя з 2х1 смуги руху

[illegible]

Таблиця 3

Оцінка ефективності роботи ізовольованих регульованих перехресть за показником скорочення тривалості сумарної затримки ТЗ

Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год	Сумарні затримки ТЗ на перехресті/для різних тривалостей зеленого світла головного напрямку, з урахуванням, с $\frac{\text{авт.}}{\text{год}}$: коefficientів зведення за Левашевим (база)				Скорочення/відсоток скорочення сумарних затримок ТЗ порівняно з базою, з урахуванням, с $\frac{\text{авт.}}{\text{год}}$: технічного стану ТЗ і рівності ПЧ			
	Кількість смуг руху на перехресті, шт	технічного стану ТЗ	рівності ПЧ	технічного стану ТЗ і рівності ПЧ	технічного стану ТЗ	рівності ПЧ	технічного стану ТЗ і рівності ПЧ	
Склад ТП на перехресті: 65% – легкові автомобілі, 35% – вантажні ТЗ (автобуси)								
$\frac{500 \times 100}{2 \times 1}$		$\frac{10330,0}{41}$	$\frac{9823,0}{42}$	$\frac{9167,0}{45}$	$\frac{8950,0}{46}$	$\frac{507,0}{4,91}$	$\frac{1163,0}{11,26}$	$\frac{1380,0}{13,36}$
$\frac{500 \times 200}{2 \times 1}$		$\frac{17494,0}{31}$	$\frac{16274,0}{33}$	$\frac{15775,0}{36}$	$\frac{15346,0}{38}$	$\frac{1220,0}{6,97}$	$\frac{1719,0}{9,83}$	$\frac{2148,0}{12,28}$
$\frac{700 \times 100}{2 \times 1}$		$\frac{12492,0}{45}$	$\frac{11880,0}{46}$	$\frac{11214,0}{48}$	$\frac{10922,0}{49}$	$\frac{612,0}{4,90}$	$\frac{1278,0}{10,23}$	$\frac{1570,0}{12,57}$
$\frac{700 \times 200}{2 \times 1}$		$\frac{21397,0}{36}$	$\frac{20196,0}{38}$	$\frac{18840,0}{41}$	$\frac{18480,0}{42}$	$\frac{1201,0}{5,61}$	$\frac{2557,0}{11,95}$	$\frac{2917,0}{13,62}$
Склад ТП на перехресті: 70% – легкові автомобілі, 30% – вантажні ТЗ (автобуси)								
$\frac{500 \times 100}{2 \times 1}$		$\frac{10622,0}{40}$	$\frac{9823,0}{42}$	$\frac{9313,0}{44}$	$\frac{9073,0}{45}$	$\frac{799,0}{7,52}$	$\frac{1309,0}{12,32}$	$\frac{1549,0}{14,58}$
$\frac{500 \times 200}{2 \times 1}$		$\frac{17339,0}{31}$	$\frac{16747,0}{32}$	$\frac{15420,0}{36}$	$\frac{15201,0}{37}$	$\frac{592,0}{3,41}$	$\frac{1919,0}{11,07}$	$\frac{2138,0}{12,33}$
$\frac{700 \times 100}{2 \times 1}$		$\frac{12818,0}{44}$	$\frac{12423,0}{45}$	$\frac{11075,0}{48}$	$\frac{10872,0}{49}$	$\frac{395,0}{3,08}$	$\frac{1743,0}{13,60}$	$\frac{1946,0}{15,18}$
$\frac{700 \times 200}{2 \times 1}$		$\frac{21087,0}{36}$	$\frac{20566,0}{37}$	$\frac{19069,0}{40}$	$\frac{18651,0}{41}$	$\frac{521,0}{2,47}$	$\frac{2018,0}{9,57}$	$\frac{2436,0}{11,55}$



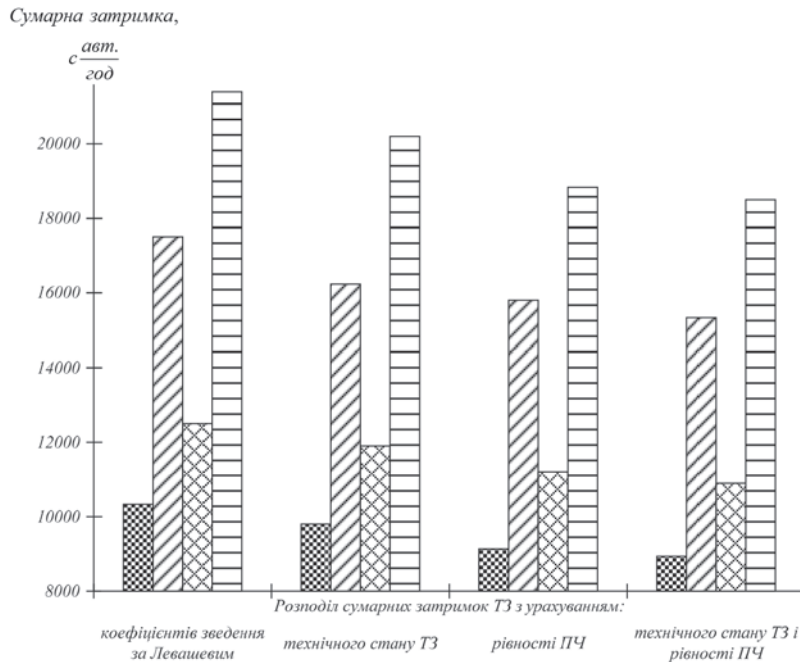


Рис. 1. Зміна сумарних затримок ТЗ перед регульованими перехрестями для смуг руху 2x1 та складу ТП 65 % – легкових, 35 % – вантажних (автобусів) із відповідними інтенсивностями руху (авт./год): \blacksquare – 500x100; \square – 500x200; \boxtimes – 700x100; \square – 700x200

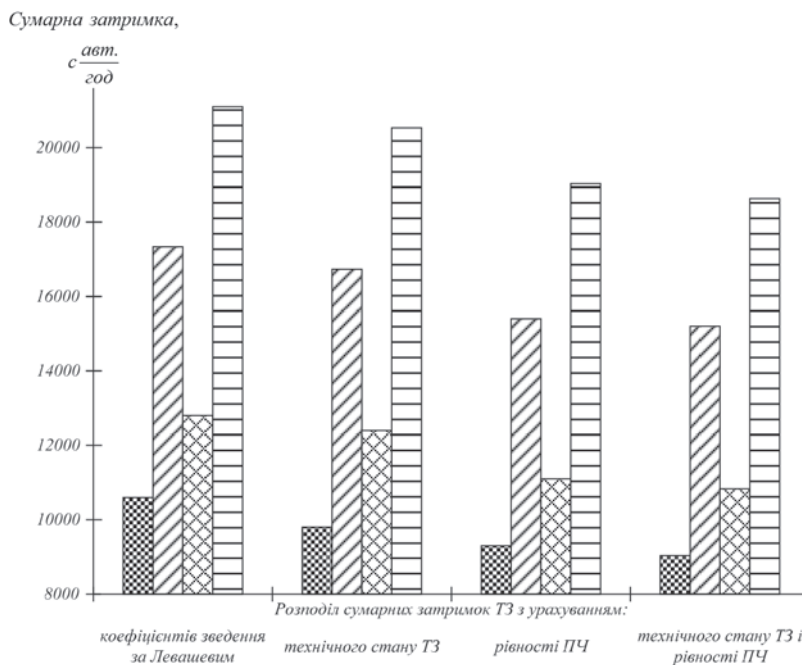


Рис. 2. Зміна сумарних затримок ТЗ перед регульованими перехрестями для смуг руху 2x1 та складу ТП 70 % – легкових, 30 % – вантажних (автобусів) із відповідними інтенсивностями руху (позначення аналогічні рис. 1)

Можливості програмного продукту VISSIM є такими, що дають змогу моделювати процеси проїзду за різноманітних варіантів інтенсивностей ТП, їх

манов з урахуванням технічного стану ТЗ тривалості скорочення сумарної затримки від $395 \frac{с \text{ авт.}}{год}$ до $1220 \frac{с \text{ авт.}}{год}$, а у відсотках досягається зниження сумарної

складу, тривалостей дозвільних сигналів, умов руху на перехресті тощо. У цьому дослідженні обмежились 16-ма варіантами дослідів (табл. 1), які найбільш характерні для досліджуваних перехрестів у м. Львові. Кожен із цих дослідів реалізовувався для чотирьох випадків з урахуванням відповідно: 1) коефіцієнтів зведення за Левашевим (база); 2) технічного стану ТЗ; 3) рівності ПЧ; 4) технічного стану ТЗ і рівності ПЧ. Якщо брати до уваги співвідношення інтенсивностей на головному та другому напрямках, то загальна кількість дослідів становила 256. В кожному з них виконувалося 6 імітацій тривалістю 4500 с. Програма моделювання дала змогу вивести на друк такі результати: сумарні та середні затримки для усіх 4 випадків.

Отримані результати для кожного з дослідів та імітацій зводились в окремі таблиці. Наприклад, результати моделювання для випадку 2x1 смуги руху та складу ТП – 65 % легкові автомобілі, 35 % – автобуси (вантажні ТЗ) наведено у табл. 2. Із метою аналізу отриманих результатів ці табличні дані систематизувалися з виведенням лише сумарних затримок ТЗ для різних тривалостей дозвільного сигналу й різних складів ТП та їх інтенсивностей. Для варіанту, коли перехрестя має 2x1 смуги руху результати наводились у такій формі (табл. 3). Під сумарними затримками ТЗ, розрахованими з урахуванням інтенсивностей ТП потрібно розуміти, що це кількість секунд, які припадають на ТП відповідної інтенсивності – $\frac{с \text{ авт.}}{год}$.

Проїзд ТП через регульовані перехрестя з урахуванням коефіцієнтів зведення до легкового автомобіля за Левашевим (база) вказує не на чітко виражену тенденцію щодо зросту сумарних затримок ТЗ зі зростом інтенсивностей ТП. Такі ж тенденції спостерігаються і для варіантів моделювання з урахуванням технічного стану ТЗ, рівності ПЧ і технічного стану ТЗ і рівності ПЧ. Однак, якщо порівняти результати для трьох різних варіантів із базовим варіантом, то спостерігається чітко виражена тенденція скорочення сумарних затримок ТЗ. Для цих варіантів отримано з урахуванням технічного стану ТЗ тривалості скорочення сумарної затримки від $395 \frac{с \text{ авт.}}{год}$ до $1220 \frac{с \text{ авт.}}{год}$, а у відсотках досягається зниження сумарної



затримки від 2,47 % до 7,52 %. Те ж стосується для варіанту, коли враховується рівність ПЧ: сумарна затримка скорочується від $1163 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ до $2557 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$, у відсотках – від 9,57 % до 13,60 %. Тенденція зменшення сумарних затримок ТЗ зберігається і при врахуванні одночасного впливу технічного стану ТЗ і рівності ПЧ. Сумарна затримка в цьому разі зменшується від $1380 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ до $2917 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$, у відсотках – від 11,55 % до 15,18 %. Результати, що у табл. 3 наведені графіками (рис. 1, 2), з яких добре простежується тенденція скорочень сумарних затримок транспортних засобів.

Отримано також результати зменшення сумарних затримок ТЗ і у моделюванні роботи перехрестя з 1х1 смугами руху.

Висновки

Як свідчать результати моделювання різних структур та інтенсивностей руху ТП через ізольовані регульовані перехрестя, сумарні затримки, порівняно з базовим варіантом, скорочуються для різних варіантів для смуг руху 2 на магістральному і 1 на другорядному напрямках в межах – від $395 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ до $2917 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ (2,47-15,18 %); якщо враховувати лише технічний стан ТЗ – від $395 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ до $1220 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ (2,47-7,52 %); якщо враховувати лише рівність ПЧ – від $1163 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ до $2557 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ (9,57-13,60 %); якщо враховувати одночасно перше та друге – від $1380 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ до $2917 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ (11,55-15,18 %).

Тенденція скорочення сумарних затримок зберігається і для 1х1 смуги руху. В такому разі вони зменшуються – від $88 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ до $1319 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ (0,59-6,30 %); якщо враховувати лише технічний стан ТЗ – від $124 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ до $641 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ (0,81-2,92 %); якщо враховувати лише рівність ПЧ – від $88 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ до $1319 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ (0,59-5,46 %); якщо враховувати одночасно перше і друге – від $88 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ до $1156 \text{ с}_{\frac{\text{авт.}}{\text{год}}}$ (0,59-6,30 %).

Отримані результати засвідчують про потребу враховувати у визначенні тривалостей світлофорних циклів для ізольованих регульованих перехресть вплив технічного стану транспортних засобів і рівності проїжджих частин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Левашев А.Г. Повышение эффективности организации дорожного движения на регулируемых пересечениях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.10 “Эксплуатация автомобильного транспорта” / Алексей Георгиевич Левашев. – Иркутск, 2004. – 17 с.
2. Боярский С.Н. Повышение эффективности функционирования пересечений автомобильных дорог с высоким значением коэффициента загрузки движением: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 “Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте” / Сергей Николаевич Боярский. – Екатеринбург: 2014. – 117 с.
3. Денисенко О.В. Повышение эффективности расчета параметров цикла светофорного регулирования /

О.В. Денисенко // Вестник ХНАДУ. Вып. 47. – Харьков: 2009. – С. 104-107.

4. Єресов В.І. Комплексна оцінка ефективності світлофорного регулювання на перехрестях / В.І. Єресов, О.В. Христенко // Вісник НТУ. – К.: 2009. – № 19, ч. 2. – С. 72-77.

5. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения. В 2 частях / Ю.А. Врубель. – Минск: БНТУ, 1996. – 634 с.

6. Формальчик Є.Ю. Вплив нерівностей дорожніх покриттів на швидкість проїзду регульованих перехресть / Є.Ю. Формальчик, В.В. Гілевич // Праці 10-го міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2011. – С. 326-327.

7. Формальчик Є.Ю. Вплив швидкості проїзду регульованого перехрестя на інтенсивність потоку насичення / Є.Ю. Формальчик, І.А. Могила, В.В. Гілевич // Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник. – Харків: ХНАМГ, 2012. – № 103. – С. 355-366.

8. Fornalchik Ye. The saturation flow volume as a function of the intersection passing speed / Ye. Fornalchik, I. Mohyla, V. Hilevych // International Scientific Journal “Transport Problems”. – 2013. Volume 8. – Issue 3. – P. 43-51.

9. Формальчик Є.Ю. Вплив технічного стану транспортних засобів на динаміку проїзду перехресть / Є.Ю. Формальчик, В.В. Гілевич // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2011. – № 3/4 (51). – С. 4-6.

10. Формальчик Є.Ю. Взаємозв'язок між технічним станом автобусів та їх розгінними швидкостями під час проїзду перехресть / Є.Ю. Формальчик, В.В. Гілевич // Автошляховик України: науково-виробничий журнал. – К.: ДСАДУ (Укравтодор), 2013. – № 6. – С. 5-7.

11. Fornalchik Ye. The influence of dynamic characteristics of vehicles on the passenger car equivalent and traffic delay / Ye. Fornalchik, I. Mohyla, V. Hilevych // An International Quarterly Journal “ECONTECHMOD”. – 2015. Vol. 4. – No. 2. – P. 45-50.

12. Гілевич В.В. Вплив змін динамічних характеристик транспортних засобів на значення коефіцієнтів зведення / В.В. Гілевич, І.А. Могила // Тези доповідей Всеукраїнської науково-теоретичної конференції “Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання”. – Львів: НУЛП, 2015. – С. 27-29.

13. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ “Академкнига”, 2005. – 279 с.

14. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / [О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В.І. Єресов та ін.]; за заг. ред. В.П. Поліщука. – К.: Знання України, 2012. – 467 с.

15. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 216 с.