

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

На правах рукопису

ГІЛЕВИЧ ВОЛОДИМИР ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 656.051

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ З
ЖОРСТКИМИ СВІТЛОФОРНИМИ ЦИКЛАМИ

05.22.01 – транспортні системи

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Форнальчик Євген Юліанович
доктор технічних наук, професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02
_____ В.І. Каськів

Львів – 2016

ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРИВАЛОСТІ ПРОЇЗДУ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ	11
1.1 Методи та моделі розрахунку транспортних затримок на регульованих перехрестях	11
1.2 Методи та моделі розрахунку потоку насичення	22
1.3 Моделі визначення коефіцієнтів зведення на регульованих перехрестях	28
1.4 Моделювання руху транспортних потоків через регульовані перехрестя	32
1.5 Методологія управління дорожнім рухом у містах	36
1.6 Висновки з розділу	39
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАТРИМОК ТА ПОТОКІВ НАСИЧЕННЯ	40
2.1 Аналіз типів регульованих перехресть та вибір серед них з жорсткими світлофорними циклами	40
2.2 Вибір впливових чинників	46
2.3 Формування теоретичної моделі для дослідження потоків насичення ..	54
2.4 Висновки з розділу	61
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	62
3.1 Методика виконання натурних досліджень на ВДМ міста та опрацювання їх результатів	62
3.1.1 Результати обстеження міської ВДМ	62
3.1.2 Методика дослідження розгінних швидкостей АТЗ з різними кумулятивними пробігами	79

3.2	Методика виконання теоретичних досліджень з використанням моделювання в середовищі VISSIM	89
3.3	Висновки з розділу	94
РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ		
	ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОЇЗДУ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ	95
4.1	Результати досліджень впливу нерівностей дорожніх покриттів на потоки насичення	95
4.2	Оптимальні варіанти інтенсивності проїзду регульованих перехресть ..	102
4.3	Розрахунок економічного ефекту від оптимізації тривалості світлофорного циклу	114
4.4	Висновки з розділу	119
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	121
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	123
	Додаток А. Перелік регульованих перехресть з жорсткими світлофорними циклами та характеристика рівності їх покриттів.....	138
	Додаток Б. Результати натурних досліджень параметрів транспортних потоків, які проїжджають регульовані перехрестя з жорсткими світлофорними циклами	140
	Додаток В. Результати натурних досліджень динаміки проїзду регульованих перехресть автобусами LAZ-A183D1 з різними кумулятивними пробігами з використанням приладу SPRINT SG-2	142
	Додаток Г. Зміна тривалостей середніх затримок транспортних засобів у транспортному потоці перед регульованими перехрестями	145
	Додаток Д. Затримки транспортних засобів за результатами моделювання проїзду транспортних потоків через ізольовані регульовані перехрестя.....	161
	Додаток Е. Ефективність роботи регульованих перехресть за показником скорочення тривалості сумарної затримки транспортних засобів	163
	Додаток Ж. Перелік регульованих перехресть міста Львова, на яких можна оптимізувати тривалість світлофорного циклу із застосуванням розробленого алгоритму керування	164

Додаток И. Акт про впровадження результатів дослідження у ЛКП «Львівавтодор».....	167
Додаток К. Акт про впровадження результатів дослідження у ДП ДПМ «Містопроєкт».....	168
Додаток Л. Акт про впровадження результатів дослідження у навчальний процес НУ «Львівська політехніка»	169

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВДМ – вулично-дорожня мережа;
ОДР – організація дорожнього руху;
ПЗ – пропускна здатність;
ПН – потік насичення;
ПЧ – проїзна частина;
РДП – рівність дорожнього покриття;
РП – регульоване перехрестя;
РШ – розгінна швидкість;
СФР – світлофорне регулювання;
СФЦ – світлофорний цикл;
ТЗ – транспортний засіб;
ТП – транспортний потік;
ЦПГ – циліндро-поршнева група.

$N_{зв}$ – зведена інтенсивність ТП;
 $P_{к.зн}$ – зниження тягової сили на ведучих колесах ТЗ;
 N_i – інтенсивність ТП на напрямку i ;
 $K_{зв}$ – коефіцієнт зведення;
 S – потік насичення;
 V_p – розгінна швидкість;
 x – ступінь насичення напрямку руху;
 d – транспортна затримка;
 $T_{ц}$ – тривалість СФЦ;
 $K_{н.п}$ – частка ТЗ з негативним потенціалом технічного стану.

ВСТУП

Актуальність теми. Різке зростання кількості транспортних засобів – ТЗ (автомобілі та автобуси), особливо автомобілів, на ВДМ нашої країни, яке відбулося за останнє десятиліття, призвело до появи низки проблем, пов'язаних з організацією дорожнього руху. Особливо відчутні наслідки автомобілізації в містах з радіально-кільцевою схемою ВДМ (історична забудова). Інтенсивне наповнення ТЗ вулиць і доріг з незмінними геометрично-планувальними параметрами призвело до утворення заторів і відповідно затримок їх перед перехрестями (зокрема регульованими) через наявність чинників, які здійснюють істотний негативний вплив на процес руху, не виправдано сповільнюючи його. Неврахування цього було б хибним.

Ріст рівня автомобілізації зумовив появу значної кількості ТЗ з високими швидкісними характеристиками. Але поряд з ними у ТП зустрічаються автомобілі з низькими показниками тягової та гальмової динамічності (маршрутні автобуси, вантажні автомобілі житлово-комунальних господарств і, які обслуговують будівельні майданчики, дорожню шляхову службу і такі інші) з фізично та морально застарілим рухомим складом.

Найбільші проблеми в дорожньому русі можна спостерігати на регульованих перехрестях. Існуючі методики розрахунку світлофорних циклів, розроблялися для ідеальних умов руху і вони не у повній мірі враховують: стан і якість дорожніх покриттів (природний знос і пошкодження їх, бруківка, яка часто неякісно викладена; наявність трамвайних колій, головки рейок яких виступають над рівнем покриття); склад ТП (поряд з легковими автомобілями рухається велика частка автобусів і вантажних автомобілів, у т.ч. зношених з низькими динамічними характеристиками); незначні відстані між перехрестями (ускладнюють можливість влаштування координованого регулювання); відсутність рівнозначної паралельної вулиці (унеможлиблює влаштування одностороннього руху). Все це призводить до утворення заторів, непродуктивних затримок, значних черг, транспортної втоми пасажирів та водіїв, загазованості в зоні перехресть.

Отже, потрібно враховувати перелічені чинники у розрахунках світлофорних циклів. Спираючись на це і виникла потреба у розв'язанні науково-прикладної задачі підвищення ефективності роботи ізольованих регульованих перехресть з жорстким світлофорним циклом на основі мінімізації затримок ТЗ, пов'язаних з проїздом регульованих перехресть, яка на сьогодні є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у рамках наукового напрямку кафедри «Транспортні технології» НУ «Львівська політехніка» та науково-дослідної роботи «Оптимізація параметрів вулично-дорожньої мережі і пішохідно-транспортних потоків та організації автомобільних перевезень» (номер державної реєстрації 0113U0013448), відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2020 року (схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р) та Концепції державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року (схвалена Постановою Кабінету Міністрів України від 25.03.2013 р., №294).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності роботи ізольованих регульованих перехресть з жорстким світлофорним циклом мінімізацією транспортних затримок з урахуванням складу та технічного стану транспортних засобів і дорожніх покриттів.

Задачі дослідження:

- провести аналіз методів і моделей з визначення потоків насичення і затримок, пов'язаних з проїздом перехресть;
- провести експериментальні дослідження на вулично-дорожній мережі міста, щодо встановлення фактичних значень миттєвих швидкостей транспортних засобів, інтенсивностей транспортних потоків, затримок в зоні перехрестя з оцінкою рівності дорожніх покриттів, розгінних швидкостей транспортних засобів з різними кумулятивними пробігами;
- вдосконалити алгоритми визначення коефіцієнтів зведення до легкового автомобіля та розрахунку потоків насичення;
- розробити алгоритми проїзду транспортними потоками різних інтенсивностей Х-подібних ізольованих регульованих перехресть

жорсткими світлофорними циклами та визначення затримок транспортних засобів;

- розробити методики визначення затримок транспортних засобів при проїзді регульованих перехресть з жорстким світлофорним циклом з урахуванням дорожніх умов.

Об'єкт дослідження – процес проїзду транспортними потоками ізолюваних регульованих перехресть з жорстким світлофорним циклом.

Предмет дослідження – закономірності змін тривалості затримок транспортних засобів, черг перед ізолюваними регульованими перехрестями, потоків насичення з урахуванням інтенсивності та структури транспортних потоків, ступеня зношеності транспортних засобів та проїзної частини.

Методи дослідження. Методи: теорії ймовірностей та математичної статистики; натурних досліджень вулично-дорожньої мережі міста та роботи регульованих перехресть; експериментальних досліджень рівності дорожніх покриттів та розгінних швидкостей транспортних засобів; імітаційного моделювання з використанням програмного продукту VISSIM для дослідження регульованих перехресть та визначення оптимальних режимів роботи світлофорних об'єктів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вперше розроблено алгоритм розрахунку потоків насичення, який на відміну від існуючих, враховує характеристики рівності дорожнього покриття в зоні перехрестя і дає змогу одержати скорочення затримок транспортних засобів на перехресті до 14 %;
- вдосконалено алгоритм визначення коефіцієнтів зведення до розрахункового (легкового) автомобіля при обґрунтуванні тривалості світлофорного циклу, з урахуванням технічного стану транспортних засобів, що дає змогу підвищити ефективність роботи ізолюваних регульованих перехресть.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений підхід до розрахунку потоків насичення дозволяє скоротити час на збір початкової інформації для розрахунку дозвільних сигналів у світлофорному циклі. Методика

оцінювання негативного потенціалу транспортних засобів враховуватиме в оптимізованих світлофорних циклах не тільки індивідуальні динамічні властивості окремих транспортних засобів, але й цілого транспортного потоку, що проїжджає регульоване перехрестя, яке може мати понаднормативні нерівності дорожніх покриттів. Застосування запропонованого методу розрахунку дозвільних сигналів у світлофорному циклі дасть змогу зменшити тривалості затримок транспортних засобів (середніх і сумарних) перед перехрестям на магістральному напрямку.

Розроблена методика визначення затримок транспортних засобів при проїзді регульованих перехресть з жорстким світлофорним циклом з урахуванням дорожніх умов впроваджена у ЛКП «Львівавтодор» та ДП ДПІМ «Містопроект». Методики експериментальних досліджень та моделювання проїзду перехресть з використанням програмного продукту VISSIM використовуються у навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» для підготовки магістрів спеціальності «Організація і регулювання дорожнього руху».

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно [24]. У спільних публікаціях автором встановлено вплив ступеня зношеності деталей циліндро-поршневої групи на розгінну швидкість транспортних засобів [103, 105, 106], а також нерівностей дорожніх покриттів на тривалість проїзду перехресть [102, 112, 115] виконано моделювання роботи регульованого перехрестя з використанням програмного продукту VISSIM та опрацьовано результати досліджень [107, 125] й визначено оптимальні за мінімізацією тривалості затримок транспортних засобів світлофорні цикли з урахуванням структури транспортних потоків, ступеня зношеності двигунів транспортних засобів та нерівностей дорожніх покриттів [124].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались та обговорювались на: Міжнародній науково-практичній конференції «Логістика промислових регіонів» (м. Донецьк, ДААТ, 2010 р.); на VIII міжнародній науково-практичній конференції «Устойчивое развитие городов.

Управление проектами и программами городского и регионального развития» (м. Харків, ХНАМГ, 2010 р.); на I Міжнародній конференції молодих вчених ЕМТ-2010 (м. Львів, НУ «ЛП», 2010 р.); на 10-му міжнародному симпозіумі українських інженерів-механіків у Львові (м. Львів, НУ «ЛП», 2011 р.); на міжнародній науково-практичній конференції «Транспортные проблемы крупнейших городов» (м. Харків, ХНАМГ, 2012 р.); на XX Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих учених і спеціалістів «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства» (м. Кременчук, КрНУ ім. М. Остроградського, 2013 р.); на 4-ї Міжнародній науково-технічній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій» (м. Львів, НУ «ЛП», 2014 р.); на LXXI науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (м. Київ, НТУ, 2015 р.); на Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання» (м. Львів, НУ «ЛП», 2015 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць, з них дві статті у закордонних журналах, які входять у наукометричну базу Scopus та Copernikus, 7 статей у фахових наукових виданнях України (одна одноосібно), а також 7 тез доповідей.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРИВАЛОСТІ ПРОЇЗДУ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ

1.1 Методи та моделі розрахунку транспортних затримок на регульованих перехрестях

Одним з найбільш вживаних критеріїв в оптимізації світлофорного регулювання є середня затримка ТЗ перед перехрестям [10, 33, 42, 48, 62, 70, 76, 83]. Це можна пояснити тим, що вона має чіткий фізичний зміст, відносно просто вимірюється і легко оцінюється в грошовому вимірі, що дозволяє розрахувати економічну ефективність запропонованих заходів [40, 76]. Також транспортна затримка є основним показником, який входить в поняття рівня обслуговування і яка використовується при оцінці необхідної довжини смуги руху перед перехрестям, потреби пального та викидів відпрацьованих газів [62].

Під транспортною затримкою на регульованому перехресті розуміють затримку, яка виникає в результаті зниження швидкості руху ТЗ за допомогою сигналів світлофора. Значення затримки, буде дорівнювати різниці між фактичним часом проїзду перехрестя та часом проїзду цього ж пересічення у вільних умовах без дії світлофорного регулювання (рис. 1.1) [60, 62].

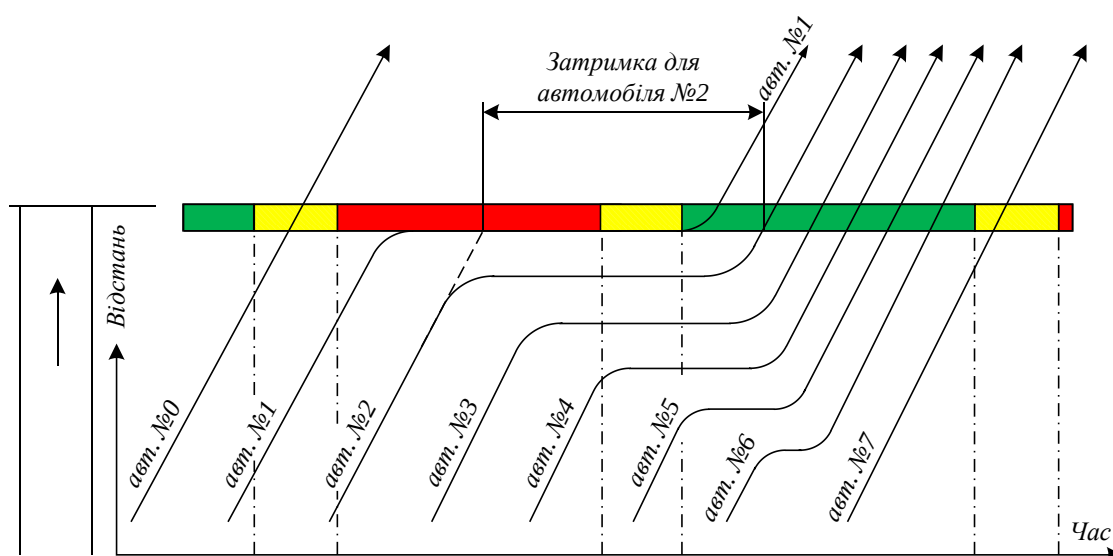


Рисунок 1.1 – Визначення транспортної затримки на регульованому перехресті

На практиці найчастіше використовується значення середньої затримки (d) одного ТЗ перед перехрестям. При спрощених розрахунках можна використовувати формулу, яка побудована на припущенні, що середня тривалість затримки буде дорівнювати половині періоду протягом якого заборонено рух [42, 57, 81], тобто:

$$d = \frac{T_u - t_3}{2}, \quad (1.1)$$

де T_u – тривалість світлофорного циклу, с;

t_3 – тривалість дозвільного сигналу світлофора, с.

Формула побудована на припущенні, що затримка автомобіля, який прибув до перехрестя на початку забороненого сигналу буде рівна тривалості цього сигналу, а якщо в кінці, то дорівнюватиме нулю. Співвідношення (1.1) можна використовувати у випадку рівномірного прибуття ТЗ до перехрестя. Таке можливо лише при щільних ТП [57].

Однак, коли розглядаються ізольовані регульовані перехрестя, то прибуття ТЗ до них є випадковим процесом. Формула, яка враховує випадковий характер ТП, вперше запропонував англійський вчений Вебстер [40, 49, 56-58, 62, 65, 76, 80, 102, 119, 123, 133]:

$$d = \frac{T_u (1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1 - x)} - 0,65 \left(\frac{T_u}{N^2} \right)^{1/3} x^{2+5\lambda}, \quad (1.2)$$

де λ – відношення тривалості зеленого сигналу до тривалості циклу;

x – ступінь насичення напрямку руху;

N – інтенсивність руху ТЗ в досліджуваному напрямку, од/с.

Перша складова формули представляє затримку при регулярному прибутті автомобілів до перехрестя, друга – випадковість даного процесу і пуассонівський характер прибуття ТЗ, третя складова – це емпірична поправка, яка підвищує

точність розрахунку середньої затримки і приблизно дорівнює 10% від значення отриманого за співвідношенням (1.2) [56-58, 62, 123, 133].

На практиці дуже часто використовують спрощений варіант формули Вебстера [18, 20, 42, 49, 57, 62, 73, 109, 112, 133], однак, при застосуванні комп'ютерної техніки краще брати співвідношення (1.2), вона дає більш точні результати [57].

Формула Вебстера лягла в основу експерименту, метою якого було знаходження значень циклу регулювання, які б мінімізували сумарну транспортну затримку. Одним з результатів виявилася залежність середньої затримки d умовного автомобіля біля ряду типових перехресть від тривалості світлофорного циклу. Цю залежність зображено на рис. 1.2 [76]. Аналогічні графіки залежностей між цими величинами наведені також в роботах [3, 62, 65, 127].

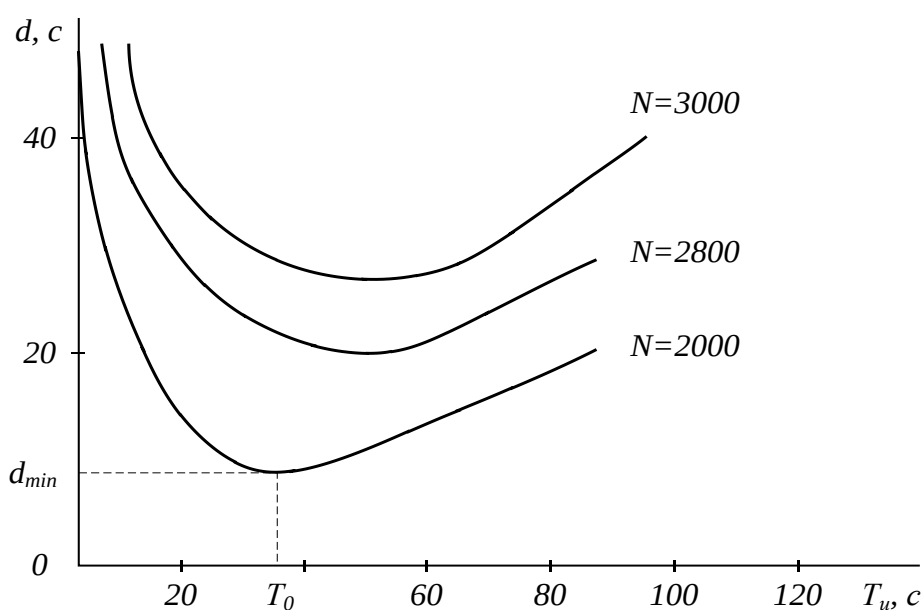


Рисунок 1.2 – Залежність середньої затримки транспортних засобів від тривалості світлофорного циклу

З наведеної залежності випливають наступні ключові висновки [76]:

- затримка має мінімальне значення в точці T_0 , яка відповідає оптимальному циклу світлофорного регулювання;
- зі збільшенням тривалості циклу відносно T_0 затримка зростає;

- зі зменшенням тривалості циклу відносно T_0 затримка також зростає;
- у діапазоні від $0,75T_0$ до $1,5T_0$ затримка перевищує мінімальне значення d_{min} не більше ніж на 10-15%.

Результати експериментальних і теоретичних досліджень затримок та швидкостей руху транспорту, виконаних Васильєвою Г.Ю. на магістральній ВДМ міст Києва, Горлівки і Краматорська дозволили отримати залежності між середньою затримкою ТЗ та тривалістю світлофорного циклу [13]:

$$d = 0,38T_u - 9,94. \quad (1.3)$$

Основним недоліком Вебстерівської методики є неможливість застосування її при щільних ТП, коли ступінь насичення напрямку руху $x \geq 1$, тому що в таких випадках вона дає нескінченні значення затримки. Ступінь насичення напрямку руху являє собою відношення середньої кількості ТЗ, які прибули до перехрестя за цикл до максимальної кількості ТЗ, які проїхали перехрестя за час горіння зеленого сигналу світлофора [56, 57] і визначається за формулою:

$$x = \frac{NT_u}{St_z}, \quad (1.4)$$

де S – потік насичення, од/с.

Проте, невідомо при якому значенні x формула (1.2) перестає давати адекватні результати. В літературі також немає однозначної відповіді на це запитання. Так, в роботі [9] сказано, що вона ефективно працює при $x \leq 0,8$, інші науковці [57] відзначають, що для забезпечення певного резерву пропускну здатності необхідно, щоб $x = 0,85 - 0,9$ (не більше). Білоруські вчені в своїх роботах [21, 34, 50] вказують на значення $x \leq 0,93$ (нормативно допустиме значення), після якого будуть спостерігатися перенасичені цикли і розпочне утворюватися затор. Хоча, ці ж науковці в попередніх своїх роботах [18] наводили

значення $x \leq 0,95$. А в роботах [3, 56], де протабульовано значення деяких величин формули (1.2), наводиться максимальне значення $x = 0,98$.

Вдосконаленням формули Вебстера займався Міллер. Він запропонував для визначення транспортної затримки на регульованому перехресті використовувати формулу [10, 40, 83, 128]:

$$d = \frac{T_u - \lambda}{2T_u(S - N)} \left(\frac{IS(2x - 1)}{N(1 - x)} + S(T_u - \lambda) + I - 1 + \frac{N}{S} \right), \quad (1.5)$$

де I – коефіцієнт варіації інтенсивності потоку (дорівнює відношенню середньоквадратичного відхилення до математичного сподівання кількості ТЗ, що прибувають за цикл до перехрестя) [10, 40, 41, 128].

Основною перевагою цієї формули є те, що її можна використовувати для розрахунку транспортних затримок при різних за характером прибуття ТП. Так, якщо ТП підпорядковується закону Пуассона $I = 1$, якщо ж потік є детермінованим – $I = 0$, у випадку стохастичного характеру – $0 < I < 1$ [40, 41].

Теж саме стосується і формули Ньюелла, що використовується з цією ж метою і також містить коефіцієнт варіації інтенсивності потоку [40, 130]:

$$d = \frac{t_u^2}{2(t_u + t_s)(1 - y)} + \frac{IH(\mu)}{2S} \left(\frac{t_s}{t_u + t_s} - y \right) + \frac{It_u}{2S(t_u + t_s)(1 - y)^2}, \quad (1.6)$$

де t_u – тривалість заборонного сигналу світлофора, с;

y – фазовий коефіцієнт даної фази (рівний відношенню інтенсивності ТП до потоку насичення);

$H(\mu)$ – інтегральна залежність Вінера-Хопфа [10, 40, 83], пов'язана з синтезом оптимальної передаточної функції каналу «інтенсивність-затримка» за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки [40].

Моделі Вебстера, Міллера, Ньюелла не враховують такі параметри, як тривалість пікового періоду або величини перевантаження і тому не можуть бути використані при високих значеннях ступеня насичення фази та фазового коефіцієнта [119].

Зі збільшенням інтенсивності руху ТП, особливо в «час-пік», перед регульованими перехрестями з магістральними вулицями починають утворюватися черги ТЗ. Наступає момент коли протягом досить тривалого періоду часу присутні перенасичені світлофорні цикли ($x \geq 1$). В такому разі, вчені з Білоруського НТУ [18, 20, 21, 34, 50, 85, 119] пропонують питому транспортну затримку розраховувати за формулою Брілона і Ву:

$$d = \frac{T_u(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{N_0}{S\lambda}, \quad (1.7)$$

де N_0 – середня довжина черги перед перехрестям у «час-пік», авт.

Її можна визначити користуючись співвідношеннями:

при $x < 1,14$:

$$N_0 = 524T_0S\lambda \left(1,09x - 1 + \sqrt{(1,09x - 1)^2 + \frac{1,09x - x_0}{175S\lambda}} \right), \quad (1.8)$$

при $x \geq 1,14$:

$$N_0 = 900T_0S\lambda \left(x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{x - 0,92x_0 - 0,08}{300S\lambda}} \right), \quad (1.9)$$

де T_0 – тривалість пікового періоду (визначається експериментально), год/добу;
 x_0 – значення коефіцієнта x , вище якого будуть спостерігатися перенасичені цикли:

$$x_0 \approx 0,67 + \frac{M_n \lambda T_y}{600}. \quad (1.10)$$

Інші іноземні дослідники [132] стверджують, що затримка однієї транспортної одиниці залежить від тривалості червоного сигналу, інтервалів прибуття ТЗ і часу приведення в рух черги та пропонують формулу [42, 68]:

$$d = t_y - \frac{\psi(2i-1)}{2} + \sum_{x=1}^i D_x, \quad (1.11)$$

де ψ – середнє значення часового інтервалу прибуття ТЗ до стоп-лінії, с;

$i=1,2,...,n$ – порядковий номер ТЗ в черзі;

D_x – інтервал часу відправлення автомобілів при виїзді на перехрестя (для легкових автомобілів $D_x = 2,1$), с [68].

Російський вчений Поляков А.А. запропонував для визначення середньої тривалості затримки ТЗ в зоні перехрестя використовувати співвідношення, яке враховує рух всіх автомобілів (включно і тих, що проїхали без зупинки) [81]:

$$d = \frac{(t_{y-ж} + 2,5)^2}{2T_y(p-q)}, \quad (1.12)$$

де $t_{y-ж}$ – сумарна тривалість сигналів (червоного та двох жовтих), які забороняють рух в досліджуваному напрямку, с;

p – середній інтервал між розрахунковими зведеними ТЗ, які підходять до перехрестя по одній смузі руху проїжджої частини для цього ж напрямку, с;

q – середній інтервал між автомобілями, які виїжджають на перехрестя, с.

Враховуючи передумови, закладені в формулу (1.12), Живоглядів В.Г. в своїй роботі [42] пропонує дещо вдосконалену емпіричну формулу для визначення тривалості затримки ТЗ біля стоп-лінії регульованих перехресть.

Одна з перших формул для розрахунку транспортної затримки, яка найбільш точно враховувала умови руху на регульованому перехресті, була наведена в американській інструкції з пропускної здатності доріг (HCM 1994 – Highway Capacity Manual) [58, 62, 132]:

$$d = d_1(DF) + d_2, \quad (1.13)$$

$$d_1 = 0,38T_u \frac{(1-\lambda)^2}{1-\lambda}, \quad (1.14)$$

$$d_2 = 173x^2 \left((x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{m}{P}x} \right), \quad (1.15)$$

де d_1 – затримка, яка враховує рівномірне прибуття ТЗ до перехрестя, с/зв. од.;
 DF – коригуючий коефіцієнт, який враховує прогресію ТП і режим світлофорного регулювання (для жорсткого регулювання $DF = 1$);
 d_2 – додаткова затримка, яка враховує випадковий характер прибуття ТЗ, при цьому, допускається, що величина початкової черги рівна нулю, с/зв. од.;
 m – додатковий калібруючий коефіцієнт, який враховує тип прибуття і утворення пачок в ТП (для випадкового прибуття $m = 16$);
 P – пропускна здатність смуги руху, зв. од./год.

Параметр d_1 подібний до першої частини формули (1.2) і часто зустрічається в розрахунках затримок при умові рівномірного прибуття однорідного ТП. Відмітимо, що цей параметр коректний лише коли рівень завантаження (ступінь насичення) менше одиниці ($x < 1$). Другий параметр d_2 аналогічний другій частині формули Вебстера і враховує затримки пов'язані з випадковим характером прибуття ТЗ.

Ще одна формула, яка використовується при визначення транспортної затримки, наведена в канадській інструкції з пропускної здатності регульованих

перехресть (CCG 1995 – Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections) [58, 62, 132]. У наведеній інструкції моделі не відрізняють стоп-затримки (стоп-затримка – затримка ТЗ при зниженні його швидкості менше 5км/год) від загальних затримок, тоді коли в HCM 1994 передбачається, що 76% всіх затримок складають саме стоп-затримки. Тому в CCG 1995 наявні емпіричні коефіцієнти, які дозволяють зі загальних затримок виділити стоп-затримки [58]. Оцінка стартових втрат часу актуальна у випадку застосування коротких фаз. Значення втраченого часу при старті по даних різних авторів коливається в межах від 0,8 с до 4,5 с. Такий широкий діапазон значень свідчить про різні умови руху на регульованих перехрестях в тих країнах, де проводилися дослідження [62].

В спеціальній літературі відмічається, що модель CCG 1995 аналогічна до моделі HCM 1994. Проте, необхідно враховувати, що моделі канадської інструкції оцінюють загальні затримки, тоді як (1.14) і (1.15) – стоп-затримки. Крім цього, в HCM 1994 ТП враховується в натуральних показниках (авт./год), в той час як в CCG 1995 в зведених (зв. од./год), і також в цих інструкціях по різному розраховується потік насичення (в HCM 1994 його значення в середньому на 5 % вище в порівнянні з CCG 1995) [60].

Крім цього існують американські інструкції щодо визначення пропускної здатності HCM 2000 і вони найточніше відповідають сучасній методиці проектування і оцінки регульованих перехресть, у тому числі й визначення транспортних затримок [2, 58, 61, 62, 127,]. Наведена тут модель подібна до моделі CCG 1995. Відмінність становлять: наявність додаткової змінної d_3 , застосування фізичних показників, які визначають значення потоку замість зведених та використання періоду спостереження в годинах, а не в хвилинах [58]. Коефіцієнт прогресії PF повинен використовуватися для всіх координованих груп руху при відсутності адаптивного регулювання. В першу чергу цей коефіцієнт впливає на значення стандартної затримки, тому і використовується лише в її розрахунку. Поправочний коефіцієнт для додаткової затримки k враховує вплив типу контролера системи адаптивного регулювання на величину додаткової затримки. Для жорсткого регулювання параметр $k = 0,5$, що пов'язано

з процесом накопичення черги з випадковим прибуттям ТЗ і постійним часом обслуговування. Коефіцієнт, який враховує віддаленість попереднього перехрестя I для додаткової затримки враховує ефект «фільтрації» ТП, що прибуває від попереднього (по напрямку руху) перехрестя. У випадку ізольованого перехрестя – $I=1,0$ (за умови, що попередній світлофор розташований на відстані 1,6 км і більше від досліджуваного). У разі, коли всі автомобілі не встигли роз'їхатися за час горіння зеленого сигналу, виникає додаткова затримка d_3 . Тому що, при наступному ввімкненні дозвільного сигналу, необхідний певний проміжок часу для роз'їзду попередньої черги. У випадку відсутності початкової черги значення додаткової затримки дорівнює нулю [62, 127].

Необхідно також зазначити, що на сьогоднішній день існує багато комп'ютерних програм імітаційного моделювання ТП, які дають змогу отримати значення середніх затримок ТЗ перед перехрестям залежно від вхідних початкових даних. Так у роботі [58] здійснено порівняльний аналіз значень транспортних затримок, отриманих з допомогою аналітичних залежностей за Вебстером, HCM 1994, CCG 1995, HCM 2000 та результатів моделювання руху ТП через ізольовані регульовані перехрестя з допомогою програмних продуктів VISSIM, AIMSUN, SYNCHRO та SIMTRAFFIC.

Початкові дані, які бралися у розрахунок по аналітичних залежностях та закладались в програми імітаційного моделювання, такі: кількість смуг руху на перехресті – 1х1, потік насичення – 1800 зв. од./год, двохфазний світлофорний цикл ($T_{\text{ц}} = t_z + t_{\text{жс}} + t_{\text{ц}} + t_{\text{жс}} = 30 + 2 + 30 + 2 = 64$ с), ТП складається лише з легкових ТЗ. У роботі [58] наведено порівняльні результати, отримані за допомогою моделювання (табл. 1.1) та розрахунковим методом (табл. 1.2).

За результатами порівняльного аналізу аналітичних моделей HCM 2000, CCG 1995 та формули Вебстера можна стверджувати, що при малонасиченому ТП затримки мають приблизно однакові результати. Наприклад, при ступені насичення $x \leq 0,2$ розкид значень не перевищує 2,5 %, а при $x \leq 0,4$ – не більше 6 %. Разом з тим, затримки по методиці HCM 1994 занижені, особливо при ступені насичення $x \geq 1,0$, а формула Вебстера взагалі перестає працювати.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз розрахунку транспортних затримок за програмами мікромоделювання

Програми моделювання	Ступінь насичення напрямку руху x						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
VISSIM	10,9	11,2	11,4	11,7	13,8	10,3	15,5
AIMSUN	7,4	8,4	11,2	11,3	15,7	15,5	17,8
SYNCHRO	10,0	10,8	11,8	12,9	14,4	16,3	18,9
SIMTRAFFIC	9,6	8,6	11,1	12,1	13,1	15,2	18,9
Програми моделювання	Ступінь насичення напрямку руху x						
	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
VISSIM	14,2	14,8	17,7	20,9	28,4	52,9	86,8
AIMSUN	16,7	19,7	25,7	30,5	102,2	165,2	199,0
SYNCHRO	23,8	32,5	50,8	82,4	121,8	164,6	207,0
SIMTRAFFIC	26,0	30,2	92,3	449,0	675,0	1046	1264

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз розрахунку транспортних затримок за аналітичними моделями

Аналітичні залежності	Ступінь насичення напрямку руху x						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Вебстер	9,7	10,4	11,3	12,5	13,8	15,7	18,4
HCM 1994	9,6	10,2	10,9	11,8	12,8	14,1	15,8
CCG 1995	9,7	10,4	11,3	12,5	13,8	15,7	18,3
HCM 2000	7,2	7,6	8,0	8,6	9,3	10,4	12,0
Аналітичні залежності	Ступінь насичення напрямку руху x						
	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Вебстер	22,9	35,0	∞	-	-	-	-
HCM 1994	18,6	24,4	48,6	121,0	200,0	294,0	379,0
CCG 1995	22,6	32,0	61,5	128,0	206,0	299,0	383,0
HCM 2000	14,8	20,9	37,1	73,0	126,0	207,0	300,0

Порівняльний аналіз програм моделювання також підтверджує найбільше розходження значень затримок при умові коли $x \geq 1,0$, а при малому значенні ступеня насичення напрямку руху вони залишаються приблизно однаковими. У зв'язку з цим необхідно було [58] вивчити і порівняти програми та алгоритми оцінки функціонування ізольованих регульованих перехресть при умові високого значення ступеня насичення напрямку руху.

1.2 Методи та моделі розрахунку потоку насичення

Визначальним параметром під час проектування та аналізу роботи регульованого перехрестя є потік насичення – це максимальний потік ТЗ з черги безкінечної довжини перед стоп-лінією, які рушають на дозвільний сигнал світлофора і проїжджають перехрестя упродовж цього сигналу. Він відображає вплив переривання ТП при світлофорному керуванні на його поведінку [107, 132]. На сьогодні існує низка формулювань поняття потоку насичення [108], окремі з яких зведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Формулювання поняття «потік насичення» за різними авторами

Формулювання	Автор (-и)	Рік публікації	Література
1	2	3	4
Усталена інтенсивність руху ТЗ через стоп-лінію із черги значної довжини	Вебстер	1966	[133]
Пропускна здатність смуги руху за безперервного руху зі швидкістю 15 км/год	Ланцберг, Ставничий та інші	1980	[88]
Середня за час горіння зеленого сигналу інтенсивність роз'їзду ТЗ через стоп-лінію при розсмоктуванні достатньо довгої черги	Врубель	1988	[19]

1	2	3	4
Максимальна інтенсивність роз'їзду черги при повністю насиченій фазі	Кременец	2005	[57]
Інтенсивність, з якою ТЗ, що стояли у черзі впродовж заборонного сигналу, перетинають стоп-лінію впродовж дозвільного сигналу	Teply, Allingham, Richardson, Stephenson	2008	[132]

Для наглядного розуміння поняття ПН, запропонованого Вебстером, розглянемо графік роз'їзду нескінченної черги ТЗ через стоп-лінію після увімкнення зеленого сигналу світлофора (рис. 1.3) [32, 59, 62, 67, 101, 133].

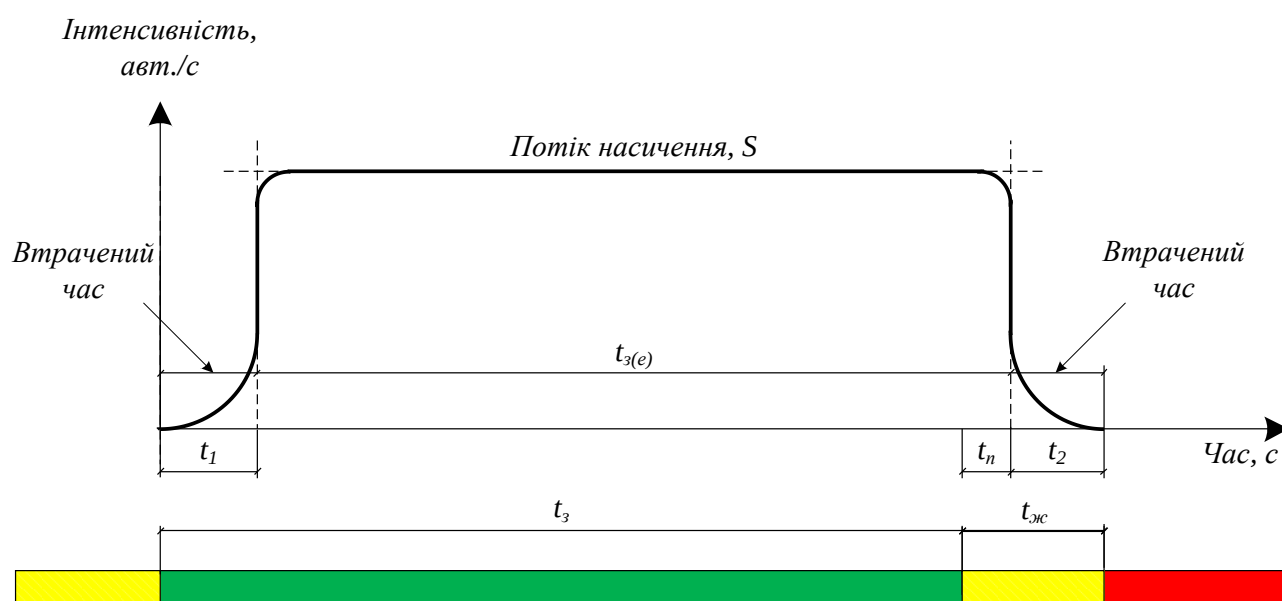


Рисунок 1.3 – Залежність «інтенсивність-час» для підходу до регульованого перехрестя у роботах Вебстера

Як видно з графіка, після вмикання зеленого сигналу світлофора ТЗ необхідний певний час t_1 для того, щоб рушити з місця і розвинути необхідну швидкість руху. Далше протягом декількох секунд черга ТЗ рухається з постійною максимальною інтенсивністю, яку прийнято вважати потоком

насичення S [67]. Під час увімкнення жовтого сигналу декотрі водії приймають рішення зупинитися в той час коли інші продовжують рух. В такому випадку можна замінити дійсну тривалість зеленого t_3 та жовтого сигналів $t_{ж}$ на «ефективну тривалість зеленого сигналу» $t_{3(e)}$, протягом якої здійснюється рух ТЗ з інтенсивністю, яка дорівнює потоку насичення, і на «втрачений час», протягом якого рух повністю відсутній [59, 62].

На сьогодні існує багато методик розрахунку потоку насичення. У різних країнах науковці розробляють свої підходи до визначення цього показника або займаються вдосконалення вже існуючих. Найточніше ПН можна виміряти безпосередньо на об'єкті дослідження, оскільки на нього впливають низка чинників (геометрично-планувальні параметри перехрестя, умови руху, схема пофазного роз'їзду тощо). Проте всі відомі методики вимірювання ПН вимагають значних затрат часу [57, 62, 127, 132]. Тому при проектуванні чи вдосконаленні режиму регулювання використовують значення ідеального ПН та коефіцієнти коригування, які враховують місцеві умови. Ідеальним ПН вважається потік, який існує за таких умов: ширина смуги 3,6 м, ухил підходу до перехрестя – 0‰, сухе покриття, відсутність перешкод, що створюються вуличними стоянками, зупинками громадського транспорту, відсутність конфліктуючих транспортних, велосипедних та пішохідних потоків, відсутність у потоці вантажних ТЗ та автобусів [127, 132].

Чинна вітчизняна методика розрахунку ПН є достатньо простою [28, 57, 67]. За цією методикою, базове значення ПН визначається з урахуванням ширини ПЧ за формулою:

$$S = 525B_{пч}, \quad (1.16)$$

де $B_{пч}$ – ширина ПЧ певного напрямку у відповідній фазі, м.

Формулу (1.16) можна застосовувати при $5,4\text{ м} \leq B_{пч} \leq 18,0\text{ м}$. У випадку меншої ширини проїжджої частини потік насичення приймають згідно табл. 1.4 [28, 57, 67].

Таблиця 1.4 – Значення потоку насичення залежно від ширини ПЧ

Ширина проїжджої частини, м	3,00	3,50	3,75	4,20	4,80	5,10
Потік насичення, авт./год	1850	1920	1970	2075	2475	2700

У разі наявності поздовжнього ухилу, радіусів заокруглень та розподілу ТЗ за напрямками руху ПН коригується відповідними поправочними коефіцієнтами. Інші параметри, що визначають умови руху (наявність пішоходів, вуличної стоянки, умови освітлення, тип і стан покриття тощо), враховуються одним додатковим коефіцієнтом [57].

Канадська методика розрахунку ПН передбачає визначення її базового значення окремо для кожної місцевості (штату) [132]. Наведені орієнтовні значення коливаються від 1665 авт./год (Фредеріктон) до 2100 авт./год (Калгарі). Для перехрестя, геометрично-планувальні параметри якого не відповідають ідеальним, ПН може бути скоригований за допомогою відповідних коефіцієнтів.

Коефіцієнти коригування відображають вплив геометрично-планувальних параметрів перехрестя (ширини смуг руху, поздовжнього ухилу, радіусу повороту, довжини додаткових смуг перед і за перехрестям), умов руху (зупинки громадського транспорту, вуличні стоянки, пішоходи) та параметрів регулювання (тривалість дозвільного інтервалу та схема пофазного роз'їзду).

Скоригований ПН визначається з урахуванням функції коригування потоку насичення $f(F_k)$, аргументами якої є відповідні коефіцієнти коригування [132]:

$$S = S_0 f(F_k), \quad (1.17)$$

де S_0 – базове значення потоку насичення, од/год.

Крім перелічених чинників, у цій методиці окремо враховується вплив кліматичних умов, стану проїзної частини та типу території [132].

Американська методика розрахунку ПН використовує поняття ідеального потоку насичення, який дорівнює 1900 авт./год для однієї смуги руху [32, 61, 62,

127]. Фактичний ПН, скоригований для місцевих умов, визначається за формулою:

$$S = S_0 n f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}, \quad (1.18)$$

де S_0 – ідеальний потік насичення, авт./год;

n – кількість смуг руху, шт.;

$f_w \dots f_{Rpb}$ – коефіцієнти, які враховують відповідно: ширину смуги руху; склад потоку; ухил на підході до перехрестя; паркування; перешкоди, що створюються зупинками громадського транспорту; тип території; використання смуг руху; ліві та праві повороти; пішохідний рух при лівому повороті; пішохідний та велосипедний рух при правому повороті.

Перелічені методики використовують поняття ідеального ПН. При цьому його значення є в межах 1700-2100 авт./год, що відповідає часовим інтервалам між ТЗ 1,7-2,1 с. Наявність таких інтервалів за максимальної інтенсивності руху підтверджується дослідженнями Кероглу, Калужського та Лобанова [64, 77]. Значення потоку насичення 1800-2560 авт./год підтверджуються натурними дослідженнями Akcelik та Besley [120].

Подальший розвиток методів розрахунку ПН зводився до вдосконалення вже існуючих підходів. Так, у роботах [28, 101, 117] науковці займалися дослідженням впливу радіуса повороту траєкторії руху ТЗ на потік насичення. Результати цих досліджень свідчать, що при радіусі повороту 40м і більше значення потоку насичення прирівнюється до прямолінійного руху [117], а при частці поворотних потоків на перехресті 60-70% значення ПН може знижуватися у 1,5-2,0 рази [101]. У роботі [16] наведено залежність ПН прямого напрямку руху від ширини проїжджою частини та частки вантажного транспорту у потоці. Розроблена модель дозволяє на 10 % уточнити розрахункове значення ПН порівняно з класичною методикою.

Українські вчені враховують склад ТП [67] та клас легкового автомобіля, який переважає в ньому [8], при визначенні ПН. Однак, таке припущення є не зовсім правильним, оскільки ПН є показником, який характеризує ВДМ, а не ТП. Більш вагомим результатом роботи [8] є те, що в ній запропоновано враховувати ймовірність появи певного виду ТЗ у ТП. Але, на нашу думку, це необхідно при розрахунку зведеної інтенсивності, а не значення ПН.

Потрібно зазначити, що жодна з наведених методик розрахунку ПН не враховує стан дорожнього покриття на перехресті та в околі нього. Проте, на практиці часто трапляються умови, які впливають на значення ПН: зчеплення шин ТЗ з дорогою, наявність перешкод на ПЧ (нерівності, вибоїни, трамвайні рейки тощо), підйоми або спуски, безконфліктні або конфліктні повороти.

Про те, що ці чинники потрібно враховувати при оптимізації тривалості світлофорних циклів свідчить наявність наукових публікацій, у яких вказується на таку потребу [19, 35]. У роботі [35] показано, що під час перетину трамвайних колій на перехресті з асфальтобетонним покриттям у незадовільному стані водії знижують швидкість до 20-30 км/год. При цьому ПН, порівняно з перехрестям з гумовокордовим покриттям трамвайного переїзду, знижується на 15 %. У розробленій моделі проїзду регульованого перехрестя враховується також структура ТП та автомобілі різних типів (легкові, вантажні, автобуси). Модель побудована з використанням серйозного математичного апарату та клітинкових автоматів, що обмежує сферу її застосування без використання потужної комп'ютерної техніки та відповідного програмного забезпечення.

Науковці з Білоруського національного технічного університету конкретніше розглядають вплив рівності ПЧ на значення ПН [18-19]. У методику розрахунку остатнього, яка відрізняється від вітчизняної, вони внесли коефіцієнт умов руху K_{yn} , що є добутком трьох часткових коефіцієнтів, які враховують: зчеплення колеса ТЗ з поверхнею дороги, K_{yn1} ; наявність перешкод на ПЧ – нерівності, вибоїни, трамвайні або залізничні рейки тощо, K_{yn2} ; підйоми та спуски, K_{yn3} . Значення коефіцієнта K_{yn2} , який враховує нерівності на ПЧ, наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Значення часткового коефіцієнта умов руху $K_{ун2}$, який враховує нерівності на ПЧ

Оціночний параметр	Розрахункове значення					
	Тип нерівностей	h, мм	10-20	20-50	50-100	>100
Нерівності на ПЧ	поодинокі	$K_{ун2}$	1,0	1,2	1,5	2,0
	такі, що повторюються	$K_{ун2}$	1,05	1,3	1,6	2,1

Наведені дані показують, що у розрахунках ПН нерівності ПЧ розглядаються у межах від 10 до більше ніж 100 мм. Якщо вони поодинокі, то коефіцієнт, який враховує ці нерівності може набувати значень 1,0-2,0; такі нерівності, що повторюються – значення цього коефіцієнта лежить в межах від 1,05 до 2,1.

1.3 Моделі визначення коефіцієнтів зведення на регульованих перехрестях

Ще одним, не менш важливим, показником, який входить у розрахунок фазових коефіцієнтів, а отже і тривалості зеленого сигналу для певного напрямку є інтенсивність руху. В роботах [19, 75] зазначено, що вона є найбільш важливим показником дорожнього руху, без якого не можна обійтись на жодній стадії робіт. Під інтенсивністю руху розуміють кількість ТЗ, що пройшла через поперечний переріз дороги за одиницю часу [3, 19, 52, 65, 68, 76, 81, 84, 116].

Однак, у складі ТП рухаються ТЗ різноманітних розмірів і тому вони будуть по інакшому впливати на інших учасників дорожнього руху. Через це у більшості інженерних розрахунків оперують не фізичним значенням інтенсивності, а зведеним до умовного легкового автомобіля (правда, не відомо, до якого – з якими габаритами, об'ємами циліндрів двигунів тощо) за допомогою відповідних коефіцієнтів зведення $K_{зв}$. Причому в різних країнах зведення здійснюють за різними критеріями. Так у США весь ТП ділять на дві категорії – легкові та

вантажні ТЗ, в Австралії один і той самий вантажний ТЗ може мати три коефіцієнти зведення (якщо він рухається транзитом – $K_{зв}=1,85$, при здійсненні безконфліктного повороту $K_{зв}=2,4$ та $K_{зв}=3,9$ – при конфліктному повороті), у Великобританії вантажні ТЗ малої вантажності прирівнюються до легкових ($K_{зв}=1,0$), великої – $K_{зв}=1,75$, автобуси – $K_{зв}=2,25$ і трамваї – $K_{зв}=2,5$ [19].

На сьогодні існує багато підходів до визначення коефіцієнта зведення, серед яких можна виділити такі: ті, що застосовуються у дослідженнях ТП на перегонах між перехрестями і ті, що використовують у розрахунках світлофорних циклів регульованих перехрестів з різними типами перетинів вулиць [62]. Числові значення коефіцієнта зведення прийняті в Україні наводяться у ДБН 2.3-4-2007 «Автомобільні дороги» [4], а для тролейбусів у ДБН В. 2.3-5-2001 «Вулиці та дороги населених пунктів» [22]. Ці нормативні акти не передбачають коефіцієнтів зведення для різних умов руху, а лише постійні значення для різних елементів дорожніх мереж. В їх основі лежить відношення динамічних габаритів ТЗ при русі на прогонах. Значення цих коефіцієнтів були виведені ще 30 років тому і тому не можуть адекватно відображати реалії сучасних умов руху. Багато вчених [19, 27, 31, 61, 62, 124] стверджують, що вони є неприйнятними, коли ідеться про розрахунок параметрів світлофорної сигналізації.

Починаючи з 60-х років минулого століття було проведено значну кількість досліджень спрямованих для визначення впливу різних типів ТЗ на пропускну здатність регульованого перехрестя. Так, наприклад у своїй роботі [133] Вебстер оцінював коефіцієнти зведення (personal car equivalents) для автомобілів великої і середньої вантажності. Загальне значення коефіцієнта зведення в його розрахунках було 1,75 [1, 60, 62].

Міллер [129] отримав значення коефіцієнта зведення для тих самих типів автомобілів рівне 1,85. При цьому, його дослідження базувалися на визначенні додаткового часу, необхідного для ТЗ даного типу, який долає перехрестя, порівняно з легковими автомобілями [1, 60, 62].

Бренстон визначив величину коефіцієнта зведення для вантажних автомобілів як 1,74 [121]. У пізнішій своїй роботі Бренстон визначає величину

коефіцієнтів зведення методом регресійного аналізу, досліджуючи рух ТП лише прямо. Відповідно до нього коефіцієнти зведення дорівнюють 1,35 для автомобілів середньої вантажності та 1,68 – великої [1, 60, 62].

Водночас дослідники Врубель Ю.А. (Республіка Білорусь) [19] та Сосін Я. (Республіка Польща) [131], використовуючи абсолютно різні теоретичні передумови та методики проведення досліджень, отримали майже однакові значення коефіцієнтів зведення [1, 60, 62], які відрізняються від ДБНівських, зокрема щодо мотоциклів та вантажних автомобілів (у них 0,6-1,6, ДБН 0,5-2,0), щодо автобусів – тролейбусів, відповідно – 1,7-2,0 та 3,0 (для тролейбусів не передбачено) [106].

Розглянемо докладніше моделі розрахунку коефіцієнтів зведення, запропоновані Сосіним Я. та Врубелем Ю.А. Сосін Я. [131] визначав інтенсивність руху у зведених до легкового автомобіля одиницях за відношенням сумарної затримки ТП D до середньої розрахункової затримки потоку, який складався лише з легкових автомобілів $d_{\text{лег}}$ [31, 60]:

$$f(k) = \frac{D}{d_{\text{лег}}} . \quad (1.19)$$

Співвідношення (1.19) розглядається, як лінійна функція [31, 60]:

$$f(k) = n_1 K_1 + n_2 K_2 + \dots + n_i K_i , \quad (1.20)$$

де n_i – кількість ТЗ i -го типу в потоці, шт.;

K_i – коефіцієнт зведення i -го типу ТЗ до легкового автомобіля (табл. 1.6).

Врубель Ю.А. визначив коефіцієнти зведення іншим методом [19]. Він розглядав співвідношення інтервалів між ТЗ i -го типу t_i при роз'їзді черги на зелений сигнал світлофора до таких же інтервалів при роз'їзді черги, яка складалася лише з легкових автомобілів $t_{\text{лег}}$ [19, 31, 51, 60].

Таблиця 1.6 – Коефіцієнти зведення до легкового автомобіля

Тип транспортного засобу	Коефіцієнти зведення до легкового автомобіля за даними різних авторів				
	Вебстер	Бренстон	Сосін	Врубель	ДБН В.2.3-4:2007
Мотоцикли	0,33	0,15	0,6	0,7	0,5-0,75
Вантажні ТЗ вантажністю:					
до 2 т	-	-	-	-	1,5
від 2 до 6 т	1,75	1,35	1,6	1,4	2
більше 6 т	1,75	1,68	-	-	2,5-3,5
Автопоїзди	-	-	2,8	2,3	3,5-6,0
Автобуси	2,25	1,65	1,7	2,0	3,0
Тролейбуси	-	-	-	2,0	-
Зчленовані автобуси (тролейбуси)	-	-	2,8	2,6	-

Аналізуючи наведені дані у табл. 1.6, необхідно зазначити відмінність значень коефіцієнтів зведення, отриманих різними авторами від ДБНівських. Це ще раз засвідчує потребу у використанні спеціальних коефіцієнтів зведення при розрахунку світлофорних циклів.

Сучасні науковці пропонують свої, відповідним чином обґрунтовані, коефіцієнти зведення, які, на їх думку, найбільш адекватно відображають теперішні транспортні потоки. Проте вони не враховують змін тягових і гальмівних властивостей ТЗ різних типів та термінів їх служби.

Спробу врахувати техніко-експлуатаційні характеристики ТЗ у визначенні коефіцієнтів зведення до легкового автомобіля наведено у [91], однак ця методика відноситься до прогонів доріг, а не до регульованих перехресть.

1.4 Моделювання руху транспортних потоків через регульовані перехрестя

Зараз існує і використовується надзвичайно багато методів моделювання руху ТП. Це пов'язано з різноманітністю задач, які розв'язуються з їх допомогою. У зв'язку з цим у моделях використовують різні підходи, які відрізняються математичним апаратом залежно від ступеня деталізації опису процесу руху [39, 53]. Через це і немає єдиної загальноприйнятої класифікації транспортних моделей [92]. Тому, різні вчені використовують власний поділ [5, 15, 23, 29, 53, 79, 92-94, 97, 118], який для конкретних досліджень є найбільш прийнятним.

Історично в моделюванні ТП склалося два основних підходи: детермінований та ймовірнісний (стохастичний) [23, 92, 93]. У детермінованих моделях розглядаються функціональні залежності між певними показниками ТП, а в стохастичних враховують його випадковий характер [93].

З іншого боку, якщо розглядати моделювання з точки зору конкретизації опису взаємодії ТЗ у ТП, то виділяють три класи моделей [5, 39]. Макроскопічні моделі описують рух ТЗ за аналогією з рухом рідини, тому інколи використовується назва гідродинамічні моделі. Їх перевага полягає в тому, що вони можуть бути представлені системою диференціальних рівнянь. У макромоделюванні описується взаємозв'язок між інтенсивністю, швидкістю і щільністю. У мікроскопічних моделях докладно описується поведінка та взаємодія між автомобілями, з яких складається ТП [5, 14, 39, 77, 92, 93, 118]. Такий підхід дозволяє отримати реальніший опис руху автомобілів, однак для їх розрахунку потрібна потужна комп'ютерна техніка [39, 92, 118]. До мікроскопічних також відносяться моделі, побудовані на клітинкових автоматах [5]. Проміжним рівнем між макроскопічними та мікроскопічними моделями є мезоскопічні (кінетичні). В них описуються окремі ТЗ, але без взаємодії між ними. Їх застосовують тоді, коли потрібно використати мікромоделювання, але неможливо для значних розмірів транспортної мережі [5, 39].

Очевидно, що моделі, які використовують для опису процесу руху ТЗ через регульовані перехрестя відносяться до мікроскопічного моделювання. До відомих моделей такого типу відносяться: модель слідування за лідером [5, 14, 92, 118]; модель оптимальної швидкості [5]; модель розумного водія [5, 6]; клітинкові автомати [5, 78, 92].

Тімофєєва і Заваліщин розглядають перехрестя з рухом транспортних засобів в один бік, як одноканальну модель систем масового обслуговування з обмеженою чергою [99]. На основі теорії ланцюгів Маркова складаються диференціальні рівняння Колмогорова, які розв'язуються з допомогою програмного забезпечення MathCad. В результаті встановлено, що ймовірності станів системи та середня довжина черги перед перехрестям можуть описуватися періодичними функціями. Зокрема, середня довжина черги ТЗ перед перехрестям наближається до періодичної функції і стабілізується, коли черга 3-8 автомобілів. У цій же статті вказується про неможливість визначення аналітичним методом оптимального режиму роботи перехрестя.

У зв'язку з цим визначено критерії роботи перехрестя:

- середня довжина черги перед включенням зеленого сигналу;
- ймовірність того, що на початок заборонного сигналу на перехресті немає ТЗ;
- ймовірність того, що довжина черги перед включенням зеленого сигналу буде більшою від наперед заданого значення.

Роботу такої системи досліджували з урахуванням залежності показників її функціонування від інтенсивності вхідного потоку та інтенсивності проїзду перехрестя.

Крім односмугового руху, розглядалась СМО для проїзду перехрестя з двох смуг [99]. В результаті встановлена залежність тривалості проїзду перехрестя від моменту часу, коли включений зелений сигнал. Незважаючи на достатньо глибокий аналіз і адекватне подання роботи перехрестя, оптимальних режимів його роботи та затримок ТЗ в черзі перед перехрестям, рекомендацій щодо

раціональних співвідношень між тривалістю окремих сигналів світлофорного циклу не наведено.

У пізнішій статті [43] ці ж автори розглядають роботу перехрестя, як СМО з урахуванням руху ТЗ за різними напрямками. Встановлені залежності середньої кількості ТЗ, які стоять для руху за різними напрямками. Стаціонарний режим роботи перехрестя досліджується з метою визначення оптимальних меж його функціонування. При цьому використовується матричне обчислення вектор-функцій. За критерій оптимальності розглядається сумарна середня кількість ТЗ, які очікують проїзду перехрестя.

Крім цього, окремо розглядається ситуація, коли у момент включення зеленого сигналу тривалість проїзду перехрестя не є постійною і зменшується в міру збільшення тривалості від моменту включення цього сигналу (відповідає дійсності у зв'язку з ростом швидкості ТЗ, які під'їжджають до стоп-лінії). Зроблено висновок про те, що залежність середньої тривалості проїзду перехрестя від тривалості зеленого сигналу апроксимується функцією $\theta(t) = a + be^{-kt}$. На підставі цього знайдені оптимальні тривалості світлофорного циклу залежно від інтенсивності надходження ТЗ до перехрестя: інтенсивність вхідних потоків (авт./с) λ – 0,2; 0,25; 0,3; 0,35. Відповідно для них оптимальна тривалість циклу (с) $T_{\text{ц}}$ – 46; 68; 86; 104.

Незважаючи на конкретні «оптимальні» результати отримані з використанням поглибленого математичного апарату теорії СМО, автори не розглядають стартових затримок для різних видів ТЗ (вантажні, легкові, автобуси), варіації швидкостей проїзду перехрестя ними, залежно від їх тягових характеристик (пов'язані з різними технічними станами ТЗ), а також з різними типами і технічним станом дорожніх покриттів. Крім цього, не розглядається тривалість простою в черзі перед перехрестям. Врахування усього переліченого безумовно матиме вплив на результати оптимізації проїзду перехрестя та обґрунтування оптимальних тривалостей світлофорних циклів.

Ще одним оригінальним підходом в моделюванні проїзду транспортного потоку через перехрестя є такий, який використовує стохастичні транспортні клітинкові автомати [35]. Він враховує стан дорожнього покриття та локальні швидкісні обмеження, як у зв'язку з нерівностями покриття, так і обмеженнями знаками дорожнього руху. Розглядається багатосмуговий рух з урахуванням «правил повільного старту і просторового випередження». Режим прискорення, гальмування, перевищення швидкості, випадкові впливи, розглядаються як випадкові процеси з відповідними межами значень їх ймовірностей. Моделювання проїзду транспортного потоку з такими характеристиками через регульовані перехрестя виконано з урахуванням «правил реагування на сигнали світлофора» та ймовірності появи пішоходів і тривалості їх переходу.

Серед інших публікацій, присвячених моделюванню проїзду перехресть, можна виділити [63], в якій розглядається регульоване перехрестя і визначається вплив черги перед світлофором на його пропускну здатність і на тривалість проїзду залежно від довжини черги транспортних засобів, які можуть проїхати за тривалість горіння дозвільного сигналу. При цьому, береться до уваги вплив потужнісних характеристик автомобілів та типу і якості дорожніх покриттів. Вплив потужнісних характеристик на динаміку проїзду оцінюють величиною середнього прискорення. Після цього визначають тривалість, необхідну для проїзду перехрестя з урахуванням положення автомобіля перед ним [63]:

$$t_{np} = \sqrt{\frac{(l_m + \Delta l_{cm}) n_{ij \max}}{j_{cp}}}, \quad (1.21)$$

де l_m – довжина перехрестя, м;

Δl_{cm} – відстань між автомобілями в черзі, м;

$n_{ij \max}$ – максимальна довжина черги ТЗ перед перехрестям, м;

j_{cp} – середнє прискорення ТЗ, м/с².

Залежності кількості тихохідних та швидкохідних транспортних засобів, які проїжджають перехрестя, від довжини черги перед ним – нелінійні. Однак, у роботі [63] прийнято лінійну апроксимацію (розбіжність 15 %).

Незрозуміло однак, яким чином врахована, крім динамічностей транспортних засобів, рівність дорожніх покриттів, як безпосередньо на перехресті, так і на підходах і після нього, яка впливатиме також на інтенсивність проїзду та довжини черг перед перехрестям.

1.5 Методологія управління дорожнім рухом у містах

За прийнятою «класичною» схемою методології управління дорожнім рухом у містах взаємодія між дорожніми умовами та транспортними потоками розглядається, як кібернетична система [96]. Ефективність управління дорожнім рухом розглядається з позиції забезпечення необхідної пропускну здатності ВДМ, оптимізації її за мінімумом дорожньо-транспортних витрат, за показником безпеки руху та за показником швидкості руху. У цьому дослідженні виділяється система «транспортний потік – автомобіль – перехрестя», у якій, основними елементами є перехрестя, транспортний потік та автомобіль (рис. 1.4).

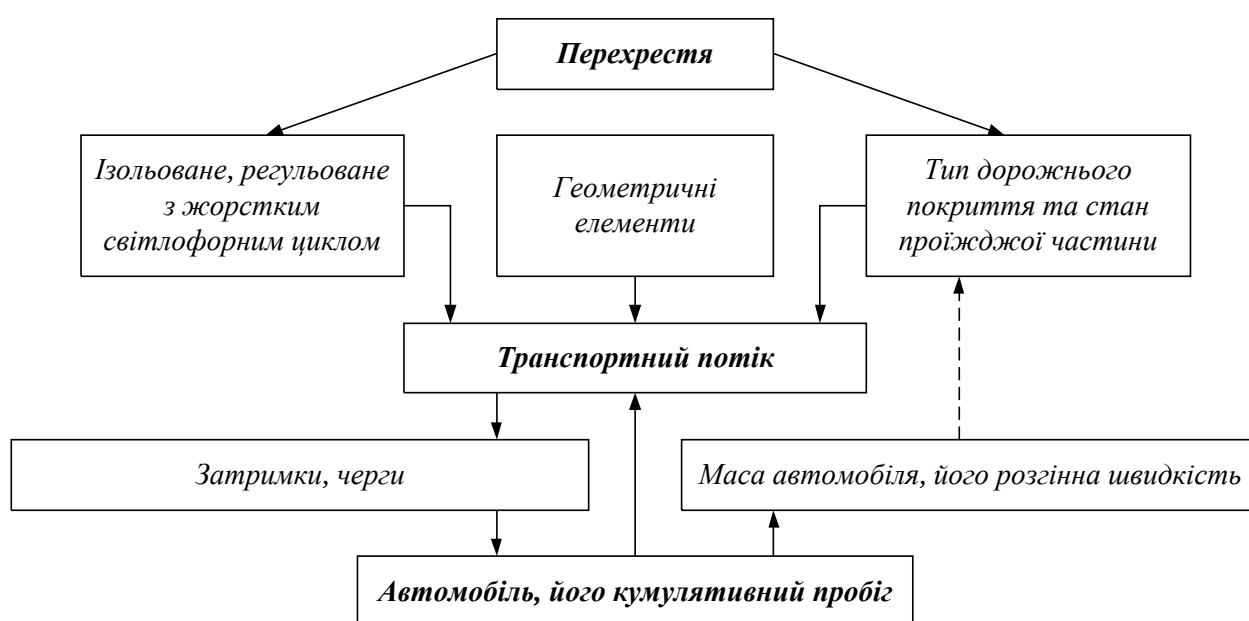


Рисунок 1.4 – Система «транспортний потік – автомобіль – перехрестя»

Є ряд публікацій [10, 38, 44, 47, 49, 69], які не повністю розкривають суть управління дорожнім рухом. На це звертає увагу Живоглядів В.Г. [42].

Управління дорожнім рухом, як відомо, надзвичайно складний процес, тим більше, якщо йдеться про таке управління транспортними потоками у великих містах. Найбільш проблематичною і до кінця не розв'язаною є проблема управління проїздом інтенсивних транспортних потоків через регульовані перехрестя. На сьогодні існує безліч наукових публікацій [9, 17, 54, 71, 74, 82], а також відповідних програмних продуктів (VISSIM, PARAMICS, AIMSUN, SISTM, SIDRA, FLEXSYT, DRACULA та інші), з використанням яких намагаються оптимізувати цей процес.

Якщо узагальнити усе, то можна вести мову про формування на сьогодні методології у дослідженнях проїзду транспортних потоків через регульовані перехрестя. Основу її становлять, на першому етапі, експериментальні натурні дослідження та їх результати, щодо структур потоків, інтенсивностей проїзду перехресть, затримок перед перехрестями та довжин черг, для різних типів (за геометрією та рядністю) перехресть. Майже у всіх дослідженнях, де використовуються різні математичні моделі та програмні продукти, витримується ця основа. Якщо ця основа береться за відправну точку, то наступним у методології дослідження вибирається (з урахуванням фізичної суті) відповідний математичний апарат, який адекватно відображає особливості його функціонування.

З розвитком комп'ютерної техніки і програмних продуктів для визначення основних параметрів проїзду перехресть, стало можливим швидко отримати їх, з урахуванням впливу на проїзд перехресть найрізноманітніших чинників, в тому числі і цих, діапазон числових значень яких зібрано натурними дослідженнями. Отримані результати моделювання дають змогу обґрунтувати тривалості світлофорних циклів за відповідними критеріями: мінімізація затримок перед перехрестям, обмеження довжини черги, потік насичення, екологічні показники перед та в зоні перехрестя.

Заслужують уваги, з цього приводу, роботи [54, 74]. За цільову функцію у задачі оптимізації проїзду регульованих перехресть, Колесніковим О.Є. обґрунтовано функціонал [54, 74]:

$$F = \sum_{(i,j) \in M} Z_{ij} \{ \Delta t_{0,i}, \Delta t_{0,j}, (T, t_{ж}, t_з)_i, (T, t_{ж}, t_з)_j, l_{ij}, V_{ij}, P_{ij} \} + \\ + \sum_{(k,j) \in M} R_{kj} \{ \Delta t_{0,k}, \Delta t_{0,j}, (T, t_{ж}, t_з)_k, (T, t_{ж}, t_з)_j, l_{kj}, V_{kj}, P_{kj} \} \quad , \quad (1.22)$$

де Z_{ij} і R_{kj} – сумарні затримки ТЗ за один цикл регулювання на прогоні з відстанню l_{ij} у прямому напрямку, а l_{kj} у зворотному напрямку, с;

$\Delta t_{0,m}$ – зсув циклу регулювання кожного світлофора, стосовно обраного нульового, $\{0 \leq \Delta t_{0,m} < T\}$, с;

T_u – тривалість циклу регулювання, с;

$t_{ж}, t_з$ – тривалість фаз жовтого та зеленого сигналів відповідно, с;

V – обмеження швидкості або рекомендована швидкість руху, км/год;

P – число рядів для руху транспорту;

M – множина номерів світлофорних об'єктів на магістралі.

Використаний функціонал є багатоекстремальним з нечутливістю до змін параметрів управління [74]. У зв'язку з цим автор застосував метод Монте-Карло та генетичні алгоритми, з використанням яких отримав адекватніші результати в управлінні транспортними потоками, які проїжджають регульоване перехрестя.

У пізнішій своїй роботі [55] Колесніков О.Є. враховує випадковий характер формування ТП та технічні характеристики ТЗ і визначає швидкість, час та розташування першого автомобіля після вмикання зеленого сигналу. Проїзд автомобілів через перехрестя враховує і безпечну відстань між ними. На підставі цих моделей визначено раціональну тривалість фаз світлофорного регулювання. У наведених моделях беруться до уваги розгінні характеристики різних легкових автомобілів, однак вони прийняті для прогонів, а не для перехресть.

1.6 Висновки з розділу

1. Серед проаналізованих наукових здобутків вітчизняних та закордонних дослідників у царині дослідження особливостей проїзду ТП через регульовані ізолювані перехрестя з визначенням критерію ефективності їх роботи не розглядається комплексний вплив на тривалість затримок ТЗ таких важливих для середніх та великих міст чинників як ступінь зношеності парків ТЗ (ріст кумулятивних пробігів), які характеризують їх розгінні швидкості, та рівність ПЧ.

2. Отримані результати матимуть прямий вплив на ПН і, як наслідок, на тривалості затримок ТЗ, які визначатимуться і мінімізуватимуться для магістральних ТП й виступатимуть як визначальний критерій у підвищенні ефективності роботи ізолюваних регульованих перехресть з жорстким циклом регулювання руху.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАТРИМОК ТА ПОТОКІВ НАСИЧЕННЯ

2.1 Аналіз типів регульованих перехресть та вибір серед них з жорсткими світлофорними циклами

На магістральних вулицях в час «пік» спостерігаються значні інтенсивності руху. У складі ТП можуть бути тихохідні ТЗ з низькими технічними характеристиками, що, з точки зору оптимізації режимів проїзду перехресть, ускладнює програмне забезпечення розв'язування відповідних задач. Усе це зумовлює потребу виконання дослідження на предмет визначення затримок ТЗ перед перехрестями, підвищення інтенсивності їх проїздів і на підставі його результатів – обґрунтування ефективних методів регулювання проїзду перехресть, узгодження їх роботи на всій довжині магістральних вулиць [102].

В останнє десятиліття, проблемами регулювання та моделювання дорожнього руху займалося багато вітчизняних та закордонних вчених. Основним критерієм приймається максимум пропускної здатності перехресть за рахунок зменшення негативного впливу різних чинників. Так, в [90] пропускну здатність однієї смуги руху на регульованому перехресті визначають з урахуванням тривалості зеленої фази світлофора, інтервалу часу між вмиканням зеленого сигналу світлофора та проїзду «стоп-лінії» першим автомобілем, середнього часового інтервалу між автомобілями при проїзді «стоп-лінії», а також тривалості циклу регулювання. Задля спрощення автор приймає, що всі автомобілі після вмикання зеленого сигналу світлофора, проїдуть перехрестя з однаковою швидкістю і рівними проміжками часу між ними. Відомо, що цього можна досягнути лише при координованому управлінні дорожнім рухом або на перехрестях з незначною інтенсивністю транспортного потоку [102].

Якщо через перехрестя разом з автомобілями рухаються трамваї, то розрахунок пропускної здатності однієї смуги виконується з урахуванням

інтенсивності їх руху та пришвидшень і їх довжини [11]. Тут не вказується про місце розташування трамвая у черзі перед регульованим перехрестям, не враховується стан дорожнього покриття і колій на перехресті та випадковий характер формування структури транспортного потоку [11].

У наведених залежностях, враховується достатньо велика кількість впливових чинників, серед яких визначальні: пропускна здатність смуги руху, інтенсивність руху транспортних засобів, їх швидкість, тривалість зеленої фази світлофора. Однак, не враховується ймовірнісна природа таких чинників як інтенсивність та швидкість руху окремих транспортних засобів у транспортних потоках, зумовлена їх технічними характеристиками, такими ж характеристиками типів та якості дорожніх покриттів, місцем розташування тихохідних та швидкохідних засобів у черзі перед світлофором, довжинами прогонів між ними.

Виходячи з аналізу досліджень, актуальною залишається проблема утворення черг перед регульованими перехрестями з негативними наслідками: незворотними втратами часу перевізниками та пасажирями, перевитратами палива, погіршенням екологічної ситуації. У розв'язанні її важливо враховувати вплив усіх можливих чинників: структури транспортних потоків; динамічні характеристики окремих транспортних засобів (автомобіль, автобус, трамвай, тролейбус); їх розташування перед «стоп-лінією» і напрямки руху; довжини черг перед перехрестями; довжини прогонів між перехрестями; геометричні параметри вулиць (ширина, кількість рядів, ухил); стан та якість їх покриттів; технічні засоби і методи регулювання проїзду перехресть; режими їх роботи. Розв'язання задач з оптимізації тривалостей проїзду регульованих перехресть з урахуванням сукупної дії усіх перерахованих чинників повинно починатися з магістральних вулиць, результати яких повинні стати початковою базою для вдосконалення режимів світлофорних об'єктів (для історичної частини міста), а також, в тому числі, і реконструкції ВДМ (для новобудов) [102].

У зв'язку з цим потрібно було дослідити інтенсивність транспортних потоків на магістральних вулицях м. Львова, які проходять через центральну та периферійну частини, зокрема на ділянках їх перехресть, оснащених

світлофорним регулюванням. Розглядалися два регульовані перехрестя магістральних вулиць Стрийської та Володимира Великого, а також вулиці районного значення (вул. Садова) з магістральною вулицею Кульпарківська [102].

Перше та друге перехрестя з дворядним двостороннім рухом та з тролейбусними лініями по вулицях Стрийській і Кульпарківській. Рух через ці перехрестя регулюється світлофорами з додатковими секціями, які працюють у жорсткому режимі. Дорожні покриття – асфальтобетонні з очевидними дефектами у вигляді місцевих нерівностей та вибоїн [102].

На перехресті вул. Стрийська – Володимира Великого встановлено, що миттєві швидкості транспортних засобів лежать в межах від 10 до 70 км/год. Такі великі межі швидкостей зумовлені різними динамічними характеристиками транспортних засобів, неякісним станом дорожнього одягу, а також психофізіологічним станом водіїв, досвідом їх праці. Розподіл часових інтервалів між транспортними засобами характеризується також значним розкидом – від 0,99 до 43,36 с (нестабільність інтенсивності транспортних потоків; різні динамічні властивості транспортних засобів, які рухаються в одному ряду; наявність світлофорних об'єктів, які формують пачкоподібний характер транспортного потоку). Як миттєві швидкості, так і інтервали між автомобілями за своєю природою є випадковими величинами і тому повинні опрацьовуватися на предмет визначення числових характеристик їх розподілів, узгодження з відповідними законами. Останні будуть класитися в основу імітаційних моделей дослідження роботи регульованих перехресть [102].

Гістограми та теоретичні криві розподілів миттєвих швидкостей (згідно з нормальним законом) та інтервалів між автомобілями для перехрестя вул. Стрийська – Володимира Великого наведені на рис. 2.1. Як видно з рисунка, розподіл часових інтервалів має складніший характер і з недостатнім ступенем узгодженості з експоненційним законом.

Числові характеристики розподілів цих величин: миттєва швидкість – математичне сподівання $M(V) = 35,44$ км/год; середнє квадратичне відхилення $\sigma(V) = 10,28$ км/год; коефіцієнт варіації $\nu_V = 29,01$ %; часові інтервали –

математичне сподівання $M(t) = 5,24$ с; середнє квадратичне відхилення $\sigma(t) = 5,93$ с; коефіцієнт варіації $\nu_t = 113,17$ % (табл. 2.1).

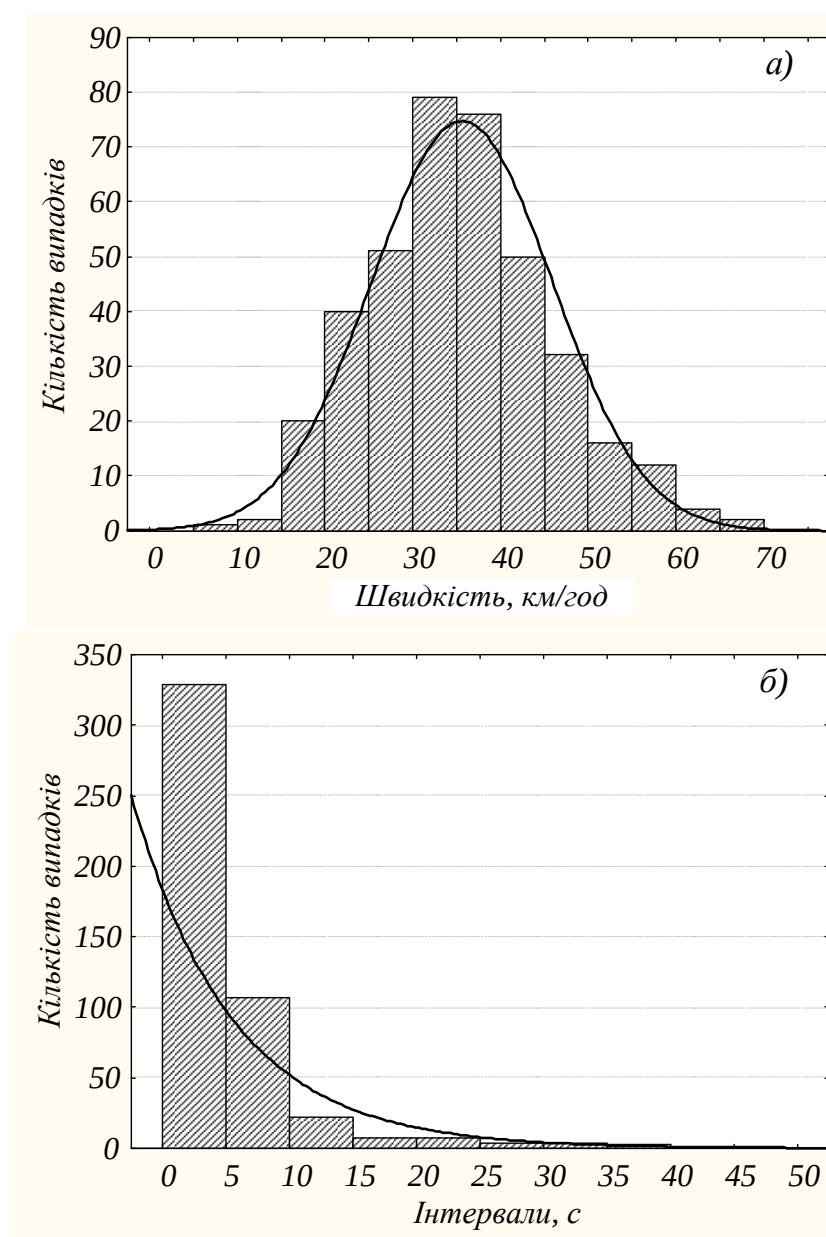


Рисунок 2.1 – Гістограми і теоретичні криві розподілів миттєвих швидкостей (а) та часових інтервалів між автомобілями (б) на перехресті вул. Стрийська – Володимира Великого

Результатами досліджень встановлено [102], що на перехресті вул. Кульпарківська – Садова миттєві швидкості лежать в межах 6-46 км/год. Такі невисокі значення швидкостей зумовлені низькою якістю дорожнього покриття та

наявністю у транспортному потоці великої частки тихохідних транспортних засобів. Розкид значень часових інтервалів між транспортними засобами лежить в межах від 0,65 до 9,01 с. Ці розбіжності пояснюються тим, що групи автомобілів, сформовані як черга перед світлофорами, не встигають розпастися, через незначні відстані між перехрестями (450-600 м). Гістограми і теоретичні криві розподілів миттєвих швидкостей та інтервалів між автомобілями підпорядковані нормальному закону (рис. 2.2).

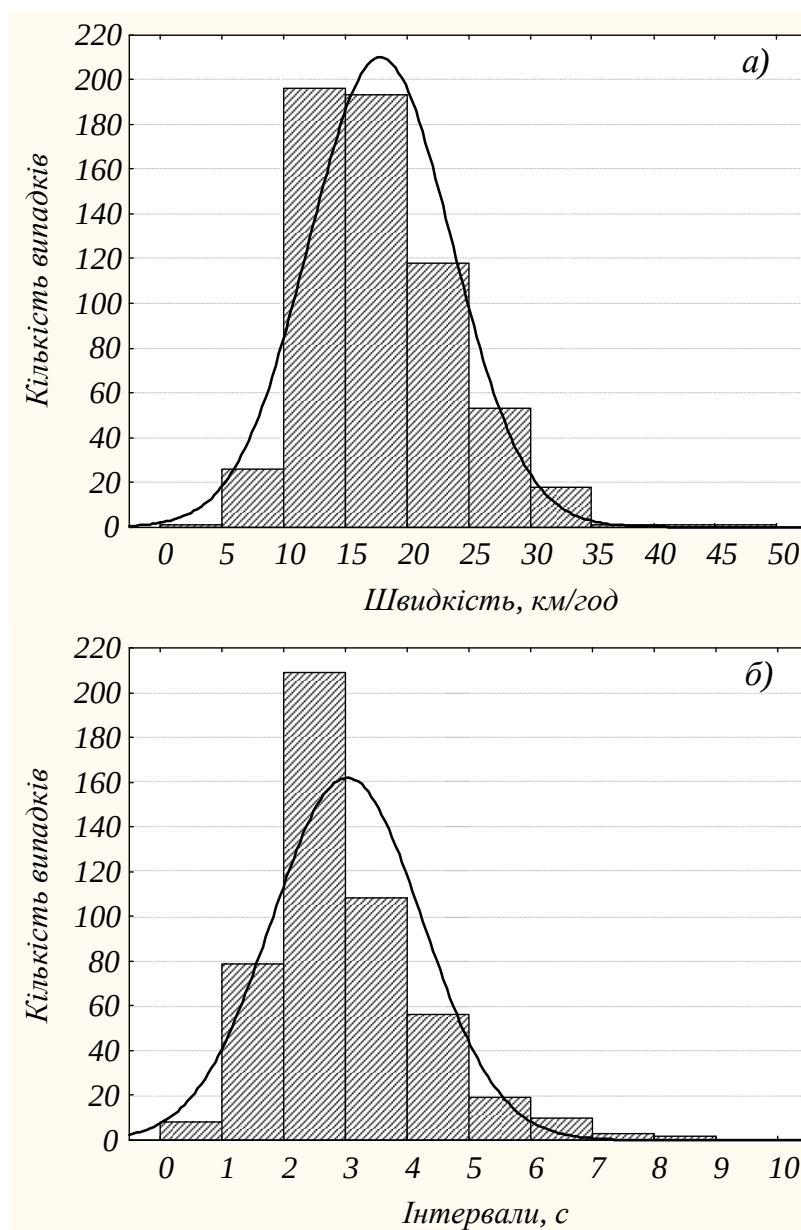


Рисунок 2.2 – Гістограми і теоретичні криві розподілів миттєвих швидкостей (а) та часових інтервалів між автомобілями (б) на перехресті вул. Кульпарківська – Садова

Числові характеристики розподілів цих величин: миттєва швидкість – математичне сподівання $M(V)=17,77$ км/год; середнє квадратичне відхилення $\sigma(V)=5,78$ км/год; коефіцієнт варіації $\nu_V=32,53$ %; часові інтервали – математичне сподівання $M(t)=3,01$ с; середнє квадратичне відхилення $\sigma(t)=1,22$ с; коефіцієнт варіації $\nu_t=40,53$ % (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняння результатів дослідження миттєвих швидкостей та часових інтервалів між автомобілями на перехрестях

Перехрестя	Кількість вимірювань швидкості (інтервалів)	Числові характеристики розподілів					
		Швидкість			Інтервали		
		$M(V)$, км/год	$\sigma(V)$, км/год	ν_V , %	$M(t)$, с	$\sigma(t)$, с	ν_t , %
вул. Стрийська – Володимира Великого	385 (484)	35,44	10,28	29,01	5,24	5,93	113,17
вул. Кульпарківська – Садова	608 (494)	17,77	5,78	32,53	3,01	1,22	40,53

Наведене показує, що часові інтервали між автомобілями та їх швидкості розподіляються нерівномірно, регулювання проїзду перехресть жорстке, що зумовлює утворення черг з 20-30 автомобілів. Проаналізовані методи розрахунків затримок транспортних засобів, наведені для конкретних міст, не враховують дії на процеси проїзду перехресть перерахованих чинників і тому не можуть бути прийняті як робочі. Розв'язання задач скорочення черг та втрат робочого часу перевізниками, які проїжджають регульовані перехрестя повинно реалізовуватися з використанням комп'ютерного імітаційного моделювання з урахуванням, у першу чергу, результатів опрацювання експериментальних даних про миттєві швидкості транспортних засобів та часові інтервали між ними. Останні ж залежать від інших чинників – динамічних властивостей транспортних засобів, в т. ч. пов'язаних з їх віковою характеристикою, типів та якості дорожніх покриттів,

геометричних параметрів перехресть, засобів та режимів регулювання руху по них [102].

На підставі аналізу даних про роботу регульованих перехресть з жорсткими світлофорними циклами, їх геометричних параметрів, типів та якості покрить, вибрано 21 перехрестя, які, крім цього, характеризуються великим розкидом швидкості (11,02-23,74 км/год) та тривалості проїзду (5,75-11,43 с) (Додатки А і Б).

2.2 Вибір впливових чинників

Відомо, що на ступінь насичення ТП, прямим чином впливає змінна інтенсивність проїзду перехрестя [57, 62]. При цьому пропускна здатність для чинного перехрестя залишається постійною. Оскільки для перехресть з жорстким циклом регулювання ТП рухаються із змінними інтенсивностями, а пропускна здатність їх постійна, то затримки автомобілів перед ними будуть також змінними і в окремих ситуаціях можуть зумовлювати затори на вулично-дорожній мережі. У зв'язку з цим важливо дослідити вплив на ступінь насичення ТП, який проїжджає перехрестя, усіх можливих чинників.

Серед них можна виділити такі основні [105]:

- по-перше, потрібно розглядати формально не лише склад ТП, який завжди неоднаковий, і зводити його до легкових транспортних засобів, але й обов'язково оцінювати імовірність появи у ньому таких ТЗ, які знижуватимуть інтенсивність проїзду. Мова іде про вантажні автомобілі та автобуси. Коефіцієнти зведення не враховують імовірнісної природи наявності у ТП тих чи інших ТЗ;
- по-друге, серед вантажних ТЗ та автобусів у ТП не усі вони з однаковим технічним станом. Тут ідеться про технічний стан лише тих агрегатів, які визначають тягово-швидкісні та гальмівні характеристики автомобіля. Це, у першу чергу, зношеність двигунів, зокрема деталей циліндро-поршневої групи та гальмівної системи. Поява таких неоднорідних за технічним

станом вантажних автомобілів і автобусів у ТП перед перехрестям (особливо важливо перед стоп-лінією, які рушають першими на зелений сигнал світлофора) також має імовірнісний характер [106];

- по-третє, на інтенсивність проїзду перехресть впливають тип і якість їх дорожніх покрить та в околі примикань до них (20-30 м перед і 5-10 м після). Відомо, що ці характеристики не постійні (на відміну від постійності світлофорних циклів) і можуть в окремих випадках істотно впливати на інтенсивності проїзду. Впливають не лише локальні нерівності покрить у вигляді ямок, виступів головок трамвайних рейок, але й деформовані транспортними засобами різної хвилястості (особливо у літній період) ділянки на перехресті чи перед або після нього.

Вважаємо, що відомі методи визначення показника ступеня насичення ТП, який проїжджає регульоване перехрестя, повинні уточнятися з урахуванням імовірнісної природи появи у ТП тихохідних й з різним технічним станом ТЗ, а також якісного стану дорожніх покрить перехресть і примикаючих до нього проїжджих частин [105].

Вибірковим аналізом статистичних даних про наявні автобуси, які обслуговують міські маршрути у Львові (АТП №1, «Успіх БМ», «Міра і К», «Фіакр-Львів» та АТП-14630), виявлено їх чисельність – 785 од. Чисельність вантажних ТЗ (ГАЗ-3307 та ін.) АТП Львівського хлібзаводу № 1, які обслуговують міських споживачів становить 109 од. Весь їх віковий діапазон розбито на 4 групи: 1-3 роки – 2%; 4-6 – 11%; 7-10 – 66%; більше 10 років – 21% (табл. 2.2). Серед останньої групи є такі автобуси і вантажні автомобілі, у яких термін служби перевищує 20 років (32 од.). Нерівномірність розподілу термінів служби характеризує коефіцієнт варіації, $\nu = 40,2\%$. Числові характеристики розподілу (рис. 2.3): середнє значення $\bar{T}_c = 9,23$ років; дисперсія $D(T_c) = 13,79$ років; середнє квадратичне відхилення $\sigma(T_c) = 3,71$ роки.

Таблиця 2.2 – Розподіл кількості ТЗ у Львівських АТП за віковими групами

Вікова група ТЗ	Назва АТП	Кількість ТЗ, од.
1	2	3
від 1-го до 3-х років	ЛК АТП №1	18
	Успіх БМ	-
	Міра і К	-
	Фіакр-Львів	-
	АТП-14630	-
	АТП Львівського хлібзаводу №1	-
від 4-х до 6-ти років	ЛК АТП №1	38
	Успіх БМ	3
	Міра і К	5
	Фіакр-Львів	17
	АТП-14630	11
	АТП Львівського хлібзаводу №1	27
від 7-ми до 10-ти років	ЛК АТП №1	112
	Успіх БМ	114
	Міра і К	118
	Фіакр-Львів	114
	АТП-14630	116
	АТП Львівського хлібзаводу №1	16
більше 10-ти років	ЛК АТП №1	54
	Успіх БМ	15
	Міра і К	19
	Фіакр-Львів	24
	АТП-14630	7
	АТП Львівського хлібзаводу №1	66
Загальна кількість автобусів та вантажних ТЗ		894

Очевидно, що, чим з більшим терміном служби використовуються автомобілі, тим нижчі їх техніко-експлуатаційні характеристики. Це позначається, в даному разі, на зниженні динаміки проїзду перехрестя. Оскільки діагностувати кожен автобус на предмет кількісної оцінки його тягово-швидкісних чи гальмівних характеристик немає можливості й, зрештою, у цьому дослідженні – не так важливо, використаємо з цією метою вікову характеристику [105].

Якщо сприймати твердження, що чим більшим є вік автомобіля (кумулятивний пробіг), тим він менш надійний і володіє пониженими показниками тягової (в т. ч. розгінної) динамічності як аксіому, то такі автомобілі називатимемо автомобілями з негативним потенціалом технічного стану. Визначимо їх частку $K_{n.n}$ у кожній віковій групі від загальної кількості $N_{авт}$:

$$K_{n.n(1-3)} = \frac{N_{1-3}}{N_{авт}}, \dots, K_{n.n(>10)} = \frac{N_{>10}}{N_{авт}}, \quad (2.1)$$

де $N_{1-3}, \dots, N_{>10}$ – чисельність автомобілів у відповідних вікових групах.

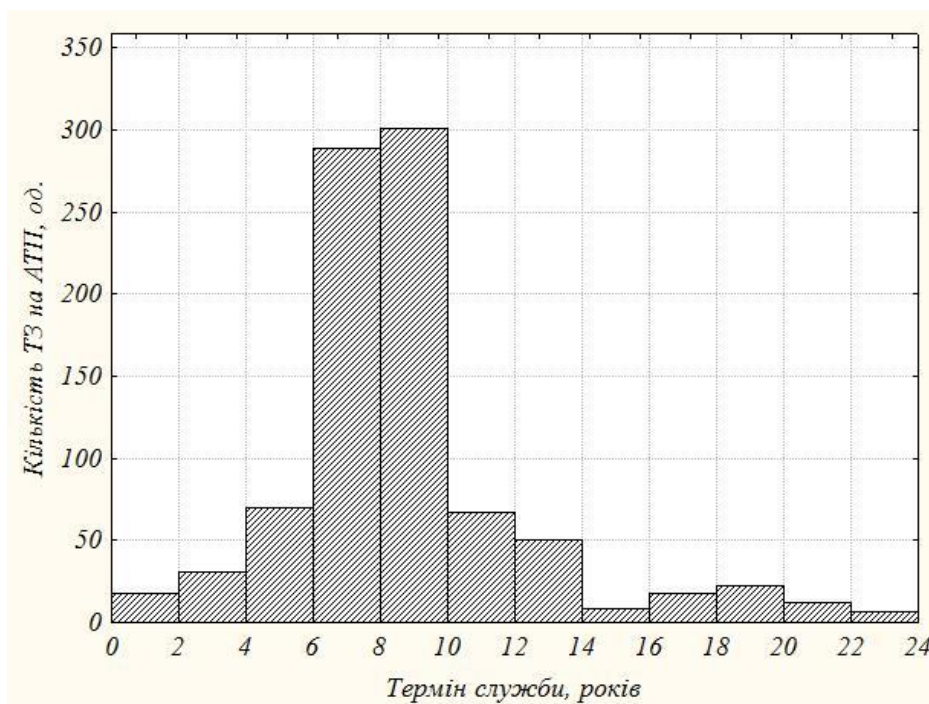


Рисунок 2.3 – Розподіл термінів служби парку автобусів (785 од.) Львівських АТП і вантажних ТЗ (109 од.) хлібзаводу №1

Для наведених вище 4-х вікових груп автобусів показники негативного потенціалу такі: $K_{н.п(1-3)} = 0,091$; $K_{н.п(4-6)} = 0,383$; $K_{н.п(7-10)} = 0,474$; $K_{н.п(>10)} = 0,052$. Це свідчить про те, що найбільша частка зношеного парку припадає на автобуси з термінами служби від 7 до 10 років. Оскільки зношеність їх впливає на динаміку проїзду перехресть, знижуючи динаміку ТП, то ступінь зниження тягово-швидкісних характеристик можна визначити через $K_{н.п}$:

$$K_{зн} = 1 + K_{н.п}. \quad (2.2)$$

Тобто коефіцієнт зниження динаміки проїзду перехресть автобусами тривалого терміну служби, порівняно з новими, буде об'єктивно характеризувати транспортний потік різнотипних ТЗ, які проїжджають перехрестя. У зв'язку з цим, потрібно зводити транспортний потік не лише до легкових автомобілів через коефіцієнти зведення $K_{зв}$, але й враховувати ступінь фізичного зносу учасників руху. Тому:

$$N_{зв} = \overline{N}_л K_{зн.л} + \overline{N}_в K_в K_{зн.в} + \overline{N}_{автоб} K_{автоб} K_{зн.автоб}, \quad (2.3)$$

де $\overline{N}_л$, $\overline{N}_в$, $\overline{N}_{автоб}$ – середні кількості автомобілів, відповідно легкових, вантажних та автобусів, які проїжджають перехрестя за час горіння зеленого сигналу;

$K_{зн.л}$, $K_{зн.в}$, $K_{зн.автоб}$ – коефіцієнти зниження тягово-швидкісних характеристик учасників руху;

$K_в$, $K_{автоб}$ – коефіцієнти зведення до легкового автомобіля різних типів ТЗ, які долають перехрестя (за О.Г. Левашевим $K_в = 1,480$, $K_{автоб} = 1,367$ – вони враховують лише динамічні габарити ТЗ [61, 62]).

Якщо врахувати частку особливо зношених легкових ТЗ, починаючи з терміну служби, більшого 10-ти років, для якої $K_{н.п} = 1,167$, то ця формула набуде вигляду:

$$N_{зв} = 1,167 \overline{N_{л}} + 2,258 \overline{N_{в}} + 2,086 \overline{N_{автб}} . \quad (2.4)$$

Наведені числові значення $K_{зн.автб}$ враховані лише для автобусів віком від 7 і більше років ($K_{зн.автб} = K_{зн.(7-10)} + K_{зн.(>10)} = 1,526$) та розраховані для вантажних ТЗ (ГАЗ-3307), які, наприклад, в автомобільному парку хлібзаводу №1 м. Львова ($N_{авт} = 173$ од.: $K_{н.н(1-3)} = 0,091$; $K_{н.н(4-6)} = 0,383$; $K_{н.н(7-10)} = 0,503$; $K_{н.н(>10)} = 0,023$; $K_{зн.в} = 1 + K_{н.н(7-10)} + K_{н.н(>10)} = 1,526$).

Наявність у ТП різних типів ТЗ з різним технічним станом (віком) кожного вносить корективи щодо інтенсивності проїзду ними перехресть, а, отже, і щодо потоків насичення. Це можна проілюструвати на прикладі проїзду перехрестя магістральної вул. Антоновича з вул. Бандери. Дослідження виконувалось упродовж 20 хв. у вечірній час-пік. У прямому, найбільш інтенсивному напрямку, за 18 світлофорних циклів з тривалістю горіння зеленого сигналу 30 с, у кожному з них, проїхало 361 од. ТЗ. Фіксувалась кількість їх за типами і визначалась спочатку інтенсивність проїзду у фізичних одиницях для кожного циклу. Опісля, такий же показник з урахуванням коефіцієнтів зведення за О.Г. Левашевим [61, 62] й з урахуванням технічного стану учасників руху (табл. 2.3).

Отримано і відповідні графіки (рис. 2.4). Наведене показує, що, якщо у ТП лише легкові ТЗ і зведень не потрібно виконувати, то інтенсивність ТП за фізичними одиницями співпадає зі зведеною (у 5-му циклі). Обидва графіки зведених інтенсивностей розміщені вище за інтенсивності фізичних одиниць. Це не суперечить фізичному змісту: за однакову тривалість горіння зеленого сигналу світлофора могла б проїхати перехрестя більша кількість легкових ТЗ у ТП, ніж, якщо у ньому наявні вантажні ТЗ та автобуси з нижчими тягово-швидкісними характеристиками. І ще більша (крива 3), якщо ці ж ТЗ з відповідно зношеними агрегатами, які забезпечують ці характеристики.

Відомо також, що коефіцієнти зведення $K_{в}$, $K_{автб}$ за своєю суттю постійні величини і пронормовані або за ДБН-ом [4], або ж за О.Г. Левашевим [61, 62], а от кількість відповідних ТЗ у ТП упродовж часів-пік носить випадковий характер. У

проектуванні нових регульованих перехресть склад ТП приймають постійним для цих пікових періодів. Однак, не відомо, для яких днів тижня і сезону ці періоди вибрані. Якщо виникають такі запитання, то знаючи стохастичну природу наявності у ТП різних типів ТЗ, потрібно оперувати імовірнісними показниками – ймовірностями наявності у ТП відповідного типу ТЗ [105].

Таблиця 2.3 – Результати дослідження проїзду транспортних засобів перехрестя вул. Антоновича – Бандери

№ світлофорного циклу	Кількість ТЗ, які проїжджають перехрестя у кожному світлофорному циклі ($T_{\text{ц}} = 68\text{с}$, $t_3 = 30\text{с}$):					
	за видами			фізичні одиниці	зведених до легкового автомобіля	
	легкові	вантажні	автобуси		за О.Г. Левашевим	з урахуванням технічного стану
1	2	3	4	5	6	7
1	18	0	3	21	22,1	27,26
2	19	1	2	22	23,2	28,60
3	18	0	3	21	22,1	27,26
4	17	0	3	20	21,1	26,10
5	22	0	0	22	22,0	25,67
6	13	0	3	16	17,1	21,43
7	18	0	2	20	20,7	25,18
8	17	0	2	19	19,7	24,01
9	18	0	2	20	20,7	25,18
10	15	0	3	18	19,1	23,76
11	15	0	4	19	20,5	25,85
12	17	0	4	21	22,5	28,18

1	2	3	4	5	6	7
13	21	1	1	23	23,8	28,85
14	13	0	4	17	18,5	23,52
15	21	1	2	24	25,2	30,94
16	17	0	2	19	19,7	24,01
17	9	1	6	16	18,7	25,28
18	22	0	1	23	23,4	27,76

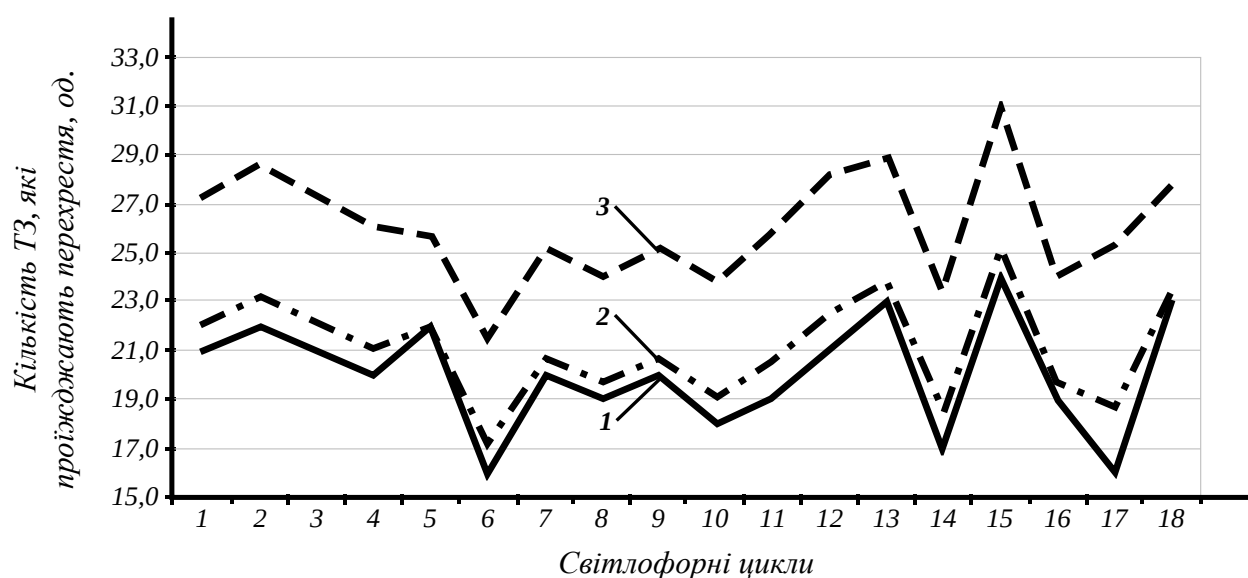


Рисунок 2.4 – Розподіл кількості ТЗ, які проїжджають перехрестя за відповідні світлофорні цикли: 1 – фізичні одиниці ТЗ; 2 – зведені до легкового автомобіля одиниці ТЗ (за О.Г. Левашевим); 3 – зведені до легкового автомобіля одиниці ТЗ з урахуванням їх технічного стану

На інтенсивність прибуття ТЗ до перехрестя та проїзду його мають вплив не тільки склад ТП, технічний стан його складових, імовірнісна природа наявності у ТП цих складових, але й тип та якість дорожніх покриттів. Нормальними умовами руху вважаються такі, коли коефіцієнт забезпечення розрахункової швидкості руху $K_{p,ш} \geq 0,75$ для сумарної нерівності покриттів за поштовхоміром 300-400 см/км. Якщо ці нерівності у межах 400-600 см/км – умови руху важкі, якщо ж

вони >650 см/км – це дуже важкі умови [12, 36]. З використанням наведеного можна оцінювати умови руху ТЗ на дорогах і на прогонах між перехрестями. На згадуваному вище перехресті та в околі нього локальні нерівності вимірювали 3-метровою рейкою, зокрема: підхід з вул. Антоновича до перехрестя з вул. Бандери з асфальтним покриттям, вул. Бандери – бруківка і з трамвайними коліями. За напрямом руху цього магістрального потоку виступи головок рейок сягають 30-50 мм, місцеві нерівності на виїзді з перехрестя, глибиною 70-80 мм і займають площу 400x1200 мм. Такі дефекти сповільнюють швидкість ТП знижуючи потік насичення на перехресті. Якщо б рівність покриття під 3-метровою рейкою була у межах до 5 мм, то такий стан його вважався б еталонним [98] і для нього $K_{p.ш} \geq 0,75$, й тоді фактична швидкість ТЗ відповідала б розрахунковій. Це значно спрощувало б методику визначення потоку насичення, тривалості світлофорного циклу і затримок ТП [105].

Викладене вказує на те, що в оптимізації тривалостей світлофорних циклів жорсткого регулювання та тривалостей затримок транспортних потоків перед перехрестями потрібно враховувати впливи перелічених чинників [105].

2.3 Формування теоретичної моделі для дослідження потоків насичення

Найточніше потік насичення можна виміряти безпосередньо на об'єкті дослідження, оскільки на нього впливає багато різних чинників (геометрично-планувальні параметри перехрестя, умови руху, схема пофазного роз'їзду тощо). Існують різні методики вимірювання потоку насичення під час натурних досліджень, проте вони вимагають значних затрат часу, крім цього, їх неможливо виконати для перехресть, що проектуються [57, 62, 125, 127, 132]. Тому при проектуванні режиму регулювання використовують значення ідеального потоку насичення та коефіцієнти коригування, які враховують місцеві умови. Ідеальним потоком насичення вважається потік, який існує за таких умов: ширина смуги 3,6 м, ухил підходу до перехрестя – 0‰, сухе покриття, відсутність перешкод, що створюються вуличними стоянками, зупинками громадського транспорту,

відсутність конфліктуючих транспортних, велосипедних та пішохідних потоків, відсутність у потоці вантажних автомобілів та автобусів [107, 125, 127, 132].

З усіх проаналізованих методів та моделей у дослідженнях потоків насичення (наведено у п. 1.2) можна зробити висновок, що вони використовують поняття ідеального потоку насичення. Вітчизняна методика визначає його залежність від ширини смуги руху, канадська пропонує визначати його безпосередньо в місці проектування, американська використовує фіксоване значення. При цьому значення потоку насичення за всіма методиками є в межах 1700-2100 авт./год, що відповідає часовим інтервалам між автомобілями 1,7-2,1 с. Наявність таких інтервалів за максимальної інтенсивності руху підтверджується дослідженнями Кероглу, Калужського та Лобанова [64, 77].

Потік насичення за своєю суттю є транспортним потоком, що існує, коли проїзна частина (смуга руху) функціонує в умовах пропускної здатності. Теоретичну пропускну здатність смуги руху визначається з використанням спрощених динамічних моделей з урахуванням середньої швидкості руху потоку v та значенням безпечної відстані між автомобілями, що рухаються один за одним L [64]:

$$N = \frac{1000 \cdot v}{L}, \quad (2.5)$$

За використання першої групи спрощених динамічних моделей, в якій закладено лінійну залежність відстані між автомобілями від швидкості руху (табл. 2.4), значення теоретичної пропускної здатності досягає 4500 авт./год [64]. Проте практично така ситуація не виникає.

Використання другої групи динамічних моделей, в яких враховується не тільки тривалість реакції водія, але і гальмівні властивості заднього автомобіля, призводить до зниження теоретичної пропускної здатності до 2700 авт./год [64]. Це значення досягається за швидкості 55 км/год.

Використання третьої групи динамічних моделей, в яких враховується тривалість реакції водія, гальмівні властивості заднього та переднього автомобілів та коефіцієнт зчеплення, призводить до зниження теоретичної пропускної здатності до 1875 авт./год, яке досягається за швидкості 45 км/год [64].

Поява в потоці автомобілів з кращими динамічними властивостями зумовлює збільшення пропускної здатності. Швидкість, що відповідає пропускній здатності, становить 60 км/год. Спостереження показують, що у щільних потоках модальне значення інтервалу між автомобілями може становити 1,5 с. Пропускна здатність при цьому може досягати 2400 авт./год. Це є максимальна інтенсивність, що може існувати за мінімальних часових інтервалів у потоці. Проте на практиці така інтенсивність досягається рідко, оскільки вимагає від водія значного емоційного напруження.

Таблиця 2.4 – Рівняння спрощених динамічних моделей [64]

Група спрощених динамічних моделей	Залежність «інтенсивність-швидкість»
Перша	$N = \frac{1000v}{l_a + l_p + l_o}$
Друга	$N = \frac{1000v}{l_a + l_p + l_o + l_{z2}}$
Третя	$N = \frac{1000v}{l_a + l_p + l_o + l_{z2} - l_{z1}}$
v – середня швидкість потоку, км/год; l_a – довжина автомобіля, м; l_p – шлях, який проходить ТЗ за час реакції водія, м; l_o – відстань безпеки, м; l_{z1} – гальмівний шлях переднього ТЗ, м; l_{z2} – гальмівний шлях ТЗ, м	

Для ідеалізованої моделі, в якій відстань між автомобілями є сталою і вона не залежить від швидкості (прийнято інтервал між автомобілями, рівний 30 м). Ця модель може відповідати випадку автоматичного керування автомобілем [64].

Зростання пропускної здатності при збільшенні швидкості за рівномірного руху підтверджується також даними, наведеними в [95].

Чинники, які впливають на потік насичення, впливають також і на зміну швидкості транспортного потоку [100]. Але жодна з розглянутих методик розрахунку потоку насичення не враховує швидкості проїзду перехрестя. Хоча в роботі [86] стверджується, що максимальна кількість автомобілів, які можуть проїхати по смузі руху за один цикл за заданої тривалості дозвільного сигналу, залежить від швидкості проїзду перехрестя та часових інтервалів між автомобілями [107, 125].

Найточніше значення ПН можна виміряти безпосередньо на об'єкті дослідження, проте це вимагає значних витрат часу. Тому під час проектування режиму регулювання на перехресті використовують значення ідеального потоку насичення та коефіцієнти коригування, які враховують місцеві умови (геометрично-планувальні параметри перехрестя, умови руху, схема пофазного роз'їзду тощо) [57, 62, 127].

Враховуючи, що на значення ПН впливає зміна швидкості ТП [100], то у роботі [107] запропоновано використовувати її як величину, на яку впливають геометрично-планувальні характеристики перехрестя, стан дорожнього покриття, умови руху на ньому, склад потоку, технічний стан ТЗ тощо. Наведено результати дослідження потоку насичення залежно від швидкості проїзду перехрестя за різних випадків її обмеження [107, 125].

Встановлено, що потік насичення з обмеженням швидкості на перехресті і після нього є дещо нижчим, ніж за обмеження лише в зоні перехрестя (довжина перехрестя в цьому разі 20 м). Це вказує на те, що збільшення довжини зони обмеження швидкості також знижує потік насичення. Тому проводились додаткові дослідження потоку насичення з використанням програмного продукту VISSIM за методикою, наведеною в [107, 125]. При цьому значення обмеження швидкості змінювали від 10 км/год до 55 км/год з інтервалом 5 км/год, а довжину зони обмеження – від 5 м до 50 м (зона довжиною 5 м імітує, наприклад, проїзд нерівностей чи вибоїн на покритті або малі радіуси заокруглень для

правоповоротних потоків) [107, 125]. Зважаючи на викладене, досліджувався вплив швидкості проїзду перехрестя на потік насичення.

Для дослідження потоку насичення обрано програмний продукт VISSIM, призначений для мікроскопічного моделювання руху транспортних засобів. Результатом імітації у середовищі VISSIM є анімація їх руху з подальшим визначенням різних параметрів, таких як розподіл тривалості руху та часу очікування, довжини заторів, характеристики окремих автомобілів тощо [87].

Оскільки потік насичення утворюється при роз'їзді черги транспортних засобів на дозвільний сигнал світлофора і його визначають в перерізі стоп-лінії для однієї смуги руху, то для його дослідження доцільно створити модель смуги руху із стоп-лінією (світлофором) та ділянкою обмеження швидкості (рис.2.5) [107, 125].

На перехрестях є різні випадки обмеження швидкості руху (тут обмеження швидкості означає таку швидкість транспортного засобу, якої він вимушений дотримуватись для забезпечення безпеки руху). Зокрема, швидкість може бути обмежена лише в зоні перехрестя (рис. 2.5, а). Таке обмеження може виникати внаслідок зміни типу покриття, незадовільного стану проїзної частини, зниження швидкості для виконання маневру тощо. Швидкість також може обмежуватись як в межах перехрестя, так і поза ним, наприклад, коли тип покриття або стан проїзної частини погіршується, починаючи від перехрестя (рис. 2.5, б). Обмеження може виникати також лише за (рис. 2.5, в) або лише до перехрестя (рис. 2.5, г), а також може бути постійним (рис. 2.5, д). Ідеальним є випадок, коли швидкість руху на підходах до перехрестя, безпосередньо на ньому і поза ним обмежується лише динамічними властивостями транспортних засобів, рівнем їх технічного стану або Правилами дорожнього руху (рис. 2.5, е) [107, 110, 125].

Моделювання процесу проїзду ТП через перехрестя з різними обмеженнями швидкості виконувалось у середовищі VISSIM. Для цього побудовано односмуговий відрізок довжиною 800 м та задано вхідний транспортний потік інтенсивністю 2500 авт./год., що значно перевищує пропускну здатність смуги

руху. Склад потоку та бажану швидкість руху для кожного типу транспортних засобів наведено в табл. 2.5 [107, 125].

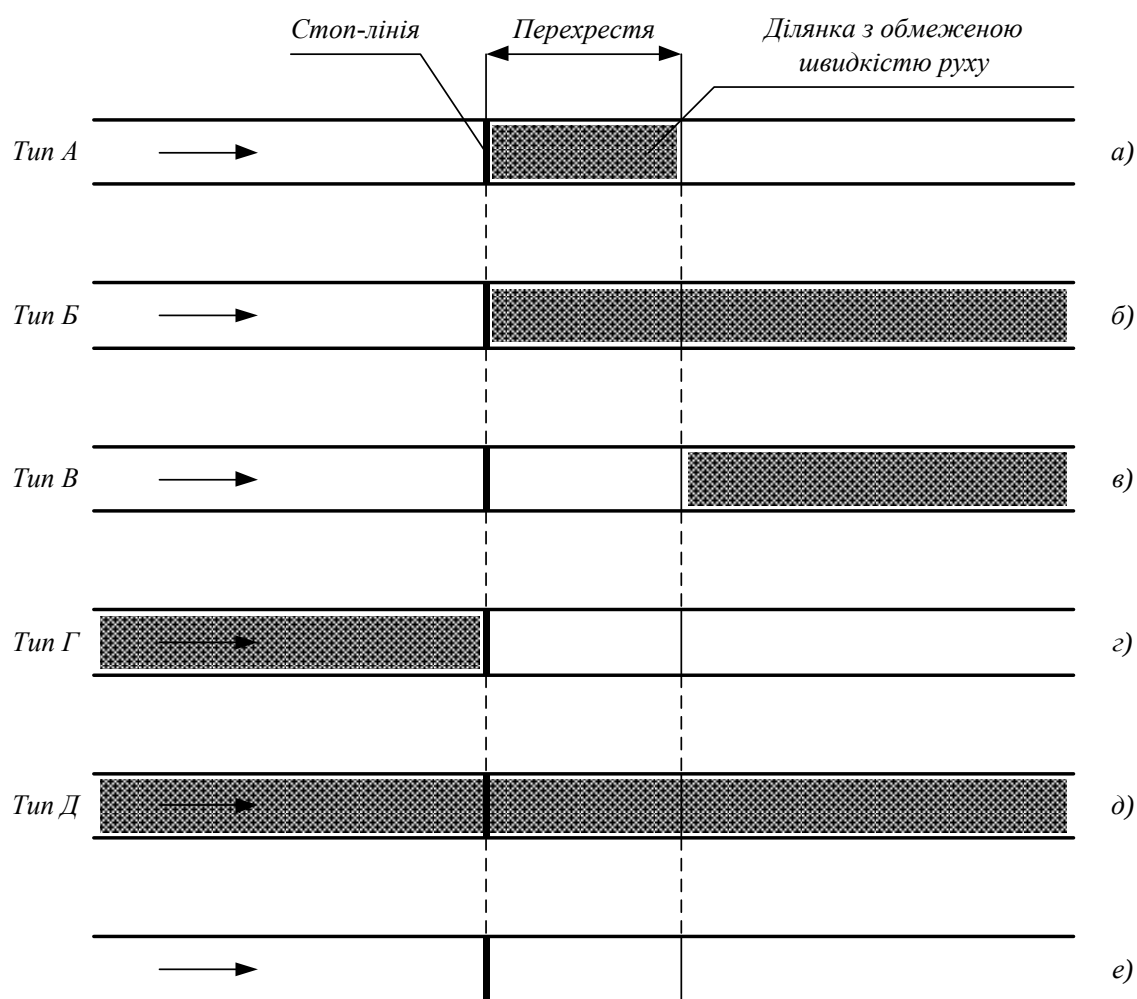


Рисунок 2.5 – Можливі випадки обмеження швидкості руху

Таблиця 2.5 – Параметри вхідного транспортного потоку

Тип транспортного засобу	Частка у потоці, %	Бажана швидкість руху, км/год
Легковий автомобіль	75	60
Вантажний автомобіль	15	50
Автобус	10	45

Після опрацювання результатів моделювання отримано потік насичення залежно від значення обмеження швидкості та довжини ділянки обмеження. Встановлено, що швидкість впливає на потік насичення непрямолінійно, а

довжина ділянки обмеження – прямолінійно. Для врахування одночасного впливу обох чинників запропоновано залежність, вплив швидкості у якій степеневий, а довжини ділянки обмеження – лінійний [72, 125]:

$$S(v, L) = -17200v^{-1,08} - 0,8635L + 2417, \quad (2.6)$$

де v – швидкість проїзду перехрестя, км/год;

L – довжина перехрестя (ділянки зниження швидкості), м.

Для перевірки адекватності моделі (2.6) розраховано відхилення даних, отриманих з її використанням, від даних, отриманих в результаті моделювання процесу проїзду перехрестя в середовищі VISSIM. Встановлено, що числові розбіжності між цими результатами рівномірно розподілені в околі нуля і не перевищують 200 авт./год (10% від розрахованих значень), що вказує на адекватність моделі. Квадрат змішаної кореляції для запропонованої моделі становить $R^2=0,968$. Поверхню відгуку наведено на рис. 2.6.

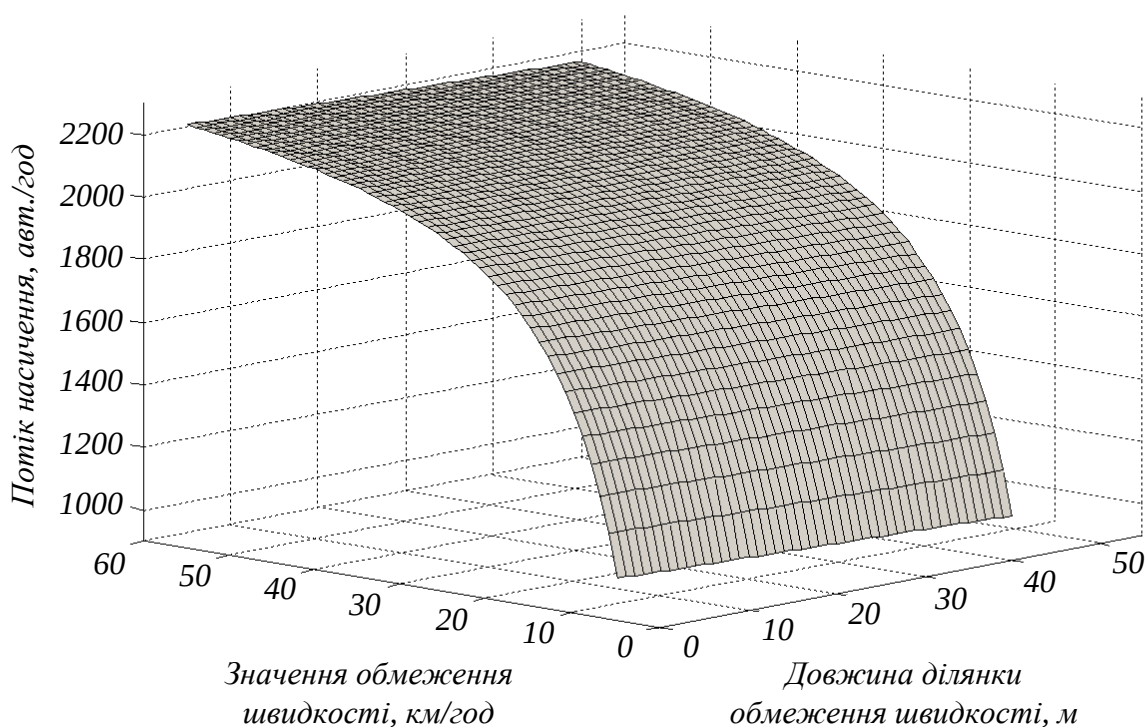


Рисунок 2.6 – Залежність потоку насичення від значення обмеження швидкості та довжини ділянки обмеження

Таким чином, отримана залежність потоку насичення від швидкості проїзду регульованого перехрестя та його довжини є адекватною та може використовуватись у подальших дослідженнях. Очевидно, що її можна застосовувати лише для існуючих перехресть, а не для проектування нових. Однак, порівняно з відомими методами розрахунку, запропонована модель є зручнішою, оскільки вимагає визначення значень лише двох параметрів. В цей же час вона неявно враховує вплив таких чинників як геометрично-планувальні характеристики перехрестя, умови руху та умови регулювання.

2.4 Висновки з розділу

1. На підставі аналізу впливу на роботу ізольованих регульованих перехресть різноструктурних ТП, які штучно зводяться до моноструктурних через відповідні коефіцієнти зведення, що неадекватно відображає фактичну особливість проїзду їх, запропоновано новий підхід до визначення цього коефіцієнта з урахуванням ступеня фізичного зносу ТЗ, їх старіння (це позначається на зниженні розгінних швидкостей) та імовірності появи таких ТЗ у ТП. Швидкість проїзду знижують і нерівності дорожніх покриттів як безпосередньо на перехрестях, так і в околі їх.

2. Знайдена прямопропорційна залежність зниження розгінних швидкостей ТЗ, які проїжджають перехрестя, від їх кумулятивних пробігів. Математичні сподівання швидкості проїзду ТЗ перехресть з різними дефектами дорожніх покриттів і перехресть з нормативними рівностями істотно відрізняються між собою – для перших 5,69 км/год., для других 17,15 км/год.

3. У програмному середовищі VISSIM змодельовано процес проїзду перехресть з різними розміщеннями нерівностей дорожніх покриттів (на і в околі їх) ТП з різними структурами та динамічними властивостями ТЗ і знайдена залежність ПН від впливу цих чинників. Потік насичення взятий у подальших дослідженнях процесу проїзду ТП ізольованих регульованих перехресть за головний критерій у визначенні затримок ТЗ, які проїжджають такі перехрестя.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика виконання натурних досліджень на ВДМ міста та опрацювання їх результатів

3.1.1 Результати обстеження міської ВДМ

Рівень автомобілізації в державі має стабільну тенденцію до зростання. Зараз він становить 172 автомобілі на 1000 жителів, хоча в містах цей показник значно вищий. Різке збільшення кількості ТЗ, призводить до перевантаження вулично-дорожньої мережі, яка адекватним чином не вдосконалюється. В результаті перед перехрестями (регульованими і нерегульованими) у часи «пік» спостерігаються накопичення черг автомобілів, які супроводжують видовження тривалостей їх проїзду і, як результат – відповідні збитки та технологічні ризики у перевізників. Тому актуальним залишається дослідження показників, які впливають на процеси проїзду перехресть, з метою їх стабілізації та забезпечення оптимальних режимів проїзду перехресть [111, 112].

Визначення транспортної затримки учасників руху, які проїжджають через регульовані перехрестя здійснюють за формулою Вебстера. Такий підхід побудований, однак, на припущенні, що перехрестя є ізольованим (немає зв'язку із сусідніми перехрестями за напрямом руху потоку) й об'єктивно оцінити ефективність роботи засобів регулювання групи перехресть неможливо [112].

Аналізувались визначальні показники (інтенсивність ТП, довжини черг перед перехрестям), які впливають на тривалість проїзду регульованих та нерегульованих перехресть за істотного впливу на неї структури транспортних потоків, технічного стану транспортних засобів та дорожніх покриттів, кваліфікації водіїв [112].

Магістральні вулиці міст відзначаються значними інтенсивностями руху ТП, які залежно від їх структури, від часу доби, технічного стану ТЗ і дорожніх

покрить, наявності пунктів притягання населення та кваліфікації водіїв можуть змінюватися у значних межах. Комплексне порівняльне дослідження змін затрат часу на проїзд регульованих і нерегульованих перехресть дає можливість адекватно оцінити напрями та можливості вдосконалення ВДМ, засобів та режимів регулювання, залишаючи незмінними структуру ТП та технічний стан ТЗ, кваліфікацію водійського персоналу. Крім цього, стає можливим з'ясування, що є дійсно транспортною затримкою, а що технологічним (обов'язковим) часом (тривалістю) проїзду перехресть [112].

Спочатку досліджувались чинники, які впливають на інтенсивність проїзду однакових Т-подібних перехресть (на прикладі нерегульованого перехрестя – вул. Городоцька – Бандери та регульованого – вул. Стрийська – Сахарова м. Львова) (рис. 3.1). Результати дослідження проїзду цих перехресть наведені (табл. 3.1, 3.2) для прикладу для одного дня (четвер, з 13:00 до 14:00 год.). На цей час припадає обідня година «пік», яка характеризується незначним збільшенням інтенсивностей руху. Спостереженнями встановлено, що переважна більшість легкових автомобілів у ТП є іноземного виробництва з високими показниками технічних характеристик, незначними термінами служби. Однак, у цих ТП є такі учасники руху (вантажні автомобілі – 19%, автобуси – 26%, тролейбуси – 1%), для яких названі показники відрізняються в гіршу сторону.

Якщо брати до уваги умовно, що усі учасники руху однакового року випуску і технічного стану, то за динамічними характеристиками вони різні. Різницю у них підсилюють додатково ступінь наповненості салонів пасажирями чи вантажних платформ вантажами. Усі ці транспортні засоби рухаються спільно в одному і тому ж транспортному потоці і, очевидно, що тривалість проїзду ними перехресть буде різною. Вона, крім цього, буде видовжуватись і через різні типи дорожніх покриттів (нерегульоване перехрестя бруківчасте, регульоване – асфальтобетонне) їх якості (перше із значними нерівностями, виступами головок трамвайних колій, друге – з місцевими вибоїнами та хвилястостями). У зв'язку з цим це вплинуло частково на меншу зведену інтенсивність проїзду

нерегульованого бруківчастого перехрестя (1422 авт./год), порівняно з регульованим асфальтобетонним (3862 авт./год) [112].

Варто відмітити, що у цих транспортних потоках, крім різних видів учасників руху, є ще різної кваліфікації водії. Усе перелічене відображується кількісними показниками фактичних інтенсивностей проїзду перехресть (див. табл. 3.1, 3.2) та зібраних спостереженнями даних щодо кількостей автомобілів, які під'їжджають до перехрестя, проїжджають його чи очікують проїзду у черзі (табл. 3.3) [112].

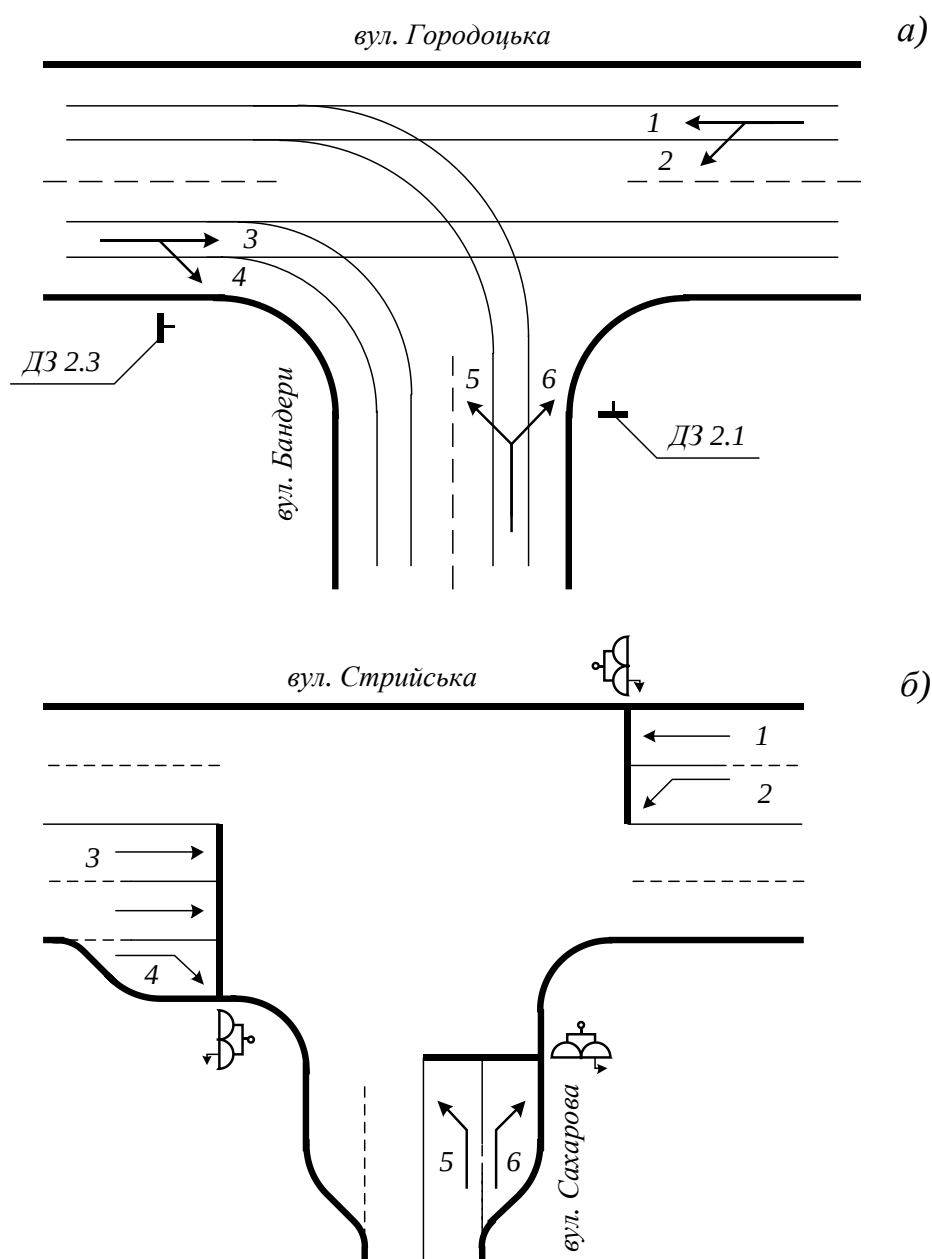


Рисунок 3.1 – Схеми нерегульованого (а) та регульованого (б) перехресть

Таблиця 3.1 – Склад ТП та проїзд ним нерегульованого перехрестя

Вид ТЗ	Середня фактична інтенсивність проїзду перехрестя за напрямком, авт./год						Відсоток учасників руху за видами, %						Середня зведена інтенсивність проїзду перехрестя за напрямком, авт./год					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№1	№2	№3	№4	№5	№6
легкові	123	108	174	42	144	162	50	75	64	65	70	90	123	108	174	42	144	162
ван. 2т	18	12	21	3	18	6	7	8	8	5	9	3	27	18	32	5	27	9
ван. 5т	27	6	12	-	6	-	11	4	4	-	3	-	54	12	24	-	12	-
ван. 8т	15	3	6	-	-	3	6	2	2	-	-	2	38	8	15	-	-	8
ван. 14т	9	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-
автоб.	45	15	51	6	24	9	18	11	19	9	12	5	90	30	102	12	48	18
трамв.	10	-	10	14	14	-	4	-	3	21	6	-	10	-	10	14	14	-
Всього	247	144	274	65	206	180	100	100	100	100	100	100	374	176	357	73	245	197
Сумарна середня зведена інтенсивність транспортного потоку на перехресті													1422					

Таблиця 3.2 – Склад ТП та проїзд ним регульованого перехрестя

Вид ТЗ	Середня фактична інтенсивність проїзду перехрестя за напрямком, авт./год						Відсоток учасників руху за видами, %						Середня зведена інтенсивність проїзду перехрестя за напрямком, авт./год					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№1	№2	№3	№4	№5	№6
легкові	328	491	437	164	164	219	54	75	53	100	75	57	328	491	437	164	164	219
ван. 2т	55	-	110	-	55	-	9	-	13	-	25	-	83	-	165	-	83	-
ван. 5т	-	-	55	-	-	55	-	-	7	-	-	14	-	-	110	-	-	110
ван. 8т	-	55	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	138	-	-	-	-
ван. 14т	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
автоб.	219	110	219	-	-	110	36	17	26	-	-	29	438	220	438	-	-	220
трамв.	9	-	9	-	-	-	1	-	1	-	-	-	27	-	27	-	-	-
Всього	611	656	830	164	219	384	100	100	100	100	100	100	876	849	1177	164	247	549
Сумарна середня зведена інтенсивність транспортного потоку на перехресті													3862					

Таблиця 3.3 – Розподіл кількості автомобілів, які проїжджають перехрестя

Номер потоку	Регульоване перехрестя		Нерегульоване перехрестя
	Кількість автомобілів, що під'їжджають до перехрестя за час увімкнення заборонного сигналу, авт./цикл	Кількість автомобілів у потоці, що перетинають «стоп-лінію» за час увімкненого зеленого сигналу, авт./цикл	Кількість автомобілів в черзі, авт./год
1	легкові – 10; вантажні – 6; автобуси – 7; тролейбуси – 1	легкові – 6; вантажні – 1; автобуси – 2	-
2	легкові – 14; вантажні – 3; автобуси – 2	легкові – 9; вантажні – 1; автобуси – 2	легкові – 36; вантажні – 12; автобуси – 12
3	легкові – 13; вантажні – 7; автобуси – 8; тролейбуси – 1	легкові – 8; вантажні – 3; автобуси – 4	-
4	легкові – 5; вантажні – 2	легкові – 3	-
5	легкові – 3; вантажні – 1	легкові – 3; вантажні – 1	легкові – 36; вантажні – 30; автобуси – 6
6	легкові – 6; вантажні – 5; автобуси – 1	легкові – 4; вантажні – 1	вантажні – 6; автобуси – 6
Всього	94	48	144

Якщо врахувати, що тривалість світлофорного циклу становить 66 с, то за зведеної інтенсивності потоку 3862 авт./год, за час горіння забороненого сигналу з трьох сторін перехрестя під'їжджає 94 автомобілі. Тобто у кожному ряді його може нагромаджуватися в середньому по 15 одиниць. А упродовж години, яка має 54 цикли, умовна сумарна (за усіма напрямками) довжина черги може становити

810 одиниць. У той же час умовна сумарна (за усіма напрямками) кількість автомобілів у черзі перед нерегульованим перехрестям упродовж години – 144 одиниці. Зважаючи на порівняльну зведену інтенсивність проїзду перехресть ($3862/1422=2,72$ рази), умовні годинні довжини черг відрізняються між собою у 5,63 рази ($810/144$). Отже, відповідної пропорційності між інтенсивностями проїзду регульованих та нерегульованих перехресть і довжин черг автомобілів перед ними немає. Цьому, звісно, «сприяють» як різні типи перехресть, різні структури ТП та впливи означених вище чинників [112].

Отримані результати засвідчують про потребу у подальших дослідженнях (порівняно з виконаними іншими авторами) особливостей часових інтервалів проїзду перехресть з урахуванням таких взаємопов'язаних важливих чинників як структура ТП, технічний стан їх складових і дорожніх покриттів [112].

Ріст автомобілізації призводить до проблем, пов'язаних з організацією дорожнього руху, які, в основному, виникають у вузлових пунктах вулично-дорожньої мережі – перехрестях. Однією з важливих проблем є втрати часу через затримки з проїздом перехресть («транспортні затримки») [109]. У низці проаналізованих джерел транспортні затримки трактуються по-різному. Важливим є з'ясування суттї затримки: які саме втрати часу підпадають під це поняття, які чинники впливають на її величину і як вона визначається аналітично. Обмежуємось тут розглядом транспортної затримки у зоні регульованих перехресть, де інтенсивності руху по обох дорогах приблизно однакові і втрати часу учасників дорожнього руху будуть залежати, в основному, від ефективності роботи світлофора та інших важливих чинників [109].

Сучасний стан ВДМ міст характеризується (особливо у весняний період) значною кількістю локальних дефектів, ямок, нерівностей, виступів. Якщо ідеться про перехрестя з такими дефектами, то вони зумовлюють істотне зниження швидкості їх проїзду. В результаті накопичуються необґрунтовані черги, які призводять до часових втрат перевізників і пасажирів та загазованості повітря в зоні перехресть [104].

Розрахунками та експериментами встановлено зміну показників інтенсивності ТП [103, 104, 106, 107], який проїжджає перехрестя з різними дорожніми покриттями та їх якістю, а також зміну показників тягової динамічності (розгінної швидкості) ТЗ залежно від ступеня зношеності їх двигунів. Ці чинники, залежно від їх поєднань безпосереднім чином впливають на зниження потоків насичення (ПН) на регульованих перехрестях. З метою встановлення наявності регульованих перехресть, на яких може спостерігатися такий вплив проаналізовано усі регульовані перехрестя м. Львова на предмет встановлення впливу геометричних параметрів їх у плані та стану дорожніх покриттів, а також режимів роботи світлофорних об'єктів [115].

У місті, з загальною протяжністю ВДМ 580 км, нараховується 137 регульованих перехресть. З них 23 мають адаптивні світлофорні цикли (16,8 %), а 11 перехресть (на трьох магістральних вулицях) координовані в режимі «зеленої хвили». Ці перехрестя у дослідженні не брались до уваги, оскільки зміна тривалості світлофорного циклу відбувається, залежно від інтенсивності ТП з урахуванням ранішніх і вечірніх піків. Цим мінімізуються черги ТЗ перед перехрестями [115].

Перехрестя зі жорстким циклом регулювання цього не забезпечують і перед ними створюються, особливо у пікові періоди, надмірні затримки та черги у русі ТП. Однак, чи на перехрестях з адаптивним чи зі жорстким регулюванням, є такі геометричні параметри та стани покриттів, які сприяють зниженню ПН. Крім цього, через такі перехрестя проїжджають ТП із структурою, у якій значна частка маршрутних автобусів і вантажних ТЗ (особливо зі зношеними двигунами), що також долучаються до зниження інтенсивності проїзду перехресть [115].

Оскільки найскладніші ситуації з проїздом перехресть з жорстким циклом регулювання можуть виникати саме на них, то в цьому дослідженні брались до уваги саме вони. Серед них особливої уваги заслуговують ті, які мають основний магістральний потік з високою інтенсивністю. Досліджувались довжини таких перехресть в магістральному напрямку, ширини усіх вулиць, які утворюють ці перехрестя, типи та рівності дорожніх покриттів, наявність тролейбусних ліній та трамвайних колій.

Проаналізовано також для цих перехресть структуру ТП, наприклад, магістральний потік для перехрестя вул. Стрийська – Франка становить 1046 од./год. Розгінні швидкості, виміряні з використанням приладу SPRINT SG-2 [46], становили 11,02 км/год [103]. Тривалість світлофорного циклу – 70 с. Натурними дослідженнями, з залученням дослідників та відеозйомки, для цього ж перехрестя виявлено відповідні черги ТЗ (конкретні дані для ранкового і вечірнього «час-пік») [115].

Для перехрестя вул. Стрийська – Франка тривалість циклу становить 70 с; ефективна частка в циклі регулювання – 36 с; ступінь насичення фази – 0,76; інтенсивність руху – 1046 зв. авт./год. Отже, розрахункова тривалість затримки – 15,97 с. Фактична середня тривалість затримки, отримана натурними дослідженнями на цьому ж перехресті, становила 28,3 с [115].

Аналогічним чином були розраховані затримки для інших перехресть, крім тих, на яких інтенсивність ТП перевищувала 1200 од./год. На затримки істотно впливали розташування різних ТЗ перед стоп-лінією: якщо першим був вантажний автомобіль або автобус, фактичні значення затримок були значно більшими, ніж розрахункові, що зумовлено низькими їх розгінними швидкостями, порівняно з легковими автомобілями. Цю особливість встановлювали з використанням приладу SPRINT SG-2 [46], який був змонтований у салоні маршрутних автобусів LAZ-A183D1. Дослідження виконувались у літні вечірні пікові періоди на перших двох перехрестях (табл. 3.4).

Отримані результати обстеження техніко-технологічних параметрів перехресть ВДМ міста та особливостей проїзду по них транспортних потоків різної структури свідчать про те, що користуватися в сучасних умовах традиційними методами проектування та розрахунку показників їх функціонування недоцільно, оскільки вони не у достатній мірі відтворюють реальні ситуації. Неврахування у цих методах типів та станів дорожніх покриттів, структури транспортних потоків та технічного стану в них автомобілів призводить до отримання заниженої тривалості горіння дозвільного сигналу на магістральному напрямку і як результат – зростання затримок ТЗ у ньому. Цю

тривалість можна визначити для різних варіантів поєднань технічного стану дорожніх покриттів та рівнів зношеності ТЗ і структур потоків з використанням сучасного програмного продукту VISSIM [115].

Таблиця 3.4 – Технологічні параметри проїзду перехресть

Назва перехрестя	Тривалість світлофорного циклу (зеленого сигналу в магістральному напрямку), с	Сумарна інтенсивність руху в магістральному напрямку, зв. од./год	Структура транспортного потoku	Середні швидкість та тривалість проїзду перехрестя першими автомобілями з черги	
				км/год	с
1	2	3	4	5	6
вул. Стрийська – Франка	70 (36)	1046	Л – 88%, В – 8%, А – 2%, Т – 1%, Тр – 1%	11,02	9,57
вул. Стрийська – Сахарова	63 (26)	1344	Л – 80%, В – 16%, А – 3%, Тр – 1%	18,64	9,06
вул. Героїв УПА – Бандери	56 (32)	936	Л – 81%, В – 11%, А – 5%, Т – 2%, Тр – 1%	12,57	9,02
вул. Антоновича – Бандери	59 (28)	1066	Л – 87%, В – 6%, А – 5%, Т – 1%, Тр – 1%	16,17	8,08
вул. Антоновича – Залізняка	43 (28)	954	Л – 87%, В – 6%, А – 6%, Тр – 1%	15,74	5,33
вул. Пасічна – Вашингтона	70 (37)	1234	Л – 81%, В – 13%, А – 6%	19,66	9,63
вул. Варшавська – Тунельна	56 (17)	1520	Л – 59%, В – 39%, А – 2%	20,20	10,37

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
вул. Липинського – Замарстинівська	70 (40)	2232	Л – 66%, В – 20%, А – 13%, Т – 1%	22,22	8,62
вул. Мазепи – Миколайчука	56 (32)	1610	Л – 63%, В – 24%, А – 11%, Тр – 2%	16,11	9,05
вул. Шевченка – Левандівська	64 (20)	1154	Л – 65%, В – 22%, А – 13%, Т – 1%	12,47	11,43
<i>Примітка:</i> склад ТП: Л – легкові автомобілі, В – вантажні автомобілі, А – автобуси, Т – трамваї, Тр – тролейбуси					

Результати отримано вимірюванням розгінних швидкостей автобусів V_p з різними кумулятивними пробігами (125,8-161,2 тис. км) упродовж 5 секунд руху через перехрестя. Встановлена лінійна залежність цих швидкостей від тривалості проїзду t_p [103]:

$$V_p = 3,5711t_p + 0,2205. \quad (3.1)$$

У розрахунках тривалості жорстких світлофорних циклів приймають умови ідеальної рівності дорожніх покриттів і рівномірності проїзду перехресть. Однак, відомо, що регульовані (нерегульовані) перехрестя, особливо з трамвайними коліями, не завжди за показником рівності покриттів відповідають вимогам [104].

Обстеженням перехресть магістральної вул. Липинського, зокрема з вул. Замарстинівська та вул. Промислова (відстань між ними 1,5 км) виявлено, що перше перехрестя знаходиться у вкрай незадовільному стані: головки трамвайних рейок в окремих місцях виступають на 8-10 см над ПЧ, наявна значна кількість вибоїн з заглибленнями 5-12 см. Показники рівності другого відповідають нормативам. У зв'язку з наведеним, ставилось завдання, дослідити швидкості проїзду транспортних потоків по цій магістралі в зоні названих перехресть [104].

Результати дослідження показують, що швидкість проїзду транспортними засобами перехресть з якісним дорожнім покриттям у 3 рази перевищує швидкість

проїзду перехрестя з дефектами покриття. У даному разі можна говорити про те, що не склад транспортного потоку впливає на інтенсивність проїзду його через «дефектне» перехрестя, а ступінь рівності покриття. У зв'язку з нерівностями проїзної частини черга автомобілів, яка утворилася за час горіння червоного сигналу не встигає роз'їхатися на перехресті вул. Липинського – Замарстинівська, хоча тривалість дозвільного сигналу достатня, $t_3 = 30$ с. Вона є достатньою, оскільки за такого самого складу транспортного потоку на перехресті вул. Липинського – Промислова і майже однакової тривалості горіння зеленого сигналу ($t_3 = 34$ с), уся черга встигає роз'їхатися [104].

Львівська міська вулично-дорожня мережа нараховує 18442 перехрестя, з яких 112 регульованих, в тому числі 70 – на магістральних вулицях. Усі вони оснащені, в основному, трисекційними транспортними світлофорами без, або з секціями додаткових сигналів. Більшість регульованих перехресть мають і пішохідні світлофори. Перехрестя з магістральними вулицями у межах історичної частини міста мають як асфальтні, асфальто-бетонні покриття, так і бруківчасті, автомобільні потоки на них перетинаються з 8-ми трамвайними та з 2-ма тролейбусними лініями. У межах внутрішнього кільця, площею $0,92 \text{ км}^2$, яке охоплює в т. ч. історичну частину, є 14 регульованих перехресть з асфальтними і асфальто-бетонними покриттями (5) та з перетином автомобільних потоків з трамвайними (8) і тролейбусними (1) лініями. Зовнішнє кільце охоплює обидві зони і займає площу $8,86 \text{ км}^2$ та характеризується за аналогією такими показниками: 61 регульоване перехрестя; 26 з відповідними покриттями; 25 з трамвайними та 26 тролейбусними лініями [114].

Сучасний стан вулично-дорожньої мережі міст характеризується (особливо у весняний період) значною кількістю локальних дефектів, ямок, нерівностей, виступів. Якщо ідеться про перехрестя з такими дефектами, то вони зумовлюють істотне зниження швидкості їх проїзду. В результаті накопичуються необґрунтовані черги, які призводять до часових втрат перевізників і пасажирів та загазованості повітря в зоні перехресть [104].

На підставі докладного дослідження 10 з 95 ізольованих регульованих перехресть, які є особливо проблемними, встановлено (табл. 3.5), що серед усіх перших переважають Х-подібні з довжинами в напрямку магістрального потоку від 23,3 до 58,1 м. Ширини вулиць магістрального потоку лежать в межах від 7,2 до 17,8 м; переважають асфальтобетонні покриття. Максимальні нерівності дорожнього покриття, виміряні з використанням 3-метрової рейки [37], лежать в межах від 10 до 60 мм [115]. Дорожні покриття в межах перехресть у незадовільному стані – нерівності, виміряні з використанням 3-метрової рейки [37], лежать в межах від 10 до 60 мм [115], є велика кількість місцевих вибоїн, виступи головок рейок над рівнем покриття від 12 до 45 мм. Згідно з ДСТУ 3587-97 [7], не допускаються виступи головок рейок трамвайних колій, розташованих в межах проїжджої частини, відносно поверхні дорожнього покриття більше, ніж на 2 см. Оцінку нерівностей дорожніх покриттів на перехрестях і в околі них здійснювали на основі результатів натурних досліджень за відомою методикою з використанням 3-метрової рейки з точністю до 5 мм.

Обстеженням рівності різних типів дорожніх покриттів на цих перехрестях, виявлено (особливо для тих, які утворюються магістральними вулицями, на яких асфальтобетонне покриття, а безпосередньо на перехресті з бруківчастим велику кількість вибоїн та напливів. До цих дефектів додаються значні виступи головок рейок трамвайних колій (рис. 3.2) [115].

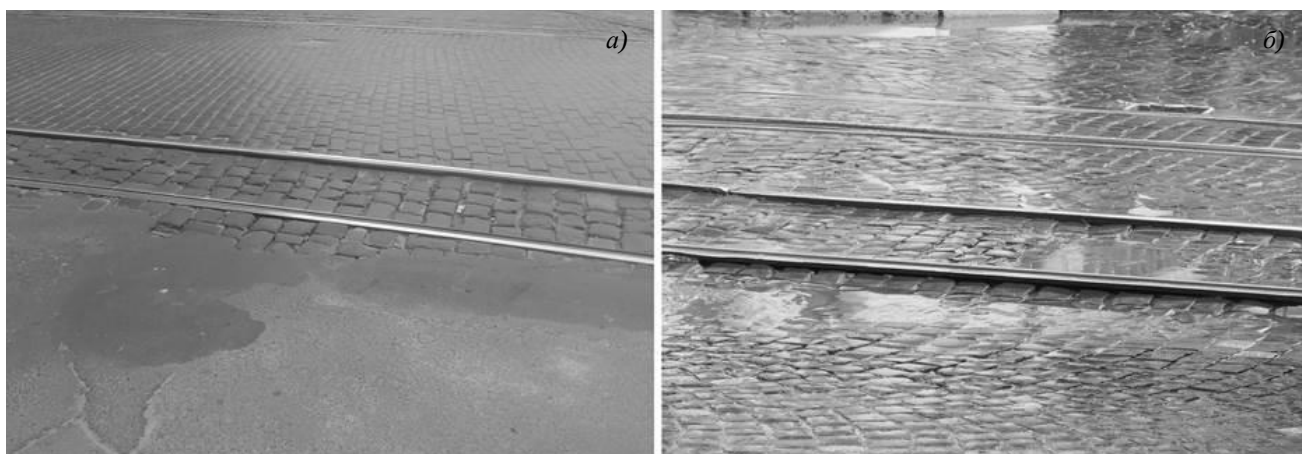


Рисунок 3.2 – Приклади дефектів дорожніх покриттів і виступів головок трамвайних колій на перехрестях м. Львова

Таблиця 3.5 – Технічні параметри перехресть (геометрія, типи та рівність покрить)

Назва перехрестя	Магістральна вулиця	Геометрія перехрестя		Тип покриття ПЧ магістрал. напрямку до, на та після перехрестя	Наявність трамвайн. колій (тролейб. ліній) на перехресті	Рівність дорожнього покриття за 3-метровою рейкою, мм	
		довжина перехрестя в магістрал. напрям., м	ширина вулиці магістрал. напрям., м			фактична	норматив [98]
1	2	3	4	5	6	7	8
вул. Стрийська – Франка	вул. Стрийська	29,30	10,60	б – б – а/б	+ (+)	30*	10
вул. Стрийська – Сахарова	вул. Стрийська	46,90	17,80	а/б – а/б – а/б	- (+)	10	10
вул. Героїв УПА – Бандери	вул. Героїв УПА	31,50	7,60	а/б – б – а/б	+ (+)	50*	10
вул. Антоновича – Бандери	вул. Антоновича	36,30	7,20	а/б – б – а/б	+ (+)	50*	10
вул. Антоновича – Залізняка	вул. Антоновича	23,30	7,20	а/б – а/б – а/б	- (+)	30	10

Інтенсивність транспортних потоків на магістральних напрямках – 1200 авт./год. з таким складом (опосередковані значення): вантажних автомобілів – 10%, легкових – 65%, автобуси – 20%, тролейбуси – 5%.

Попередніми дослідженнями встановлено, що регульовані (нерегульовані) перехрестя, особливо з трамвайними коліями, не завжди за показником рівності покриття відповідають вимогам.

З використанням відеозйомки на перехрестях магістральної вул. Липинського з вул. Замарстинівська та вул. Промислова фіксувались умови руху на цих перехрестях. Аналізом отриманих результатів встановлено структуру транспортного потоку та швидкості проїзду перехресть. На перехресті вул. Липинського – Замарстинівська транспортний потік складався з 75% – легкових автомобілів, 16% – автобусів, 9% – вантажних автомобілів. Швидкості руху легкових автомобілів на цьому перехресті були в межах 3-10 км/год, автобусів 3-8 км/год і вантажних автомобілів 3-6 км/год. Такі незначні швидкості проїзду перехресть пояснюються наявністю дефектів дорожнього покриття [104].

Перехрестя вул. Липинського – Промислова має аналогічні планувальні рішення (кількість смуг руху, наявність трамвайної колії). Через нього проїжджає приблизно однаковий з попереднім перехрестям склад транспортного потоку: 81% – легкових автомобілів, 14% – автобусів та 5% – вантажних автомобілів. Проте швидкості проїзду транспортних засобів тут значно вищі: 12-33 км/год – легкові автомобілі; 11-23 км/год – автобуси; 9-15 км/год – вантажні автомобілі.

З використанням методики математичного опрацювання статистичних даних знайдено числові характеристики розподілу швидкості проїзду транспортного потоку по цих перехрестях (математичне сподівання, дисперсію та середнє квадратичне відхилення). Для перехрестя вул. Липинського – Замарстинівська: математичне сподівання – $M(V) = 5,48$ км/год, дисперсія – $D(V) = 2,36$ км/год, середнє квадратичне відхилення – $\sigma(V) = 1,54$ км/год. Для перехрестя вул. Липинського – Промислова: математичне сподівання – $M(V) = 16,61$ км/год, дисперсія – $D(V) = 21,14$ км/год, середнє квадратичне відхилення –

$\sigma(V) = 4,59$ км/год. Гістограми і теоретичні криві швидкостей проїзду обох перехресть підпорядковані гамма-розподілу (рис. 3.3). Значення критерію згоди χ^2 становить: для перехрестя вул. Липинського – Замарстинівська – $\chi^2 = 3,74$, вул. Липинського – Промислова – $\chi^2 = 1,42$. Це свідчить про достатньо високий рівень узгодження експериментальних розподілів з теоретичним гамма-розподілом, для першого $P(\chi^2) = 0,29$ і $P(\chi^2) = 0,84$ для другого.

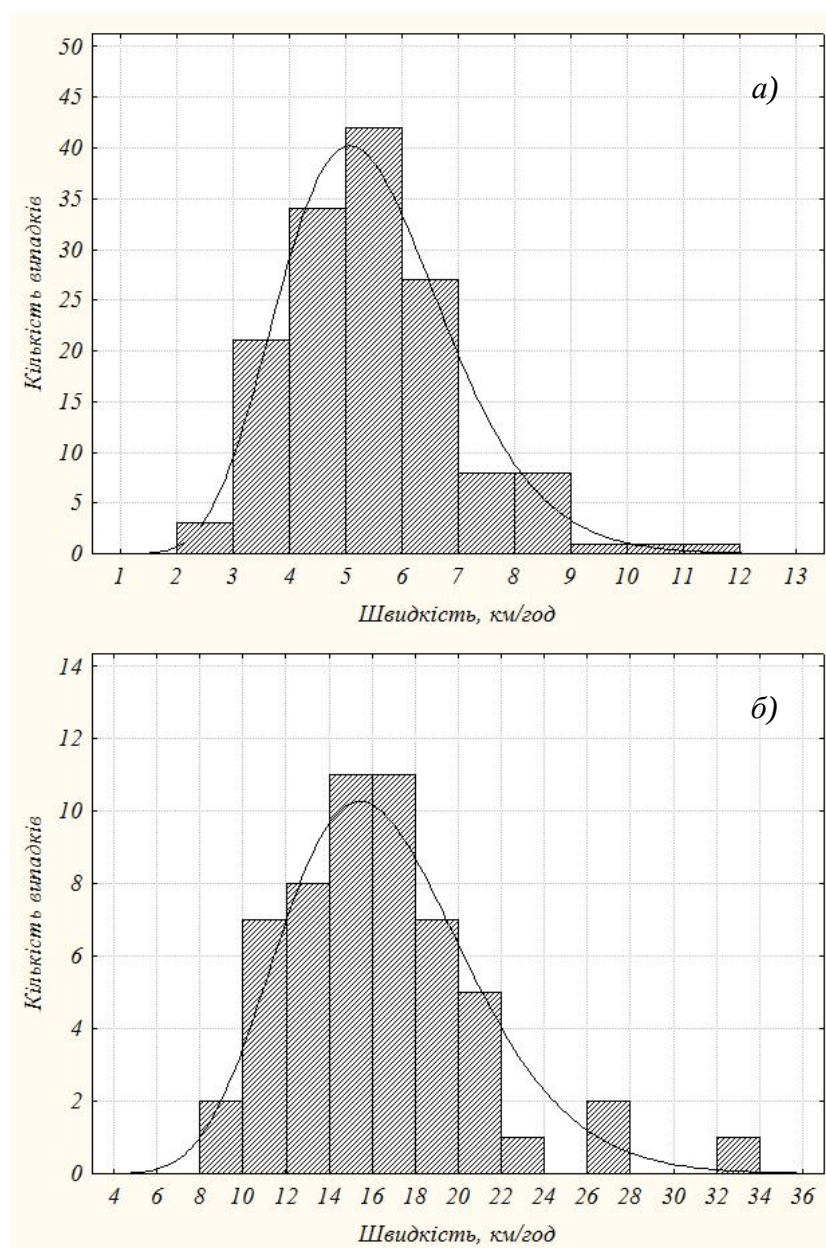


Рисунок 3.3 – Гістограми і теоретичні криві розподілів швидкостей проїзду перехресть вул. Липинського – Замарстинівська (а) та вул. Липинського – Промислова (б)

Тут можна говорити про те, що не склад ТП впливає на інтенсивність проїзду його через «дефектне» перехрестя, а ступінь рівності покриття. У зв'язку з нерівностями ПЧ черга ТЗ, яка утворилася за час горіння червоного сигналу не встигає роз'їхатися на перехресті вул. Липинського – Замарстинівська, хоча тривалість дозвільного сигналу достатня, $t_3 = 30$ с. Вона є достатньою, оскільки за такого самого складу ТП на цьому перехресті і майже однакової тривалості горіння зеленого сигналу ($t_3 = 34$ с), уся черга встигає роз'їхатися [104].

Щодо зміни інтенсивності транспортних потоків, то наприклад, інтенсивність їх на магістральній вулиці Стрийська у зоні перехрестя з вул. Володимира Великого зросла за 30 років для різних напрямів: а) у прямому до вул. Наукової – у 3,56 разів (312 авт./год у 1980 році і 1110 авт./год у 2010 році); б) з цього ж напрямку поворот праворуч на вул. Володимира Великого – в 1,66 разів (відповідно 390 та 648); в) у прямому від вул. Наукової до вул. Лазаренка – в 1,48 разів (542 та 800); г) з вул. Володимира Великого поворот праворуч на вул. Стрийську – у 7,37 разів (60 та 442); д) з цієї ж вулиці поворот праворуч – в 11,73 разів (45 та 528). Сумарна інтенсивність ТП в обох напрямках на цій магістральній вулиці зросла у 2,06 разів (622 та 1279) [114].

З метою мінімізації черг перед перехрестями відповідним чином обґрунтовуються тривалості світлофорних циклів. Одним із визначальних параметрів, який входить у формулу для розрахунку тривалості світлофорного циклу є зведена до легкового автомобіля інтенсивність ТП [103]. Коефіцієнти зведення враховують лише динамічний габарит [31, 62], проте однакові за розмірами і різні за видами та марками ТЗ можуть мати і різну відповідну тягову динамічність, яка, крім цього, буде різною і з прив'язкою до їх технічного стану. На останній, як відомо, впливає кумулятивний пробіг (термін служби) ТЗ [106]. З ростом його рівень технічного стану знижується і, зрештою, погіршуються стартові та розгінні показники, які визначають швидкість проїзду перехресть. Якщо, крім цього, враховувати неякісні дорожні покриття у зоні перехресть, то, очевидно, дію цих чинників потрібно уводити у програму розрахунків для коректування тривалості світлофорних циклів.

3.1.2 Методика дослідження розгінних швидкостей ТЗ з різними кумулятивними пробігами

Науковці з ДонНТУ відмічають [67], що при роз'їзді черги обмеженням в русі для першого автомобіля є його тягово-швидкісні характеристики. Для усіх інших обмеженнями є лише інтервал безпеки до ТЗ, що рухається попереду. У роботі [19] вказується, що на потік насичення впливає розташування ТЗ перед стоп-лінією (спочатку вантажний, а потім легковий або навпаки). Про те, що в оптимізації розрахунку світлофорних циклів потрібно враховувати технічний стан ТЗ сказано в [27], у якій регульоване перехрестя подається одноканальною системою масового обслуговування. Однак результати розрахунків тривалості руху ТЗ через перехрестя отримані лише з урахуванням його габаритних розмірів і тягових властивостей [103].

На основі викладеного в попередніх підрозділах можна констатувати, що не всі проаналізовані чинники належним чином відображають особливість впливу в конкретних реальних ситуаціях проїзду ТП регульованих перехресть. Крім цього, як показує сучасна практика, не можна нехтувати такими чинниками, як: рівність дорожнього покриття, як на перехресті, так і на прогонах; динамічними характеристиками різних типів ТЗ та їх технічним станом; частки цих ТЗ у чергах перед перехрестями. У зв'язку з останнім, вважаємо не коректним зведення ТП різної структури до потоку легкових автомобілів через коефіцієнти зведення. Існуючий підхід з використанням коефіцієнтів зведення дає неадекватну оцінку затримок у проїзді перехресть, довжин черг перед ними, що відбивається на невідповідності тривалості світлофорних циклів реальним ситуаціям.

Не зважаючи на отримані, так звані, остаточні значення коефіцієнтів зведення до легкового автомобіля для ТП, який проїжджає регульоване перехрестя, залишається відкритим питання, для автомобілів, з яким технічним станом визначені ці коефіцієнти. Адже динамічні габарити їх не постійні (без врахування швидкості руху) – погіршується технічний стан і в результаті знижуються показники тягової та гальмівної динамічності. Отже, актуалізується

потреба у розв'язанні задачі щодо встановлення такого впливу, наприкладі тягової динамічності вантажних ТЗ.

Відчутне погіршення показників тягової динамічності з ростом кумулятивних пробігів у значній мірі характерне для вантажних ТЗ і автобусів (особливо завантажених) через несвоєчасне виконання ремонтів, у першу чергу двигунів. Це, зокрема, стосується ремонту деталей циліндро-поршневої групи, якою забезпечується якісне проходження робочих процесів згоряння паливної суміші та отримання відповідної потужності двигунів. Якщо ці деталі зношені, то двигун не видає номінальної ефективної потужності, в результаті чого знижуються крутний момент на колінчастому валу та тягові зусилля на ведучих колесах ТЗ. Це погіршує його динаміку, видовжує процес старту при увімкненні дозвільного сигналу світлофора, зменшує швидкість проїзду перехрестя.

Нехай значення тиску у циліндрах нового двигуна ЗМЗ-53 автомобіля ГАЗ-53А на такті стиску на підході поршня до в.м.т. у мить, коли зайнялася паливна суміш, становить $p_c = 2,2 \text{ МПа}$. Автомобіль такої ж марки, який прослужив, наприклад, 5 років (на одометрі 250 тис.км), зі зношеними робочими поверхнями гільз циліндрів, бокових поверхонь поршнів та компресійних кілець (в т.ч. знизилась і їх пружність), виміряна компресія на цьому ж такті $p_{c.в} = 1,8 \text{ МПа}$. З урахуванням зміни в результаті зносів середнього індикаторного тиску $p_i = 0,85 \text{ МПа}$ та з урахуванням постійності тиску механічних втрат $p_m = 0,17 \text{ МПа}$ (оскільки швидкість поршнів незмінна), отримуємо ефективний тиск у двигуна зі зношеними деталями ЦПГ:

$$p_e = p_i - p_m = 0,85 - 0,17 = 0,68 \text{ МПа}. \quad (3.2)$$

У такому разі зношений чотиритактний ($\tau = 4$) бензиновий двигун вантажного автомобіля з робочим об'ємом циліндрів $V_h = 4,25 \text{ дм}^3$ та з максимальною частотою обертання колінчастого валу $n = 3200 \text{ хв}^{-1}$, розвиватиме таку ефективну потужність [30, 106]:

$$N_{e.зн} = \frac{p_e v_h n}{30\tau} = \frac{0,68 \cdot 4,25 \cdot 3200}{30 \cdot 4} = 71,69 \text{ кВт}. \quad (3.3)$$

Крутний момент на валу цього двигуна становитиме [30, 106]:

$$M_{кр.зн} = \frac{3 \cdot 10^4 N_{e.зн}}{\pi n} = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot 71,69}{3,14 \cdot 3200} = 214,04 \text{ Нм}. \quad (3.4)$$

У той же час, зважаючи на те, що у нового (незношеного) двигуна $p_c = 2,2 \text{ МПа}$, з індикаторним тиском $p_i = 1,0 \text{ МПа}$, для якого ефективний тиск $p_e = 0,83 \text{ МПа}$, його ефективна потужність та крутний момент становлять відповідно, $N_e = 94,07 \text{ кВт}$ та $M_{кр} = 280,86 \text{ Нм}$.

Отже, зниження компресії у циліндрах зношеного двигуна на 18% призводить до падіння його потужності на 22,38 кВт та крутного моменту на валу на 66,82 Нм.

Динаміку автомобіля характеризує тягова сила на ведучих колесах. Відомо, що $M_{кр}$ є основним у визначенні розгінного крутного моменту (оскільки значення коефіцієнта пристосування двигуна до зміни кутової швидкості колінчастого валу неістотне – 0,85-0,90), його можна вважати таким $M_{кр.p}$, який передається через трансмісію до ведучих коліс автомобіля. Очевидно, що зниження розгінного крутного моменту на валу зношеного двигуна призводить до зниження тягової сили на ведучих колесах яка визначиться за формулою [30, 106]:

$$P_{к.зн} = \frac{M_{кр.p} i_k i_o}{r_k} \eta_{mp}, \quad (3.5)$$

де i_k, i_o – передатні числа відповідно коробки зміни швидкостей та головної передачі;

η_{mp} – ККД трансмісії, $\eta_{mp} = 0,80-0,95$;

r_k – радіус кочення колеса; визначається як добуток коефіцієнта деформації шин на вільний радіус колеса, $r_k = \lambda_a r_o$.

В результаті відповідних порівняльних розрахунків тягової сили на ведучих колесах для автомобілів з новим та зношеним двигуном встановлено, що в останніх вона зменшилася на 5332,75 Н з $P_k = 22414,79$ Н до $P_{k.зн} = 17082,04$ Н.

Отримані розрахункові показники зниження потужності та крутного моменту зношеного двигуна підтверджуються раніше виконаними під керівництвом проф. М.І. Іващенко експериментальними експлуатаційними дослідженнями на прикладі вантажних ТЗ [45] та порівняно недавніми щодо двигунів легкових автомобілів [66]. У першій публікації встановлено [45], що нові двигуни вантажних ТЗ на початку експлуатації розвивали потужність 70,56 кВт, а коли кумулятивний пробіг досяг 119860 км потужність зменшилась до 51,80 кВт (на 27%). При цьому радіальний знос робочої поверхні циліндрів на відстані 10 мм від площини роз'єму блока з головкою становив 0,21 мм. Для цих же двигунів крутний момент на колінчастому валу знизився на 24,5%.

Для двигунів легкових ТЗ результатами мікрометражних статистик зношених гільз циліндрів та поршневих кілець встановлено (у межах пробігів від 20 до 210 тис. км) [66], що кожні 0,01мм збільшення діаметра циліндра (за рахунок зносу його робочої поверхні) збільшує зазор у замку поршневих кілець на 0,0314 мм. Зокрема, наприклад, на пробігу ТЗ 100-120 тис. км знос циліндрів становить 0,05 мм, у результаті чого зазор у замку зріс до 0,16 мм. Ріст зазору пояснюється зміною радіальної товщини кілець у результаті зношування їх робочих поверхонь та робочих поверхонь циліндрів. На пробігу ТЗ 140-160 тис. км зазори у замках поршневих кілець можуть сягати 2,0-3,0 мм, порівняно з зазорами нових двигунів 0,20-0,35 мм. Усе це призводить до зниження потужності на 9% (358,7 до 53,42 кВт) та компресії у циліндрах – на 6% (31,25 до 1,18 МПа).

За усіма наведеними розрахунковими та експериментальними результатами можна стверджувати, що знос деталей ЦПГ двигунів має істотний вплив на зниження показників тягової динамічності ТЗ, зокрема, на їх розгінні швидкості. Цей факт впливатиме на динаміку транспортних потоків, у т.ч. на динаміку

проїзду регульованих перехресть оскільки у структурі будь-якого ТП є автомобілі з різними кумулятивними пробігами.

Викладене засвідчує, що динамічні характеристики (на прикладі тягової динамічності) автомобіля напряду залежать від технічного стану його двигуна, зокрема від ступеня зносу деталей ЦПГ. Зростання їх зносу супроводжує втрату компресії, зниження індикаторного тиску, потужності двигуна та крутного моменту колінчастого вала й, зрештою, тягової сили на ведучих колесах. Очевидно, що останнє впливає не тільки на динаміку руху ТП на перегонах між перехрестями, але й на тривалість проїзду їх. Цей вплив проявляється особливо у ситуації, коли такий вантажний ТЗ стоїть перед стоп-лінією першим. При рушанні на зелений сигнал світлофора, через погіршену тягову динаміку він сповільнюватиме проїзд перехрестя іншими учасниками транспортного потоку. Отже, у розрахунках тривалості світлофорних циклів потрібно враховувати не лише коефіцієнти зведення різних видів транспортних засобів до легкового автомобіля за динамічним габаритом, але й за динамічними характеристиками, які пов'язані з термінами служби їх (особливо вантажних автомобілів, автобусів), ріст яких знижує динаміку проїзду перехресть. Доречно додати до цього, що на динаміку проїзду також має вплив поздовжня рівність їх покриттів.

Відчутне погіршення показників тягової динамічності з ростом кумулятивних пробігів у значній мірі характерне для вантажних автомобілів і автобусів (особливо завантажених) через несвоєчасне виконання ремонтів, у першу чергу двигунів [113]. Це, зокрема, стосується ремонту деталей ЦПГ, якою забезпечується якісне проходження робочих процесів згоряння паливної суміші та отримання відповідної потужності двигунів. Якщо ці деталі зношені, то двигун не видає номінальної ефективної потужності, в результаті чого знижується крутний момент на колінчастому валу та тягові зусилля на ведучих колесах ТЗ. Це знижує його динаміку, видовжує процес старту при увімкненні дозвільного сигналу світлофора, зменшує швидкість проїзду перехрестя [103].

З метою перевірки і підтвердження розрахункових даних, виконувались натурні дослідження динамічності ТЗ (на прикладі рейсових автобусів LAZ-

A183D1 на відповідних маршрутах) з різними кумулятивними пробігами на вулично-дорожній мережі м. Львова. Дослідження виконувались у денну сонячну пору доби з використанням приладу SPRINT SG-2, який дає можливість визначити пришвидшення і сповільнення, швидкість, шлях та час руху [46]. З допомогою цього приладу реєструвалися стартові можливості (розгінні швидкості) автобусів з різними кумулятивними пробігами. Загальна кількість перехресть різних типів, по яких проїжджали рейсові маршрутні автобуси, становила 11 (табл. 3.6). Для порівняння вибиралися автобуси однакових марок (LAZ-A183D1) з такими кумулятивними пробігами: 125,8, 153,3 і 161,2 тис. км. Жоден з автобусів та їх двигунів не проходили капітального ремонту. Наповненість салонів пасажирями на маршрутах була приблизно однаковою – 80 % (розбіжність ± 5 осіб). У дослідженнях брали участь водії зі стажем водіння 8-10 років. Загальна кількість рейсів – 12 [103].

Таблиця 3.6 – Технічні параметри перехресть, по яких проїжджали автобуси LAZ-A183D1 під час досліджень

№ з/л	Назва перехрестя	Тип покриття ПЧ у напрямку руху автобуса (до, на та після перехрестя)	Наявність трамвайних колій на перехресті	Кількість смуг на перехресті в напрямку руху автобуса	Наявність виділеної смуги для руху автобуса на перехресті
1	2	3	4	5	6
1	просп. Свободи – просп. Чорновола	а/б – б – б	+	4	-
2	просп. Свободи – вул. Гнатюка	б – б – б	-	3	+
3	просп. Свободи – вул. Дорошенка	б – б – б	+	3	+
4	просп. Свободи – вул. Коперника	б – б – б	-	3	+

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6
5	вул. Князя Романа – вул. Франка	б – б – б	+	1	-
6	вул. Стрийська – вул. Франка	а/б – б – б	+	1	-
7	вул. Стрийська – вул. Сахарова	а/б – а/б – а/б	-	2	-
8	вул. Стрийська – вул. Чмоли	а/б – а/б – а/б	-	2	-
9	вул. Стрийська – вул. В. Великого	а/б – а/б – а/б	-	2	-
10	вул. Стрийська – вул. Наукова	а/б – а/б – а/б	-	3	-
11	вул. Стрийська – вул. Максимовича	а/б – а/б – а/б	-	3	-
Примітка: тип дорожнього покриття: а/б – асфальтобетон, б – бруківка; наявність трамвайних колій (виділеної смуги для руху автобусів): «+» – наявна, «-» – відсутня.					

Прилад SPRINT SG-2 дав змогу реєструвати розгінні швидкості автобусів, які стояли першими перед стоп-лінією перехрестя, так і в інших місцях черги. Показники розгінних швидкостей реєструвалися на приладі впродовж перших 5 с. руху. В результаті отримано такі розгінні характеристики, наприклад, для проїзду перехрестя вул. Стрийська – Наукова рейсовими автобусами маршруту № 3а з вказаними вище кумулятивними пробігами (рис. 3.4) [103].

З наведеного видно, що автобуси з кумулятивним пробігом 161,2 тис. км розвивають стартову швидкість протягом 5 с 17,79 км/год, а з меншим (125,8 тис. км) за цей же час 24,08 км/год. Тобто приріст кумулятивного пробігу на 35,4 тис. км зумовив зниження розгінної швидкості на 26,1 %.

Опрацювання відповідних статистик розгінних швидкостей цих автобусів по усіх решта 11 перехрестях підтвердили аналогічну, до наведеного прикладу, тенденцію зниження тягово-швидкісних показників (рис.3.5).

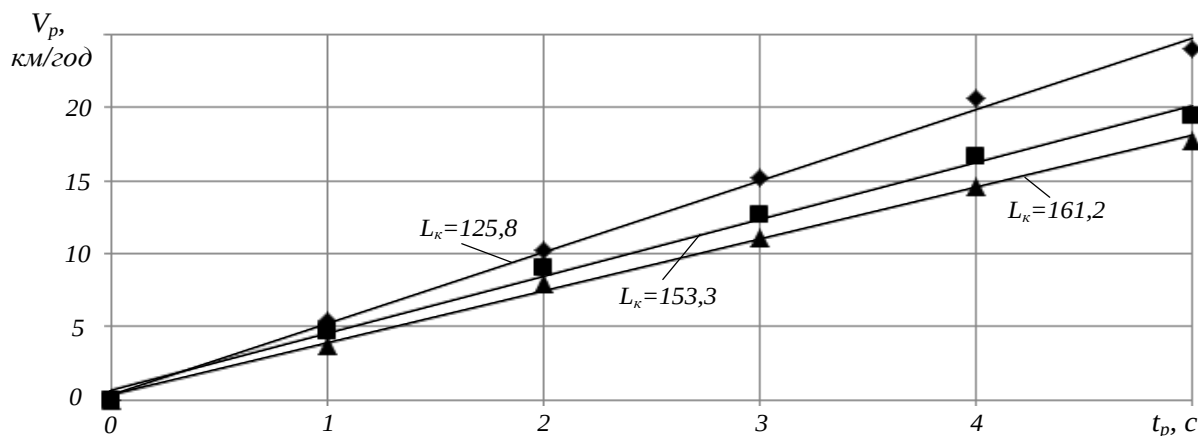


Рисунок 3.4 – Вплив кумулятивного пробігу автобусів (у тис. км) на їх розгінну швидкість на перехресті вул. Стрийська – Наукова (перші перед стоп-лінією)

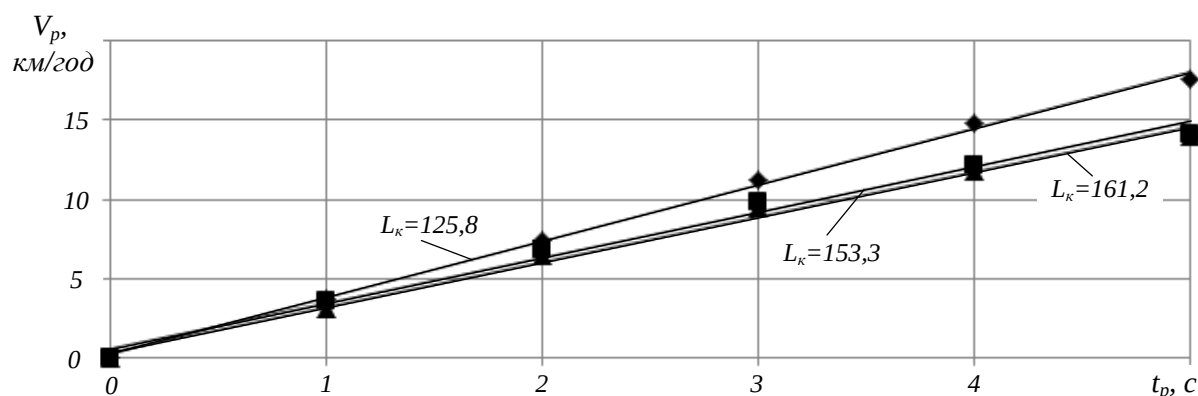


Рисунок 3.5 – Вплив кумулятивного пробігу автобусів (у тис. км) на їх розгінну швидкість (опосередковані дані) під час проїзду усіх 11 перехресть (перші та в інших місцях черги перед стоп лінією)

Результати опрацювання отриманих даних розгінних швидкостей автобусів під час проїзду першого перехрестя та решта 11 з відповідними рівняннями наведені у табл. 3.7. Приклад запису (на приладі SPRINT SG-2) прискорення і швидкості автобусів LAZ-A183D1, які проїжджають перехрестя вул. Стрийська –

Наукова наведено на рис. 3.6. Результати проїзду іншого регульованого перехрестя вул. Стрийська – Сахарова – у Додатку В.

Якщо розрахунками у [68] було встановлено зниження тягових сил на ведучих колесах від терміну служби ТЗ в межах 23,8 %, то результати натурних досліджень розгінних характеристик від кумулятивного пробігу (терміну служби) показують зниження їх на 26,1 %. Це засвідчує прямий взаємозв'язок між термінами служби ТЗ (кумулятивними пробігами) та динамікою руху (розгінними швидкостями), який зумовлений зниженням рівня їх технічного стану [103].

Таблиця 3.7 – Середня посекудна розгінна швидкість руху автобусів на перехрестях

Кумулятив- ний пробіг автобуса, тис. км	Швидкість руху по секундах, км/год					Рівняння апроксимації	Коефіцієнт детермінації, R ²	№ формули
	1	2	3	4	5			
на перехресті вул. Стрийська – Наукова								
125,8	5,43	10,22	15,16	20,65	24,08	$V_p = 4,8857t_p + 0,3757$	0,9970	3.6
153,3	4,72	9,00	12,73	16,64	19,49	$V_p = 3,9126t_p + 0,6486$	0,9945	3.7
161,2	3,73	7,93	11,11	14,56	17,79	$V_p = 3,5606t_p + 0,2852$	0,9978	3.8
на усіх 11 решта перехрестях								
125,8	3,77	7,45	11,26	14,78	17,63	$V_p = 3,5711t_p + 0,2205$	0,9980	3.9
153,3	3,60	6,87	9,81	12,20	14,17	$V_p = 2,8454t_p + 0,6614$	0,9886	3.10
161,2	3,14	6,48	9,51	11,82	13,97	$V_p = 2,8263t_p + 0,4210$	0,9924	3.11

Отримані результати експериментальних досліджень зниження на 26,1 % розгінних (стартових) швидкостей проїзду автобусів через перехрестя з різними кумулятивними пробігами (125,8 тис. км та 161,2 тис. км) підтверджують попередньо встановлені розрахунками [106] зниження на 24,8 % тягових сил на ведучих колесах ТЗ зі зношеними деталями ДВЗ. Це зумовлює потребу

врахування динамічних властивостей ТЗ з різним технічним станом у розрахунках потоків насичення та тривалості світлофорних циклів [113], які адекватніше характеризуватимуть динаміку транспортного потоку в цілому, і, в результаті, дасть змогу знизити величини черг та тривалості затримок перед перехрестями.

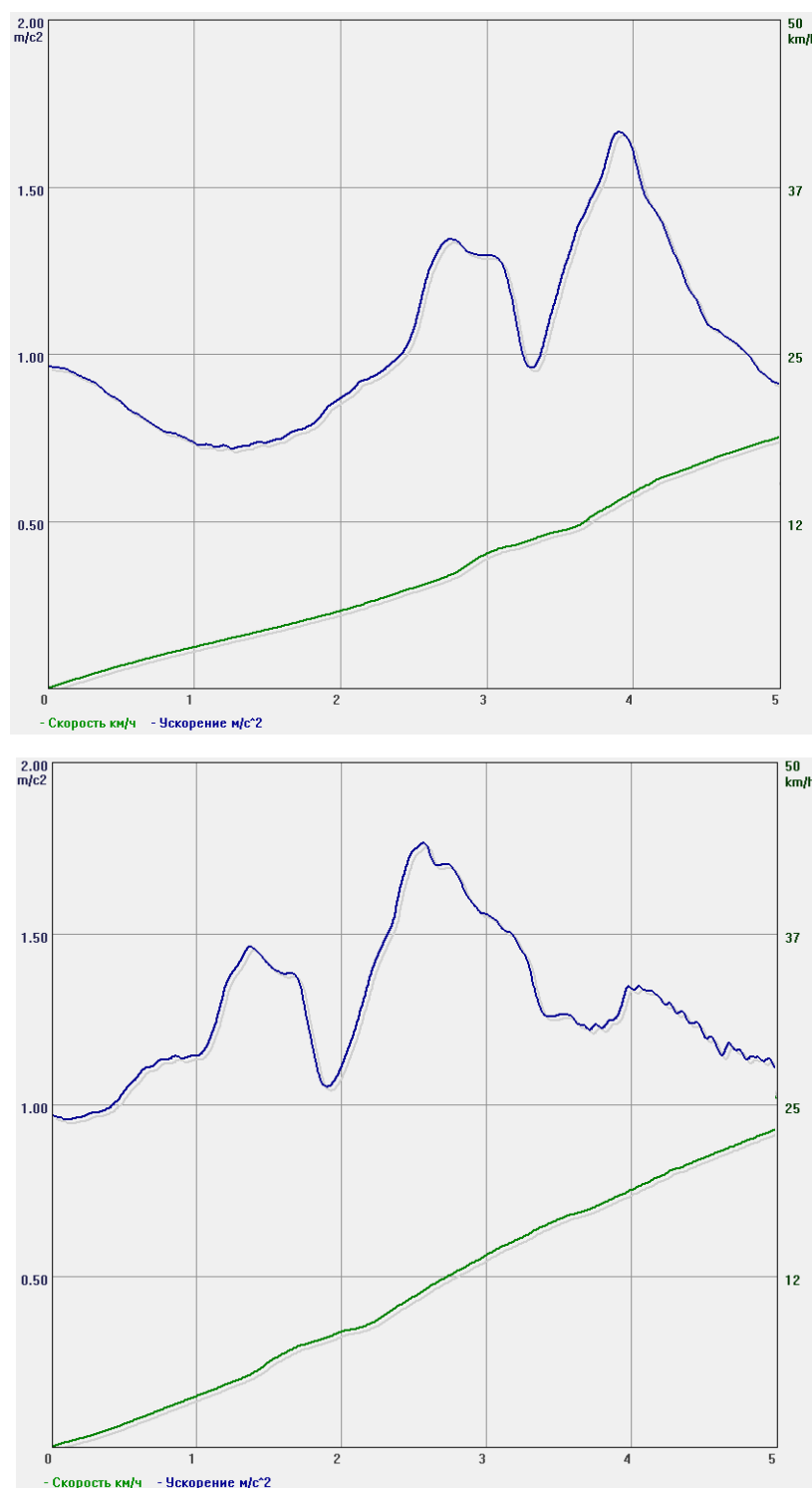


Рисунок 3.6 – Запис прискорення і швидкості автобуса LAZ-A183D1 на приладі SPRINT SG-2, який проїжджає перехрестя вул. Стрийська – Наукова

Із застосуванням традиційних методик натурних досліджень транспортних потоків на ВДМ міст й опрацюванням (з використанням програми MS Office Excel) їх результатів визначались числові характеристики розподілу миттєвих швидкостей ТЗ на прогонах між перехрестями та безпосередньо на них, часових інтервалів, структур ТП, а також величин черг ТЗ перед перехрестями. Збір відповідних даних на ВДМ фіксувався як на відеокамери, так і у спеціальні таблиці. Точність швидкісних характеристик була у межах 2-3 км/год., часових інтервалів – 1-2 с [102].

3.2 Методика виконання теоретичних досліджень з використанням моделювання в середовищі VISSIM

Моделювання проїзду ТП (роботи регульованих перехресть) через досліджувані регульовані перехрестя виконували з використанням програмного продукту VISSIM [87].

У моделі перехрестям вважається частина відрізка довжиною від 5 м до 50 м, розташована за стоп-лінією (світлофором). Зона довжиною 5 м імітує, наприклад, нерівності чи вибоїни на покритті або малі радіуси заокруглень для правоповоротних потоків. Перехрестя моделюється як зона малошвидкісного руху. При цьому обмеження швидкості змінюються від 10 км/год до 55 км/год з інтервалом 5 км/год (обмеження швидкості 45 км/год і більше впливає на легкові та вантажні автомобілі, 50 км/год та 55 км/год – лише на легкові автомобілі). За ідеального випадку ділянка обмеження швидкості відсутня. Тривалість світлофорного циклу на перехресті становить 50 с, а тривалість дозвільного сигналу – 25 с. Такі параметри роботи світлофора дають змогу на момент ввімкнення дозвільного сигналу створити чергу довжиною не менше 10-15 ТЗ, які встигають протягом цього сигналу проїхати перехрестя [107, 110, 125].

У середовищі VISSIM немає можливості фіксувати безпосередньо потік насичення. Тому потрібно фіксувати момент ввімкнення дозвільного сигналу та моменти перетину ТЗ стоп-лінії, враховуючи тип кожного з них. Далше ці дані

опрацьовувались за методикою, що базується на методиці натурних досліджень потоку насичення, наведеній у [57]:

- 1) при ввімкненні дозвільного сигналу реєструвати транспортні засоби, що перетинають стоп-лінію на смузі руху;
- 2) зафіксувати момент перетину стоп-лінії останнім автомобілем з черги;
- 3) звести змішаний транспортний потік, що перетнув стоп-лінію, до потоку легкових автомобілів (використовуються коефіцієнти зведення для регульованого перехрестя, наведені в [62]);
- 4) повторити вимірювання 20 разів;
- 5) визначити потік насичення за формулою:

$$S = \frac{3600}{n} \left(\frac{m_1}{t_1} + \frac{m_2}{t_2} + \dots + \frac{m_n}{t_n} \right), \quad (3.12)$$

де n – кількість дослідів ($n=20$);

m_n – кількість зведених транспортних засобів, які перетнули стоп-лінію;

t_n – різниця між моментом перетину стоп-лінії останнім автомобілем з черги та моментом ввімкнення дозвільного сигналу для цієї групи автомобілів.

З метою перевірки адекватності моделі потоку насичення фізичному функціонуванню ізолюваного регульованого перехрестя з нерівностями ПЧ бралися до уваги обмеження швидкості проїзду ТП та довжину ділянки її обмеження (табл. 3.8). Обмеження швидкості 60 км/год відповідає ідеальному випадку, коли швидкість проїзду перехрестя обмежується лише вимогами Правил дорожнього руху.

В результаті отримано степеневу залежність (2.6) для якої коефіцієнти підібрано засобами регресійного аналізу з використанням середовища MATLAB та пакету Surface Fitting Toolbox [72, 125].

Для перевірки адекватності цієї моделі розраховано відхилення експериментальних даних $S_{i,j}^{експ}$, отриманих в результаті моделювання в

середовищі VISSIM, від розрахункових $S_{i,j}^{розр}$, отриманих за залежністю (2.6), за формулою:

$$err = S_{i,j}^{експ} - S_{i,j}^{розр}. \quad (3.13)$$

Таблиця 3.8 – Результати експериментального дослідження потоку насичення

		Довжина ділянки обмеження швидкості, м									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Значення обмеження швидкості, км/год	10	1098	1125	1026	1009	965	962	970	957	965	960
	15	1488	1433	1396	1336	1357	1353	1329	1317	1286	1286
	20	1787	1677	1715	1686	1695	1666	1660	1628	1629	1648
	25	1958	1942	1937	1914	1957	1926	1915	1924	1920	1912
	30	2014	2043	2016	1981	2013	2010	2000	2014	2010	2012
	35	2094	2051	1953	1945	2052	2064	2075	2038	2068	2056
	40	2130	2128	2087	2104	2117	2129	2036	2120	2130	2121
	45	2159	2141	2106	2122	2121	2171	2146	2151	2151	2152
	50	2158	2137	2126	2123	2166	2167	2087	2119	2152	2159
	55	2158	2165	2122	2122	2064	2168	2151	2183	2164	2150
	60	2103	2103	2103	2103	2103	2103	2103	2103	2103	2103

Видно (рис. 3.7), що відхилення рівномірно розподілені в околі нуля, а їх значення не перевищують 200 авт./год (10 % від розрахункових значень), що вказує на адекватність моделі. На адекватність моделі також вказує уточнений квадрат змішаної кореляції, який становить $adjR^2 = 0,9671$.

Можливості цього програмного продукту є такими, що дозволяють моделювати процеси проїзду за різноманітних варіантів інтенсивностей ТП, їх складу, тривалостей дозвільних сигналів, умов руху на перехресті тощо. У цьому дослідженні обмежились 16-ма варіантами дослідів (табл. 3.9), які найбільш характерні для досліджуваних перехресть. Кожен з цих дослідів реалізовувався

для чотирьох випадків з урахуванням відповідно: 1) коефіцієнтів зведення за О.Г. 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 другорядному напрямках, то загальна кількість дослідів становила 256. В кожному з них виконувалось 6 імітацій тривалістю 4500 с. Моделюванням процесів отримано сумарні та середні затримки для усіх 4 випадків [24].

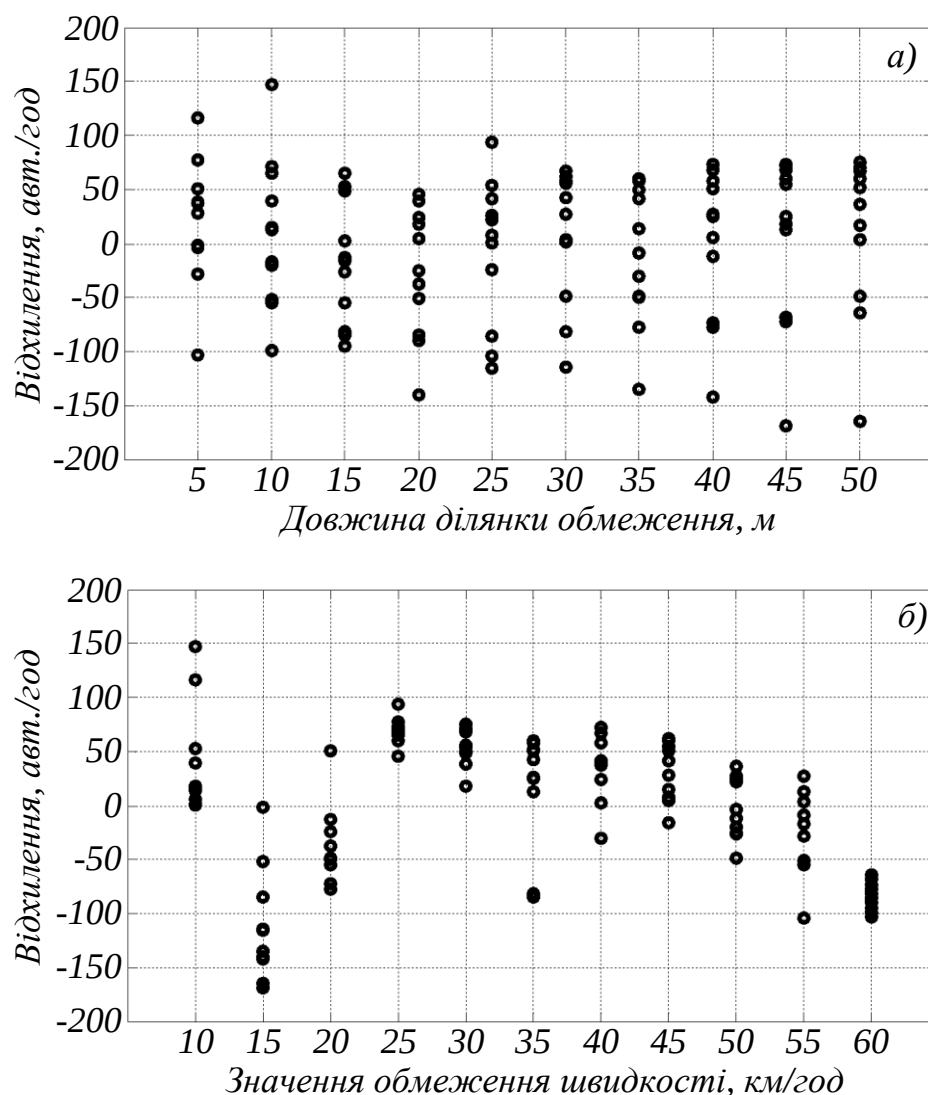


Рисунок 3.7 – Відхилення (похибки) експериментальних та теоретичних значень потоку насичення в координатах «довжина ділянки – потік насичення» (а) та «обмеження швидкості – потік насичення» (б)

У цьому дослідженні середня затримка (у секундах) – це затримка, яка припадає на один автомобіль у ТП через дію заборонного сигналу світлофора на

перехресті (очікування в черзі та її роз'їзд на зелений сигнал). Програмний продукт VISSIM дає можливість автоматично отримати значення середніх затримок на перехресті за результатами моделювання. Тому, числові значення їх брались з відповідних записів у програмі.

Таблиця 3.9 – Характеристика дослідів під час моделювання

Номер дослідів	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		

Сумарними затримками ТЗ у транспортних потоках відповідних інтенсивностей, згідно з програмою моделювання проїзду розглядуваних

перехресть, були тривалості затримок, які припадали на усі ТЗ, що під'їжджали до них з усіх напрямків упродовж однієї години роботи і проїжджали їх (розмірність секунд на автомобілі за годину, с·авт./год).

Результати моделювання проїзду досліджуваних регульованих перехресть опрацьовувались у середовищі MS Office Excel і для кожного з дослідів зводились в окремі таблиці. З метою аналізу їх табличні дані систематизувалися з виведенням лише сумарних затримок ТЗ для різних тривалостей дозвільного сигналу й різних складів ТП та їх інтенсивностей.

3.3 Висновки з розділу

1. Результати досліджень впливу рівності ПЧ на затримки ТЗ, які проїжджають перехрестя, отримані на прикладі двох перехресть (ТП однакової інтенсивності та структури) показали, що для перехрестя вул. Липинського – Замарстинівська за тривалість горіння дозвільного сигналу (30 с) проїзд ТЗ не завершується через значні нерівності ПЧ, а на перехресті з якісним покриттям (вул. Липинського – Промислова) для майже цієї ж тривалості горіння дозвільного сигналу (34 с) проїжджають усі ТЗ з черги.

2. Результати експериментальних натурних та теоретичних досліджень тривалостей проїзду регульованих перехресть у м. Львові на прикладі автобусів з різними кумулятивними пробігами (125,8-161,2 тис. км), які експлуатуються на міських маршрутах, розгінні швидкості останніх знижені на 8 %, порівняно з автобусами, що мали пробіг 125,8 тис. км.

3. Методику дослідження особливостей проїзду ізолюваних регульованих перехресть розроблено на основі програмного продукту VISSIM і апробовано на прикладі моделювання роботи цих перехресть з магістральним та другорядним напрямками руху ТП різних інтенсивностей та структур для 16-ти дослідів. Реалізація програми моделювання видає значення ПН, середніх та сумарних затримок ТЗ, з використанням яких можна відповідним чином коригувати тривалості горіння дозвільних сигналів світлофорів.

РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНТЕНСИВНОСТІ
ПРОЇЗДУ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ4.1 Результати досліджень впливу нерівностей дорожніх покриттів на
потоки насичення

У попередньому розділі викладено методику досліджень впливу нерівностей дорожніх покриттів (для різних варіантів їх розміщення) на потоки насичення. У дослідженні особливостей проїзду ТП різної структури (з урахуванням технічного стану тихохідних ТЗ) ізольованих регульованих перехресть з 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 [107, 125]. Опрацювання результатів моделювання проведено в середовищі MS Office Excel. Отримано потоки насичення залежно від значень обмеження швидкості (рис. 4.1). Тип обмеження швидкості відповідає схемам, наведеним на рис. 2.5. Обмеження швидкості 60 км/год відповідає ідеальному випадку.

З рис. 4.1 видно, що швидкість проїзду перехрестя впливає на ПН для усіх розглянутих типів обмеження швидкості. За обмеження швидкості 15 км/год потік насичення знижується до 1250-1400 авт./год. При збільшенні значення обмеження швидкості руху потік насичення зростає і за відсутності обмеження досягає 2134 авт./год. Це значення є близьким до ідеального (базового) потоку насичення та до фактичної пропускної здатності смуги руху.

Оскільки, як показано у п. 2.3 і формулою 3.2, вплив на ПН довжини ділянки з нерівностями ПЧ незначний, то її (формулу) розглядали з дією лише зміни чинника швидкості ТЗ. Таке спрощення, як показала порівняльна перевірка результатів моделювання з визначення оптимальних параметрів роботи перехрестя, істотного впливу на ці параметри не має.

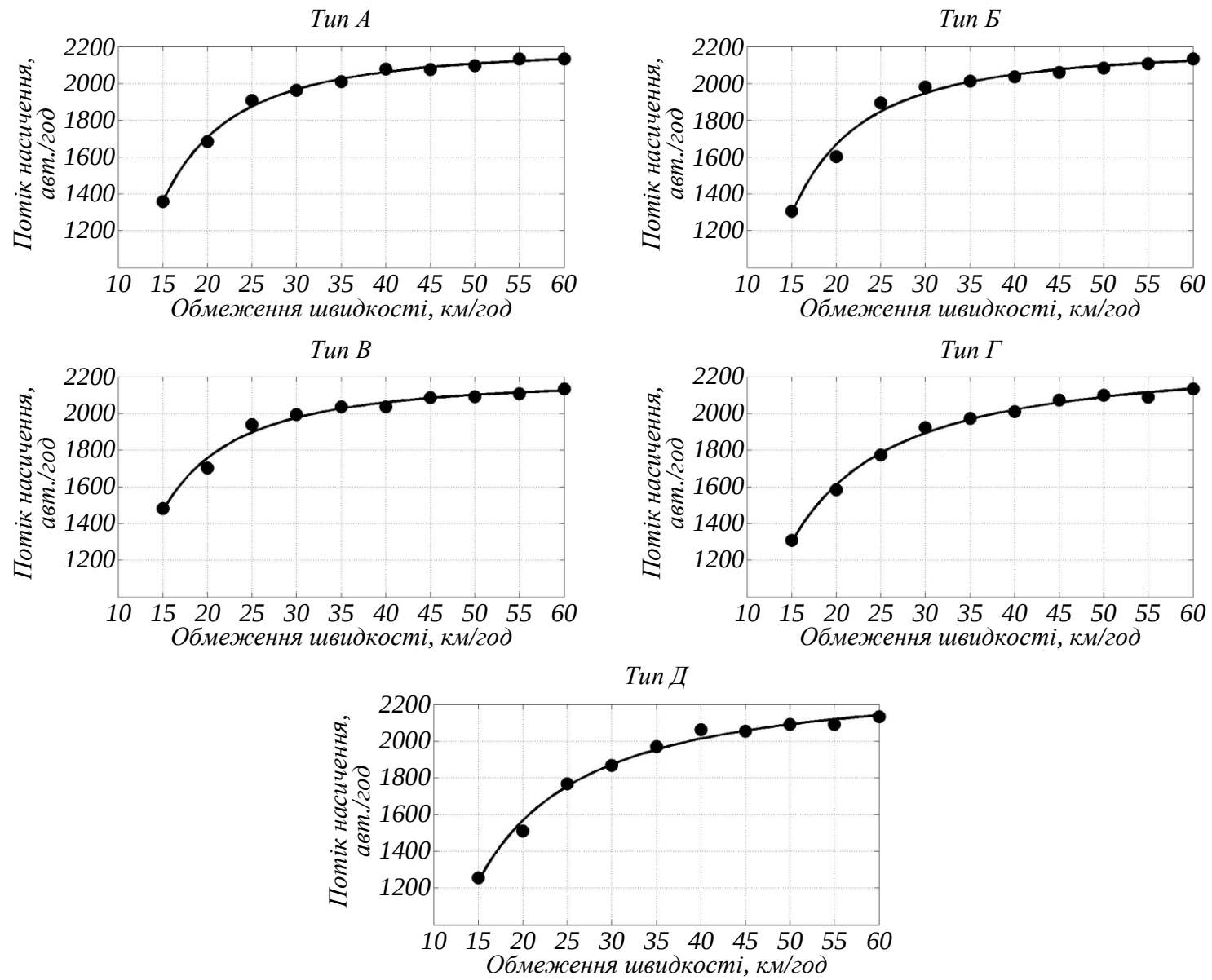


Рисунок 4.1 – Експериментальні та теоретичні апроксимовані залежності потоку насичення від обмеження швидкості

Залежність потоку насичення від швидкості є нелінійною і може описуватись степеневою функцією:

$$S = av^b + c, \quad (4.1)$$

де S – потік насичення, авт./год.;

v – обмеження швидкості, км/год.;

a , b та c – коефіцієнти степеневої функції.

Регресійний аналіз отриманих результатів проведено в середовищі MATLAB з використанням Curve Fitting Toolbox. Графіки апроксимуючих кривих для всіх типів обмеження швидкості наведено на рис. 4.1, а формули, які їх описують – в табл. 4.1. Отримані рівняння добре описують експериментальні дані, що також підтверджується значенням коефіцієнта кореляції [107, 110, 125].

Таблиця 4.1 – Залежності потоку насичення від обмеження швидкості з причин нерівностей дорожніх покриттів

Тип обмеження швидкості	Формули	Коефіцієнт кореляції	№ формули
А	$S = -140800v^{-1,892} + 2193$	0,9977	4.2
Б	$S = -154000v^{-1,900} + 2187$	0,9933	4.3
В	$S = -87720v^{-1,776} + 2185$	0,9924	4.4
Г	$S = -33570v^{-1,297} + 2300$	0,9978	4.5
Д	$S = -32030v^{-1,244} + 2338$	0,9951	4.6

Для порівняння криві зміни потоку насичення від розглянутих випадків обмеження швидкості наведено на рис. 4.2. Видно, що для всіх них за швидкості проїзду перехрестя 45-60 км/год. криві практично збігаються. Проте за малих значень швидкості (15-30 км/год.) тип обмеження впливає на потік насичення. Зокрема, у випадку В, коли ділянка обмеження швидкості починається за

перехрестям, значення потоку насичення за малих значень швидкості є найбільшим.

Це можна пояснити тим, що перші автомобілі з черги в зоні перехрестя прискорюються, а перед ділянкою обмеження швидкості сповільнюються. Зменшення швидкості першими автомобілями в кінці і за перехрестям призводить до того, що наступні автомобілі з черги не досягають в зоні перехрестя такої швидкості, як перші. Проте навіть за таких умов кількість автомобілів, що перетинають стоп-лінію за одиницю часу є найбільшою в усіх розглянутих випадках. З рис. 4.2 видно також, що потік насичення з обмеженням швидкості типу Б (перехрестя і після нього) є дещо нижчою, ніж за обмеження типу А (лише перехрестя). Це вказує на те, що збільшення довжини зони обмеження швидкості знижує потік насичення (тип обмеження Б можна розглядати як граничний стан випадку обмеження А). Найменше значення потоку насичення є у випадку Д, коли швидкість обмежена по всій довжині дороги [107, 110, 125].

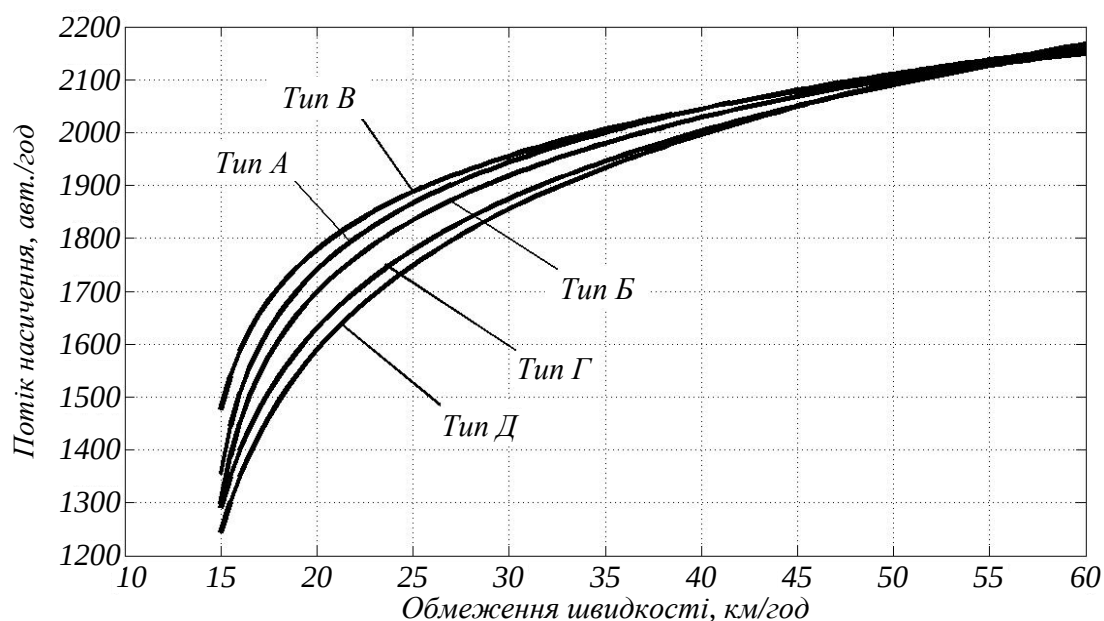


Рисунок 4.2 – Залежності потоку насичення за різних випадків обмеження швидкості

Аналізом різних методик розрахунку потоку насичення встановлено, що в жодній з них не враховується такий чинник, як швидкість проїзду перехрестя

окремими ТЗ. Проте швидкість є одним із параметрів, від якого залежить пропускна здатність смуги руху, і на неї впливають ті ж чинники, що й на потік насичення. Тому було висунуто гіпотезу про те, що потік насичення залежить і від швидкості проїзду регульованого перехрестя транспортним потоком, у складі якого є ТЗ з різними тягово-швидкісними характеристиками [107, 125].

Було теоретично обґрунтовано та практично підтверджено (у розділі 2) особливість зниження тягово-швидкісних показників вантажних автомобілів з ростом терміну їх служби [106] та кумулятивного пробігу [103]. Встановлено, що вони за п'ять років інтенсивної експлуатації можуть погіршитись на 25 %. А це, у свою чергу, знижує їх розгінні швидкості, особливо стартові під час рушання зі стоп-лінії на зелений сигнал світлофора.

Виходячи з економічної доцільності – мінімізації затрат на виконання досліджень ТП, який проїжджає регульоване перехрестя Левашев О.Г. запропонував для визначення часу, необхідного для роз'їзду черги ТЗ на перехресті, після вмикання зеленого сигналу світлофора таку модель [60-62]:

$$T = \alpha + \sum_{j=1}^{j=m} \beta_j n_j + \varepsilon, \quad (4.7)$$

де α – стартова затримка, пов'язана з розгоном ТЗ до швидкості, характерної для ТП при досягненні значення ПН, с;

β_j – параметри регресійної моделі, які відображають значення часових інтервалів між ТЗ j -го типу, с;

n_j – кількість ТЗ j -го типу в черзі, од.;

ε – похибка, яка відображає додатковий час, спричинений чинниками, що не враховані у моделі, с.

Під час визначення параметру T він (Левашев О.Г.) пропонує за початковий момент приймати початок руху першого ТЗ з черги, з метою виключення з цієї моделі додаткового часу на реакцію водія. За кінцевий момент під час визначення параметру T пропонується використовувати момент проходження над стоп лінією заднього бампера ostatнього ТЗ з черги [60-62].

Для розрахунку коефіцієнтів зведення $K_{зв}$, які враховують технічний стан ТЗ для моноструктурного складу ТП (лише легкові ТЗ і лише вантажні (автобуси)), знаходили часові інтервали між ними ($t_{лег}$, t_i) за формулою (4.2).

Заслуговує окремої уваги підхід до визначення коефіцієнтів зведення, розроблений російським вченим О.Г. Левашевим [60-62]. У своїй роботі він взяв за основу при розрахунку коефіцієнтів зведення співвідношення запропоноване Ю.А. Врубелем [19]:

$$K_{зв} = \frac{t_i}{t_{лег}}. \quad (4.8)$$

Коефіцієнти зведення, отримані Левашевим, наведено у табл. 4.2 [60-62]. Зазначимо, що ці коефіцієнти зведення будуть братися нами за базові при розрахунках світлофорних циклів.

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти зведення до легкового автомобіля за Левашевим

№ з/л	Тип транспортного засобу	Коефіцієнти зведення
1	Легковий автомобіль	1,000
2	Мікроавтобус	1,093
3	Вантажний автомобіль вантажністю до 2 тонн	1,179
4	Автобус малої вмістимості	1,367
5	Вантажний автомобіль вантажністю від 2 до 6 тонн	1,480
6	Автобус великої вмістимості	1,839
7	Вантажний автомобіль вантажністю понад 6 тонн	1,647
8	Зчленований автобус (тролейбус)	2,362
9	Автопоїзд	2,231

На нашу думку, стартове прискорення точніше відображає розгінні властивості ТЗ ніж термін їх служби. Тому, в розрахунках коефіцієнтів зведення

до легкового автомобіля будемо використовувати зміну цього показника. Для дослідження часових інтервалів t_i між ТЗ було використано програмний продукт VISSIM. Спочатку змодельовано рух ТП, у якому 100 % легкових автомобілів. Опісля моделювався ТП зі 100 % вантажних автомобілів (у ДБН В.2.3-4:2007 відповідають ТЗ вантажністю від 6 до 8 тонн) з різним технічним станом, який в моделі виражався через стартове прискорення, яке змінювали в межах 0,25-3,5 м/с² з кроком у 0,25 м/с² [124].

Діапазон зміни прискорень вантажних ТЗ розширений, порівняно із встановленим експериментами (див. Додаток В), оскільки бралися до уваги тенденції з розвитком сфери технічного сервісу і оновлення парків цих ТЗ.

Аналіз отриманих результатів виконано у програмі MathCad. З використанням формули 1.22 отримано значення часових інтервалів між ТЗ у всіх змодельованих ТП (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Часові інтервали між ТЗ з різним технічним станом у всіх змодельованих ТП

Прискорення ТЗ, м/с ²	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75
Часові інтервали між вантажними ТЗ (автобусами)	6,337	4,418	3,594	3,120	2,810	2,642	2,504
Прискорення ТЗ, м/с ²	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50
Часові інтервали між вантажними ТЗ (автобусами)	2,417	2,334	2,259	2,213	2,149	2,097	2,061

Встановлено, що часовий інтервал t_i при роз'їзді черги легкових автомобілів становить 1,532 с; а для вантажних ТЗ він знаходився у межах від 2,061 с (для ТЗ з прискоренням 3,5 м/с²) до 6,337 с (для ТЗ з прискоренням 0,25 м/с²). У результаті визначено коефіцієнти зведення, які враховують технічний стан ТЗ (табл. 4.4).

З наведеного видно, що коефіцієнт зведення за фізичним змістом не постійна, а змінна величина і у функціональній залежності від змін зниження динамічних характеристик вантажних ТЗ і автобусів, обумовлених погіршенням їх технічного

стану. Цим підтверджена фізична суть його – нижча динаміка ТЗ – вище значення коефіцієнта зведення ТП до легкового автомобіля і навпаки [25, 124].

Таблиця 4.4 – Коефіцієнти зведення, які враховують зміну динамічних характеристик (через погіршення технічного стану) ТЗ (вантажних ТЗ і автобусів)

Прискорення ТЗ, м/с^2	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75
Коефіцієнт зведення	4,14	2,88	2,35	2,04	1,83	1,72	1,63
Прискорення ТЗ, м/с^2	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50
Коефіцієнт зведення	1,58	1,52	1,47	1,44	1,40	1,37	1,35

Отже, під час моделювання проїзду ТП ізольованих регульованих перехресть з жорстким світлофорним циклом в основу програми закладені потоки насичення з різним ступенем нерівностей ПЧ (табл. 4.1) та коефіцієнти зведення до легкових ТЗ, які враховують технічний стан учасників руху (табл. 4.4).

4.2 Оптимальні варіанти інтенсивності проїзду регульованих перехресть

Перевірку придатності до використання отриманих коефіцієнтів зведення у визначенні такого важливого показника як затримка ТЗ перед регульованим перехрестям виконували користуючись продуктом VISSIM. З цією метою спочатку була створена модель регульованого перехрестя (схема його наведена на рис. 4.3).

На першому етапі виконувались чотири досліді: 1-й – всі напрямки мають 1х1 смуги руху, тривалість світлофорного циклу становить 65 с; 2-й – головний напрям має 2х2 смуги руху (потоки 1 і 2 на рис. 4.3), а другорядний 1х1 (потоки 3 і 4 на рис. 4.3), тривалість світлофорного циклу – 60 с; 3-й аналогічний другому однак тривалість світлофорного циклу – 65 с; 4-й аналогічний третьому з тривалістю світлофорного циклу – 70 с [25, 26, 124].

Інтенсивність ТП на перехресті змінювали від 400 авт./год до 700 авт./год для головного напрямку (№ 1, 2, табл.4.5), та від 100 авт./год до 300 авт./год для

другорядного (№ 3, 4, табл.4.5) (крок зміни 100 авт./год). Склад ТП також був змінним: частка вантажних ТЗ і автобусів у ТП на головному напрямку змінювалась від 25% до 40%, легкових відповідно від 75% до 60% з кроком 5% [25, 124].

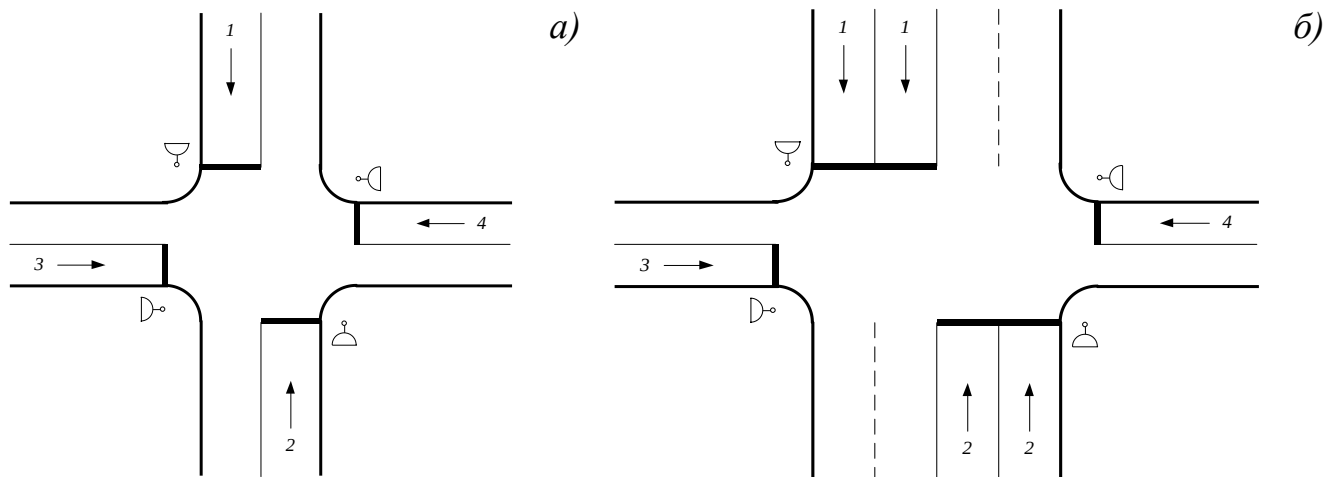


Рисунок 4.3 – Модель регульованого перехрестя зі смугами руху 1х1 на усіх напрямках (а) та з 2х2 на головному напрямку і 1х1 – на другорядному (б)

Таблиця 4.5 – Середні тривалості затримок ТЗ за результатами моделювання (склад ТП – 75% легкових та 25% вантажних ТЗ)

№ досліду	№ ТП	Інтенсивність ТП на головному напрямку, $N_{гол}$, авт./год	Інтенсивність ТП на другорядному напрямку, $N_{др}$, авт./год					
			100		200		300	
			Коефіцієнти зведення					
			за Леваше- вим	запропо- новані	за Леваше- вим	запропо- новані	за Леваше- вим	запропо- новані
			Затримка, с					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	400	8,13	7,72	13,98	13,33	18,35	17,63
	2		8,33	7,73	14,75	13,98	19,62	18,68
	3		14,82	15,57	9,33	9,92	7,00	7,48
	4		13,75	14,42	9,60	10,15	7,85	8,37

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	1	500	7,00	6,62	13,33	11,78	17,97	16,55
	2		6,92	6,33	13,10	11,52	17,60	15,92
	3		17,27	18,02	11,13	12,40	8,52	9,63
	4		15,83	16,55	11,40	12,65	9,43	10,60
3	1	600	6,52	5,92	11,60	11,02	16,23	15,38
	2		6,37	5,82	11,50	10,95	15,98	15,03
	3		18,80	19,57	13,00	13,65	10,18	10,82
	4		17,35	18,13	13,33	14,02	11,20	11,78
4	1	700	6,27	5,60	11,07	10,52	15,65	14,18
	2		5,62	5,15	11,13	10,40	15,50	13,97
	3		20,37	21,18	14,33	15,07	11,45	12,70
	4		18,95	19,73	14,70	15,40	12,43	13,77

На головному напрямку рухалися легкові та вантажні ТЗ, а на другорядному – лише легкові. Для спрощення моделі було заборонено ліві повороти з усіх напрямків, а правоповоротні потоки становили 8% від вхідної інтенсивності. Ширина смуг руху на головному напрямку становила 5 м, а на другорядному – 3,5 м. Розрахунок тривалості горіння зелених сигналів у циклі проводився з використанням коефіцієнтів зведення, які запропонував О.Г. Левашев [61] та коефіцієнтів зведення, які враховують зміну динамічних властивостей ТЗ (погіршення їх технічного стану) (див. табл. 4.4).

Тривалість затримок ТЗ перед перехрестям отримували в результаті моделювання руху ТП у VISSIM. Приклад моделювання для транспортного потоку, який складався з 75% легкових і 25% вантажних (автобусів) (3-й дослід, (жирне обрамлення) тривалість світлофорного циклу 65 с) наведено у табл. 4.5 (результати з першого дослідів викладено у роботі [25]).

На рисунку 4.4 наведено діаграми (інтенсивність руху по головному напрямку – 600 авт./год), які відображають зниження затримок на головному

напрямку (рис. 4.4, а, б, в) та їх ріст на другорядному (рис. 4.4, г, д, е). Усі решта результатів наведено у додатку Г (рис. Г.1-Г.4).

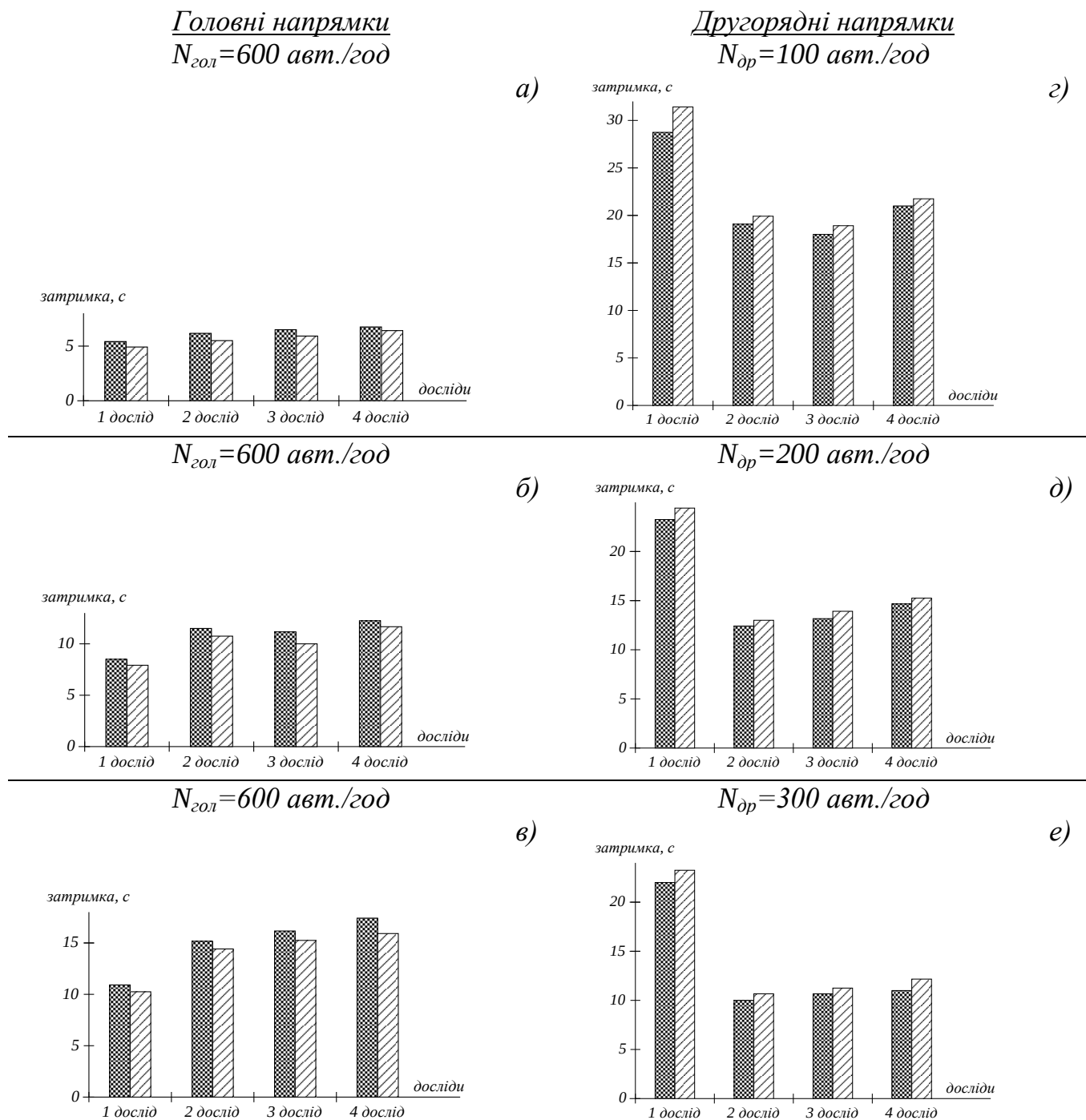


Рисунок 4.4 – Зміна тривалостей затримок ТЗ у транспортному потоці перед регульованим перехрестям з структурою 75% легкових автомобілів і 25% вантажних автомобілів і автобусів: – при використанні коефіцієнтів зведення за Левашевим; – при використанні коефіцієнтів зведення, які враховують зниження динамічних характеристик ТЗ

Аналіз усіх результатів у 192-х дослідях моделювання ТП та наведених у табл. 4.5 дав змогу встановити характерне скорочення тривалостей затримок ТЗ на головному напрямку і не істотне збільшення їх на другорядному (рис. 4.4). Дані 3-го дослідів для рис. 4.4 взяті у жирне обрамлення у табл. 4.4, для якого інтенсивність ТП на головному напрямку становила 600 авт./год. Встановлено, що для усіх варіантів (192) поєднань інтенсивностей ТП на головному і другорядному напрямках у кожному з дослідів тривалість затримок ТЗ на першому знижується в середньому на 7,6 % порівняно, якщо використовувати коефіцієнти зведення за Левашевим. При цьому, на другорядному напрямку спостерігається ріст затримок на 7,1 %. Загальна затримка усіх ТЗ перед перехрестям знижується на 3,6 %.

Отримані результати вказують на те, що якщо використовувати запропоновані коефіцієнти зведення у визначенні тривалості горіння зелених сигналів, то транспортні затримки на головному напрямку завжди знижуються, а на другорядному – вони навпаки зростають. Таке можна вважати допустимим, оскільки робиться виграв для головного напрямку, по якому рухається ТП з, як правило, значно більшою кількістю громадського транспорту, затримки якого з метою дотримання графіків руху не допускаються. У варіантах поєднання між $N_{гол}$ і $N_{ор}$ для 192 дослідів перша перевищувала другу в 1,2-7,0 разів [61].

Початковими даними у наступному 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 [61] і потік насичення за Кременцем [57].

Транспортний потік базової моделі складався з легкових і вантажних ТЗ (маршрутні автобуси). У роботі [61] 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 по головному напрямку; заборонено ліві повороти з усіх напрямків, а правоповоротні потоки становлять 8 % від

інтенсивності на відповідному напрямку; відсутні поздовжні ухили на підході до перехрестя. Відповідно до цього, потік насичення виступав чинником, який залежить лише від ширини смуги руху [57]. У моделі ширина смуги руху на головному напрямі 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 (див. табл. 1.3).

Для усіх варіантів моделювання проїзду ТП перехрестя приймалися тривалості світлофорних циклів рівні 65 с, які, як встановлено натурними дослідженнями, найбільш характерні 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 1х1 смугами руху від 40 с до 52 с, а для 2х1 – відповідно 31-49 с. Необхідно відзначити, що при розрахунку зелених сигналів для умов врахування рівності ПЧ та одночасно рівності ПЧ і технічного стану ТЗ для інтенсивностей 700 авт./год на головному напрямку і 100 авт./год на другорядному для 1х1 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 [57, 62, 76]. У зв'язку з цим за тривалості світлофорного циклу 65 с дозвільний сигнал повинен становити не більше 52 с.

Можливості програмного продукту VISSIM є такими, що дозволяють моделювати процеси проїзду за різноманітних варіантів інтенсивностей ТП, їх складу, тривалостей дозвільних сигналів, умов руху на перехресті тощо. У цьому дослідженні обмежились 16-ма варіантами дослідів (див. табл. 4.5), які найбільш характерні для досліджуваних перехресть у м. Львові. Кожен з 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 другорядному напрямках, то загальна кількість

дослідів становила 256. В кожному з них виконувалось 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 (табл. Д.1-Д.2 у додатку Д). Наприклад, результати моделювання для випадку 2х1 смуги руху та складу ТП – 65 % легкові автомобілі, 35 % – автобуси (вантажні ТЗ) наведено у табл. 4.5. З 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 2х1 смуги руху (склад ТП: 65% – легкові, 35% – автобуси (вантажні ТЗ)) результати наводились у такій формі (табл. 4.6).

Проїзд ТП через регульовані перехрестя з урахуванням коефіцієнтів зведення до легкового автомобіля за Левашевим (база) вказує не на явно виражену тенденцію щодо росту сумарних затримок ТЗ з ростом інтенсивностей ТП. Такі самі тенденції спостерігаються і для варіантів моделювання з урахуванням технічного стану ТЗ, рівності ПЧ та технічного стану ТЗ і рівності ПЧ.

Однак, якщо порівняти результати для трьох різних варіантів з базовим варіантом, то спостерігається явно виражена тенденція скорочення сумарних затримок ТЗ. Для цих варіантів отримано (з урахуванням технічного стану ТЗ) тривалості скорочення сумарної затримки від 395 с·авт./год до 1220 с·авт./год, а у відсотках досягається зниження сумарної затримки від 2,47 % до 7,52 %. Те ж саме для варіанту, коли враховується рівність ПЧ: сумарна затримка скорочується від 1163 с·авт./год до 2557 с·авт./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 с·авт./год до 2917 с·авт./год, у відсотках – від 11,55 % до 15,18 %. Результати, що у табл. 4.7 наведені графіками (рис. 4.5, 4.6), з яких добре простежується тенденція скорочень сумарних затримок ТЗ. Отримано також зменшення сумарних затримок ТЗ і у моделюванні роботи перехрестя з 1х1 смугами руху.

Таблиця 4.6 – Затримки транспортних засобів за результатами моделювання проїзду транспортними потоками через ізольоване регульоване перехрестя з 2х1 смуги руху

Номер ТП	Напрямок	Затримки ТЗ з урахуванням:											
		коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ		
		тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с·авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с·авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с·авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с·авт./год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках: 500х100 авт./год													
1	головний	41	6,97	10330,0	42	6,30	9823,0	45	5,12	9167,0	46	4,72	8950,0
2			6,78			6,12			5,03			4,60	
3	другорядний	18	17,97		17	18,78		14	21,17		13	22,23	
4			16,58			17,35			19,75			20,67	

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках: 500х200 авт./год													
1	головний	31	12,78	17494,0	33	11,12	16274,0	36	9,98	15775,0	38	8,78	15346,0
2			12,70			10,90			9,37			8,52	
3	другорядний	28	11,77		26	13,00		23	15,08		21	16,55	
4			12,00			13,32			15,42			16,93	
Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках: 700х100 авт./год													
1	головний	45	6,23	12492,0	46	5,68	11880,0	48	4,75	11214,0	49	4,32	10922,0
2			5,77			5,17			4,47			4,10	
3	другорядний	14	21,20		13	22,17		11	24,45		10	25,50	
4			19,72			20,68			23,15			24,78	
Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках: 700х200 авт./год													
1	головний	36	10,88	21397,0	38	9,63	20196,0	41	8,02	18840,0	42	7,60	18480,0
2			10,97			9,67			7,88			7,32	
3	другорядний	23	15,08		21	16,55		18	19,10		17	19,95	
4			15,43			16,88			19,45			20,23	

Таблиця 4.7 – Оцінка ефективності роботи ізолюваних регульованих перехресть за показником скорочення тривалості сумарної затримки транспортних засобів

Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, $\frac{\text{авт./год}}{\text{Кількість смуг руху на перехресті, шт}}$	Сумарні затримки ТЗ на перехресті/для різних тривалостей зеленого сигналу головного напрямку, з урахуванням, с·авт./год:				Скорочення/відсоток скорочення сумарних затримок ТЗ порівняно з базою, з урахуванням, с·авт./год:		
	коефіцієнт зведення за Левашевим (база)	технічного стану ТЗ	рівності ПЧ	технічного стану ТЗ і рівності ПЧ	технічного стану ТЗ	рівності ПЧ	технічного стану ТЗ і рівності ПЧ
1	2	3	4	5	6	7	8
Склад ТП на перехресті: 65% – легкові автомобілі, 35% – вантажні ТЗ (автобуси)							
$\frac{500 \times 100}{2 \times 1}$	$\frac{10330,0}{41}$	$\frac{9823,0}{42}$	$\frac{9167,0}{45}$	$\frac{8950,0}{46}$	$\frac{507,0}{4,91}$	$\frac{1163,0}{11,26}$	$\frac{1380,0}{13,36}$
$\frac{500 \times 200}{2 \times 1}$	$\frac{17494,0}{31}$	$\frac{16274,0}{33}$	$\frac{15775,0}{36}$	$\frac{15346,0}{38}$	$\frac{1220,0}{6,97}$	$\frac{1719,0}{9,83}$	$\frac{2148,0}{12,28}$

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8
$\frac{700 \times 100}{2 \times 1}$	$\frac{12492,0}{45}$	$\frac{11880,0}{46}$	$\frac{11214,0}{48}$	$\frac{10922,0}{49}$	$\frac{612,0}{4,90}$	$\frac{1278,0}{10,23}$	$\frac{1570,0}{12,57}$
$\frac{700 \times 200}{2 \times 1}$	$\frac{21397,0}{36}$	$\frac{20196,0}{38}$	$\frac{18840,0}{41}$	$\frac{18480,0}{42}$	$\frac{1201,0}{5,61}$	$\frac{2557,0}{11,95}$	$\frac{2917,0}{13,62}$
Склад ТП на перехресті: 70% – легкові автомобілі, 30% – вантажні ТЗ (автобуси)							
$\frac{500 \times 100}{2 \times 1}$	$\frac{10622,0}{40}$	$\frac{9823,0}{42}$	$\frac{9313,0}{44}$	$\frac{9073,0}{45}$	$\frac{799,0}{7,52}$	$\frac{1309,0}{12,32}$	$\frac{1549,0}{14,58}$
$\frac{500 \times 200}{2 \times 1}$	$\frac{17339,0}{31}$	$\frac{16747,0}{32}$	$\frac{15420,0}{36}$	$\frac{15201,0}{37}$	$\frac{592,0}{3,41}$	$\frac{1919,0}{11,07}$	$\frac{2138,0}{12,33}$
$\frac{700 \times 100}{2 \times 1}$	$\frac{12818,0}{44}$	$\frac{12423,0}{45}$	$\frac{11075,0}{48}$	$\frac{10872,0}{49}$	$\frac{395,0}{3,08}$	$\frac{1743,0}{13,60}$	$\frac{1946,0}{15,18}$
$\frac{700 \times 200}{2 \times 1}$	$\frac{21087,0}{36}$	$\frac{20566,0}{37}$	$\frac{19069,0}{40}$	$\frac{18651,0}{41}$	$\frac{521,0}{2,47}$	$\frac{2018,0}{9,57}$	$\frac{2436,0}{11,55}$

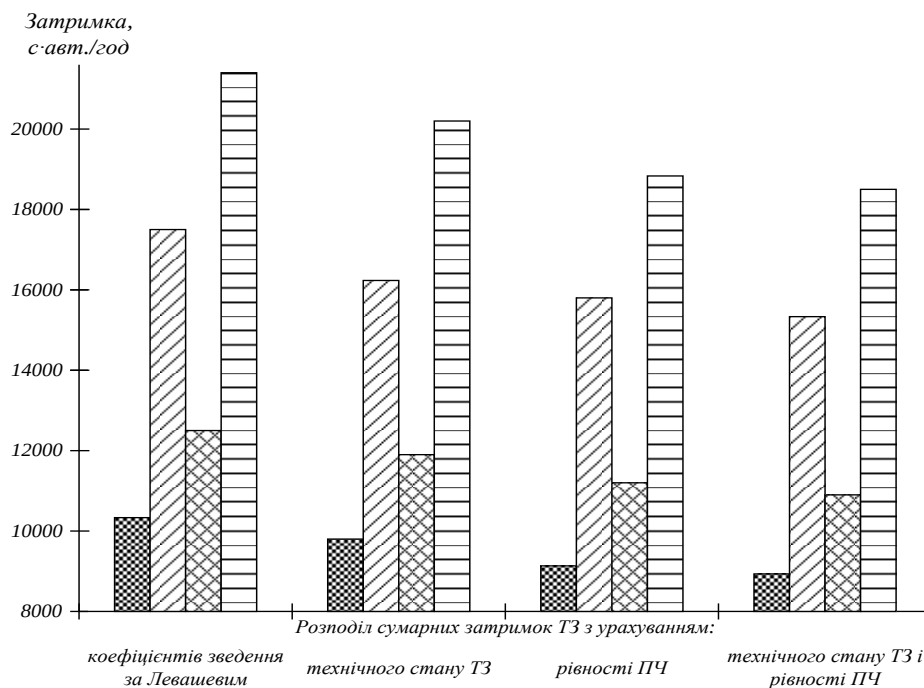


Рис. 4.5. Зміна сумарних затримок ТЗ перед регульованими перехрестями для смуг руху 2x1 та складу ТП 65 % – легкових, 35 % – вантажних (автобусів) з відповідними інтенсивностями руху (авт./год): – 500x100; – 500x200; – 700x100; – 700x200

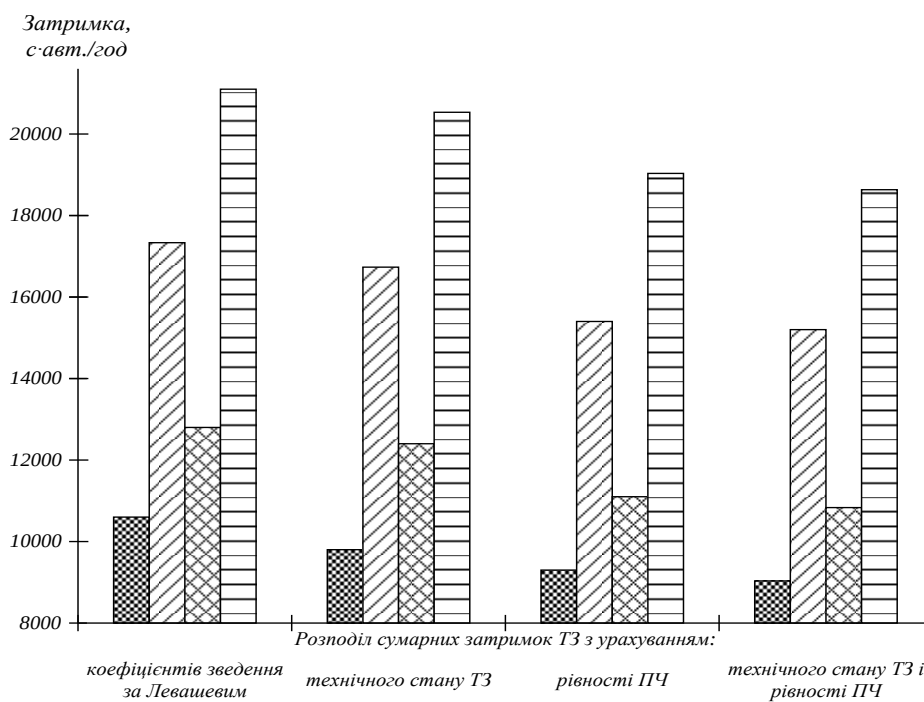


Рис. 4.6. Зміна сумарних затримок ТЗ перед регульованими перехрестями для смуг руху 2x1 та складу ТП 70 % – легкових, 30 % – вантажних (автобусів) з відповідними інтенсивностями руху (позначення аналогічні рис. 4.5)

Як показують результати моделювання різних структур та інтенсивностей руху ТП через ізольовані регульовані перехрестя (Додаток Е), 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 до 2917 с·авт./год (2,47-15,18 %); якщо враховувати лише технічний стан ТЗ – від 395 до 1220 с·авт./год, (2,47-7,52 %); якщо враховувати лише рівність ПЧ – від 1163 до 2557 с·авт./год (9,57-13,60 %); якщо враховувати одночасно перше і друге – від 1380 до 2917 с·авт./год (11,55-15,18 %).

Тенденція скорочення сумарних затримок ТЗ зберігається і для 1x1 смуги руху (див. Додаток Е). В такому разі вони зменшуються – від 88 до 1319 с·авт./год (0,59-6,30 %); якщо враховувати лише технічний стан ТЗ – від 124 до 641 с·авт./год (0,81-2,92 %); якщо враховувати лише рівність проїжджої частини – від 88 до 1319 с·авт./год (0,59-5,46 %); якщо враховувати одночасно перше і друге – від 88 до 1156 с·авт./год (0,59-6,30 %).

Таким чином, отримані результати вказують на потребу врахування у визначенні тривалостей світлофорних циклів для ізольованих регульованих перехресть впливу технічного стану транспортних засобів і рівності проїзних частин.

4.3 Розрахунок економічного ефекту від оптимізації тривалості світлофорного циклу

Економічний ефект від впровадження (використання) результатів науково-прикладних досліджень, інженерно-технічних заходів щодо покращання (змін) організації дорожнього руху може бути отриманий, у першу чергу, внаслідок скорочення затримок ТЗ (підвищення швидкості сполучення), зменшення їх перепробігу і скорочення кількості ДТП. Для співставлення різних методів і режимів регулювання дорожнього руху необхідно прорахувати загальну кількість та вартість втраченого часу на всіх підходах до регульованих перехресть, беручи до уваги середню вартість машино-години [75].

Для визначення економічного ефекту за рахунок скорочення затримок ТЗ, які проїжджають ізольовані регульовані перехрестя, потрібно оцінити їх тривалість до (за існуючих умов і режимів роботи світлофорних об'єктів) і після (змінених за результатами досліджень). На підставі порівняння цих тривалостей визначають загальну річну економію за формулою [75, 89]:

$$E_p = \frac{365(d_{\text{сум}}^{\text{до}} - d_{\text{сум}}^{\text{п}})C_{\text{м-г}}}{K_{\text{д-н}}}, \quad (4.9)$$

де $d_{\text{сум}}^{\text{до}}, d_{\text{сум}}^{\text{п}}$ – тривалості сумарних затримок, відповідно, «до» і «після» проведення заходів, год.;

$C_{\text{м-г}}$ – середня вартість однієї машино-години, грн.;

$K_{\text{д-н}}$ – коефіцієнт добової нерівномірності руху (у розрахунках для міських умов рекомендовано приймати $K_{\text{д-н}} = 0,1$) [89].

Вартість однієї машино-години ($C_{\text{м-г}}$) потрібно визначати виходячи з додаткових витрат власників ТЗ у розрахунку на одну годину втраченого часу. До складу цих витрат входять додаткові заробітна плата водія (крім ТЗ, які належать фізичним особам), амортизаційні відрахування, додаткові витрати на паливо-мастильні матеріали [75].

Заробітна плата $З_{\text{зн}}$ може бути визначена на основі даних про середньомісячний заробіток водіїв $ЗП_{\text{міс}}$ і місячного фонду робочого часу $\Phi_{\text{міс}}$, який в середньому становить 170-180 годин:

$$З_{\text{зн}} = \kappa \frac{ЗП_{\text{міс}}}{\Phi_{\text{міс}}}, \quad (4.10)$$

де $\kappa = 1,26$ – коефіцієнт, який враховує відрахування за єдиним соціальним внеском [75].

Амортизаційні відрахування за одну годину розраховуються виходячи з нормативного терміну служби ТЗ T_k (лежить в межах 6-7 років), річного фонду робочого часу Φ_p (1800-2000 годин) та ринкової вартості автомобіля B_p :

$$Z_a = \frac{B_p}{T_k \Phi_p}. \quad (4.11)$$

Додаткові витрати на паливо-мастильні матеріали у розрахунку на одну годину роботи ТЗ визначаються на основі норм витрат палива на 100 км пробігу H_n , середньої технічної швидкості руху V_m та вартості 1 літра палива B_n :

$$Z_n = \frac{H_n V_m B_n}{100}. \quad (4.12)$$

З метою отримання реальних значень Z_m , Z_a , Z_n нами збирались та опрацьовувались статистичні дані щодо цих величин за 2014 рік на прикладі Львівського комунального автобусного АТП №1. Для цього підприємства вартість однієї машино-години роботи автобусів LAZ-A183D1 (вони переважають серед спискового складу 178 од.) становить $C_{M-2}^{авт} = 317,07$ грн. Щодо вартості однієї машино-години роботи легкових автомобілів можна скористатися даними, наведеними у [76], $C_{M-2}^{лег} = 4,0$ \$ або $C_{M-2}^{лег} = 98,36$ грн. з урахуванням офіційного курсу валют станом на 26.11.2015 року.

Середню вартість однієї машино-години роботи ТЗ з урахуванням складу ТП визначимо за формулою [75]:

$$C_{M-2} = C_{M-2}^{лег} n_{лег} + C_{M-2}^{авт} n_{авт}, \quad (4.13)$$

де $n_{лег}$, $n_{авт}$ – частки в ТП, відповідно легкових автомобілів та автобусів.

Таким чином, використовуючи формулу (4.13) можна визначити вартість однієї машино-години роботи ТЗ для складу ТП, у якому, наприклад, 65 % (70 %) легкових автомобілів та 35 % (30 %) автобусів (вантажних ТЗ):

$$C_{M-Z}^{65-35} = 0,65 \cdot 98,36 + 0,35 \cdot 317,07 = 174,91 \text{ грн.},$$

$$C_{M-Z}^{70-30} = 0,7 \cdot 98,36 + 0,3 \cdot 317,07 = 163,97 \text{ грн.}$$

З використанням формули (4.9) та даних, наведених у табл. 4.7, можна розрахувати економічний ефект за рахунок скорочення затримок ТЗ, які проїжджають ізольовані регульовані перехрестя. Наведемо приклад розрахунку економічного ефекту для перехрестя 2х1 смуги руху (найбільш характерне для ізольованих регульованих перехресть м. Львова) з інтенсивністю ТП 700 авт./год по головному (магістральному) напрямку та 200 авт./год по другорядному. Склад ТП – 70 % легкові автомобілі, 30 % – автобуси (вантажні ТЗ). Отримані у дослідженні тривалості дозвільних сигналів у світлофорному циклі враховують технічний стан ТЗ та рівність проїжджої частини. Ці тривалості порівнюються з базовим варіантом, для якого дозвільні сигнали розраховані з використанням лише коефіцієнтів зведення за О.Г. Левашевим [60-62].

Отже, річний економічний ефект для наведеного перехрестя і складу ТП становитиме:

$$E_p = \frac{365(21087 / 3600 - 18651 / 3600)163,97}{0,1} = 404985,98 \text{ грн.}$$

Економічний ефект з урахуванням запропонованих заходів для випадку, коли на перехресті 2х1 смуги руху і різні інтенсивності ТП та їх складу, наведено у табл. 4.8. Аналогічним чином були виконані розрахунки економічного ефекту за рахунок скорочення затримок для всіх розглянутих випадків згідно з даними табл. 4.7.

Таблиця 4.8 – Економічний ефект від скорочення сумарних затримок ТЗ, які проїжджають ізольовані регульовані перехрестя

Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год	Економічний ефект (у грн.) за рахунок скорочення сумарних затримок ТЗ порівняно з базою, з урахуванням:		
	технічного стану ТЗ	рівності ПЧ	технічного стану ТЗ і рівності ПЧ
Склад ТП на перехресті: 65% – легкові автомобілі, 35% – вантажні ТЗ (автобуси)			
$\frac{500 \times 100}{2 \times 1}$	89910,26	206243,84	244726,14
$\frac{500 \times 200}{2 \times 1}$	221140,22	304843,65	380921,56
$\frac{700 \times 100}{2 \times 1}$	108530,72	226637,69	278420,32
$\frac{700 \times 200}{2 \times 1}$	212982,68	453452,72	517294,32
Склад ТП на перехресті: 70% – легкові автомобілі, 30% – вантажні ТЗ (автобуси)			
$\frac{500 \times 100}{2 \times 1}$	132834,07	217621,78	257521,87
$\frac{500 \times 200}{2 \times 1}$	98420,24	319034,52	355443,36
$\frac{700 \times 100}{2 \times 1}$	65668,91	289774,45	323523,28
$\frac{700 \times 200}{2 \times 1}$	86616,46	335493,31	404985,98

На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що застосування запропонованого методу коректування тривалостей дозвільних сигналів у циклі регулювання дає змогу зекономити більше ніж півмільйона гривень в рік на

окремому ізолюваному перехресті за рахунок скорочення сумарних затримок транспортних засобів, які проїжджають його упродовж години. Середнє значення (з усіх наведених варіантів) економічного ефекту за даними табл. 4.8 становить 255501,8 грн./рік.

Докладним аналізом роботи ізолюваних регульованих перехресть з жорсткими світлофорними циклами у м. Львові виявлено 82 таких (Додаток Ж), на яких виконано (виконуються) відповідні корективи світлофорних циклів. Це дало змогу впровадити основні результати роботи на виробництві (у ЛКП «Львівавтодор» та у ДП ДПМ «Містопроєкт» (Додатки И, К)) і у навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» (Додаток Л).

4.4 Висновки з розділу

1. Аналізом впливу нерівностей дорожніх покриттів на перехрестях та в околі них встановлено залежність потоків насичення від них: вона апроксимується степеневими функціями.

2. Використано регресійну модель, на основі якої встановлено часові інтервали при роз'їзді черги легкових та вантажних транспортних засобів, що дало змогу визначити коефіцієнти зведення останніх з урахуванням погіршення їх технічного стану.

3. Моделюванням проїзду транспортних потоків різної структури (легкові автомобілі, вантажні автомобілі, автобуси) регульованого перехрестя з магістральною та другорядною вулицями, на яких різні інтенсивності транспортних потоків (на першій вища від другої у 1,2-7,0 разів) встановлено: для усіх 192 варіантів поєднань інтенсивностей транспортних потоків на головному і другорядному напрямках у кожному з дослідів тривалість затримок транспортних засобів на першому знижується в середньому на 7,6% порівняно, якщо використовувати традиційні коефіцієнти зведення. При цьому, на другорядному напрямку спостерігається ріст затримок на 7,1%. Загальна затримка усіх транспортних засобів перед перехрестям знижується на 3,6%.

4. Виявлена тенденція скорочення сумарних затримок транспортних засобів на магістральному напрямку, як для смуг руху 1х1, так і для 2х1. Для першого варіанту вона скорочується у межах 0,59-6,30 % за різних складу транспортних потоків і їх інтенсивностей з урахуванням нерівностей проїзної частини та технічного стану транспортних засобів; для другого варіанту, відповідно 11,55-15,18 %.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи здійснено розв'язання науково-прикладної задачі, що полягає у підвищенні (на основі мінімізації транспортних затримок з урахуванням складу та технічного стану транспортних засобів і дорожніх покриттів) ефективності роботи ізольованих регульованих перехресть з жорстким світлофорним циклом.

1. Виконаним аналізом стану питання у теорії та на практиці щодо підвищення ефективності роботи ізольованих регульованих перехресть виявлено неврахування впливу на тривалості затримок ТЗ у транспортних потоках таких важливих чинників як неоднорідність технічного стану ТЗ та нерівностей проїжджої частини в зоні перехрестя. Врахування цього впливу дає змогу корегувати тривалість світлофорних циклів і цим забезпечувати скорочення затримок, які прийняті за критерій ефективності.

2. Встановлено, що структура транспортних потоків з різним технічним станом ТЗ, особливо тихохідних (вантажних автомобілів і автобусів) впливає на динаміку проїзду регульованих перехресть. Зокрема розгінні швидкості їх, як показали експериментальні дослідження, у середньому на 15 % нижчі від таких же у легкових автомобілів. За показник, який відображає цей вплив, рекомендовано адаптований коефіцієнт зведення ТП до легкового автомобіля.

3. Вдосконалені алгоритми визначення коефіцієнтів зведення до легкового автомобіля та розрахунку потоків насичення дають змогу зменшити сумарні затримки ТЗ перед регульованим перехрестям. Це підтверджується результатами моделювання проїзду ТП досліджуваних перехресть із 2х1 смуги руху. Встановлено, що з урахуванням: технічного стану ТЗ сумарні затримки їх скорочуються від 395 с авт./год. до 1220 с авт./год. (у відсотках досягається зниження сумарної затримки від 2,47 % до 7,52 %); рівності ПЧ сумарна затримка скорочується від 1163 с авт./год. до 2557 с авт./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 (від 1380 с авт./год. до 2917 с авт./год., у відсотках – від 11,55 % до 15,18 %).

4. Розроблені алгоритми проїзду транспортними потоками різних інтенсивностей Х-подібних ізольованих регульованих перехресть жорсткими світлофорними циклами та визначення затримок ТЗ дають змогу скоротити затримки ТЗ у межах 0,59-6,30 % за різних складу ТП і їх інтенсивностей з урахуванням нерівностей ПЧ та технічного стану ТЗ; у меншій мірі це скорочення характерне, коли є вплив лише технічного стану ТЗ (0,81-2,92 %), у більшій мірі за нерівностей ПЧ (0,59-5,46 %).

5. Використання розробленої методики визначення затримок ТЗ при проїзді регульованих перехресть з жорстким світлофорним циклом з урахуванням дорожніх умов дає змогу отримати річний економічний ефект від скорочення затримок ТЗ для одного перехрестя 404985,95 грн.

6. Результати дослідження впроваджені у ЛКП «Львівавтодор» та у ДП ДППМ «Містопроєкт» (м. Львів) і використовуються для оптимізації світлофорних циклів на проблемних перехрестях ВДМ м. Львова. Методики експериментальних досліджень та моделювання проїзду ізольованих регульованих перехресть з використанням програмного продукту VISSIM використовуються у навчальному процесі НУ «Львівська політехніка» під час підготовки магістрів спеціальності «Організація і регулювання дорожнього руху».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамова Л.С. Аналіз методів визначення складу транспортного потоку / Л.С. Абрамова, І.С. Наглюк, Г.Г. Птиця // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2012. – № 17. – С. 35-41.
2. Абрамова Л.С. Модели управления дорожным движением для АСУДД / Л.С. Абрамова // Вестник ХНАДУ. – 2010. – Вып. 50. – С. 57-63.
3. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: справочник. Пер. с англ. / [В. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др.]. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
4. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4:2007. – [чинні від 2008-03-01]. – К.: Міжрегіонбуд України, 2007. – 91 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Ахмадинуров М.М. Обзор методов моделирования транспортной сети / М.М. Ахмадинуров // Транспорт Урала: научно-технический журнал. – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – № 3(22). – С. 39-44.
6. Ахмадинуров М.М. Оптимизация светофорного регулирования с помощью программы моделирования транспортных потоков / М.М. Ахмадинуров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – Челябинск, 2010. – № 22(198). – С. 26-30.
7. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану: ДСТУ 3587-97. – [Чинний від 1997-07-31]. – К.: Держстандарт України, 1997. – 23 с. – (Державний стандарт України).
8. Боровской А.Е. Реальный поток насыщения в зависимости от класса легкового автомобиля / А.Е. Боровской, А.Г. Шевцова, В.Г. Шухова // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2012. – №2. – С. 4-9.
9. 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.

10. Брайловский Н.О. Управление движением транспортных средств / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский. – М.: Транспорт, 1975. – 112 с.

11. Булавина Л.В. Расчет пропускной способности магистралей и узлов / Л.В. Булавина. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. – 44 с.

12. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог: в 2 т. – Т.1: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Васильев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.

13. Васильєва Г.Ю. Методи мінімізації затримок транспорту на магістральній вулично-дорожній мережі міст України: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.20 «Містобудування та територіальне планування» / Ганна Юріївна Васильєва. – Київ, 2007. – 19 с.

14. Введения в математическое моделирование транспортных потоков: учебное пособие / [С.Л. Кленов, Е.А. Нурминский, Я.А. Холодов и др.]; под ред. А.В. Гасникова. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.

15. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения / [А.П. Буслаев, А.В. Новиков, А.Г. Таташев и др.]; под ред. чл.-корр. РАН В.М. Приходько. – М.: Мир, 2003. – 368 с.

16. Витолин С.В. Совершенствование транспортных потребительских свойств изолированных регулируемых перекрестков улично-дорожной сети города: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, аэродромов, метрополитенов, мостов и транспортных тоннелей» / Сергей Владимирович Витолин. – Волгоград: 2014. – 19 с.

17. Власов А.А. Эволюционный метод расчета режимов работы светофорной сигнализации / А.А. Власов, В.Ю. Акимова, М.В. Широков // Вестник ХНАДУ. – 2009. – Вып. 47. – С. 97-99.

18. Врубель Ю.А. Определение потерь в дорожном движении: монография / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Е.Н. Кот. – Минск: БНТУ, 2006. – 240с.

19. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения. В 2-х частях. / Ю.А. Врубель. – Минск: Белорусский фонд БДД, 1996. – 634 с.
20. Врубель Ю.А. Потери в дорожном движении / Ю.А. Врубель. – Минск: БНТУ, 2003. – 380 с.
21. Врубель Ю.А. Специфика расчета экономических издержек при координированном управлении при различных условиях дорожного движения / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Д.В. Навой // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния: науч. матер. XVI междунар. (19-ой екатеринбургской) науч.-практ. конф., 16-17 июня 2010 г. – Екатеринбург, 2010. – С. 204-212.
22. Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5-2001. – [чинні від 2001-10-01]. – К.: Держбуд України, 2001. – 50 с. – (Державні будівельні норми України).
23. Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения / А.А. Гаврилов. – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.
24. Гілевич В.В. Вплив дорожніх та автомобільних чинників на сумарні затримки транспортних потоків перед регульованими перехрестями / В.В. Гілевич // Автошляховик України: науково-виробничий журнал. – К.: ДСАДУ (Укравтодор), 2015. – № 5. – С. 14-19.
25. 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.
26. Гілевич В.В. Моделювання проїзду регульованого перехрестя з урахуванням впливових чинників / В.В. Гілевич, І.А. Могила // Збірник тез доповідей LXXI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2015. – С. 534.

27. Голуб Д.И. Метод статистической оптимизации циклов светофорного регулирования / Д.И. Голуб // Вестник Краснояр. гос. техн. ун-та. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – Вып. 43. – С. 332-336.
28. Горшкова Н.Г. Методика определения потока насыщения транспортных средств в зависимости от радиуса поворота направления движения / Н.Г. Горшкова, В.Г. Шухова, И.А. Новиков // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сбор. докл. 9-ой междунар. науч.-прктич. конф. – СПб., 2010. – С. 161–163.
29. Григоров М.А. Проблемы моделирования и управления движением транспортных потоков в крупных городах: монография / М.А. Григоров, А.Ф. Дашенко, А.В. Усов. – Одесса: Астропринт, 2004. – 272 с.
30. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория: учебник для вузов / А.И. Гришкевич. – Минск: Высшая школа, 1986. – 208 с.
31. Денисенко О.В. Некоторые аспекты определения коэффициентов приведения к легковому автомобилю / О.В. Денисенко, А.С. Филимонова // Автомобильный транспорт. – 2010. – Вып. 26. – С. 115-118.
32. Денисенко О.В. Повышение эффективности определения потоков насыщения / О.В. Денисенко // Автомобильный транспорт. – 2009. – № 25. – С. 134-137.
33. Денисенко О.В. Повышение эффективности расчета параметров цикла светофорного регулирования / О.В. Денисенко // Вестник ХНАДУ. – 2009. – Вып. 47. – С. 104-107.
34. Довгулевич О.А. Процесс образования задержек транспорта на регулируемом перекрестке при перезагрузке / О.А. Довгулевич // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния : науч. матер. XVII междунар. (20-ой екатеринбургской) науч.-практ. конф., 16-17 июня 2011 г. – Екатеринбург, 2011. – С. 147-152.
35. Долгушин Д.Ю. Многофакторное моделирование автотранспортных потоков на основе клеточных автоматов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец.

05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» / Дмитрий Юрьевич Долгушин. – Омск, 2011. – 20 с.

36. Домке Э.Р. Управление качеством дорог: учеб. пособие / Э.Р. Домке, А.П. Бажанов, А.С. Ширшиков. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 253 с.

37. Дороги автомобільні та аеродроми. Методи вимірювання нерівностей основ і покриттів: ДСТУ Б В.2.3-3-2000. – [Чинний від 2000-02-23]. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 16 с. – (Державний стандарт України).

38. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.

39. Ермаков В.В. Математическое моделирование многополосных транспортных потоков / В.В. Ермаков, С.Г. Журавлев // Математическое моделирование и дифференциальные уравнения: сборник статей 3-й междунар. науч. конф. – Минск: БГУ, 2012. – С. 133-145.

40. 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.

41. Єресов В.І. Оцінка стабільності потоків надходження в інтелектуальних технологіях світлофорного регулювання / В.І. Єресов, Л.С. Дідківська // Вестник ХНАДУ. – 2009. – Вып. 47. – С. 108-112.

42. Живоглядов В.Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков: монография / В.Г. Живоглядов. – Ростов н/Д.: Изд-во журн. «Изв. вузов Сев.-Кавк. регион», 2005. – 1082 с.

43. Завалищин Д.С. Исследования математической модели регулируемого перекрестка / Д.С. Завалищин, Г.А. Тимофеева // Труды института математики и механики УрО РАН. – Екатеринбург, 2009. – Т. 15, № 4. – С. 108-119.

44. Заклинский А.Д. Управление транспортными потоками при заторах: пособие / А.Д. Заклинский, В.Т. Капитанов. – М.: ВНИИБДР МВД СССР, 1980. – 28 с.

45. Иващенко Н.И. Исследование влияния износа деталей цилиндропоршневой группы на мощностные и экономические показатели двигателей / Н.И. Иващенко, И.М. Гульченко // Автомобильная промышленность. – М.: Машиностроение, 1973. – № 6. – С. 14-15.
46. Измеритель динамических характеристик автомобиля Sprint SG-2: руководство пользователя / Авто Тюнинг Группа. – К., 2010. – 56 с.
47. Иносэ Х. Управление дорожным движением; пер. с англ. / Х. Иносэ, Т. Хамада // под ред. М.Я. Блинкина – М.: Транспорт, 1983 – 248 с.
48. Кадасев Д.А. Повышение системной безопасности транспортных потоков оптимизацией светофорного регулирования их движения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / Дмитрий Анатольевич Кадасев. – М.: 2008. – 19 с.
49. Капитанов В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В.Т. Капитанов, Е.Б. Хилажев. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.
50. Капский Д.В. Методика определения экономических потерь при координированном регулировании движения транспортных и пешеходных потоков / Д.В. Капский, Д.В. Навой // Вестник БНТУ. – 2010. – № 4. – С. 60-70.
51. Кір'янов О.Ф. Напрямки вирішення проблеми перевантаження транспортних вузлів ВДМ / О.Ф. Кір'янов, Г.Г. Переверзева // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Дніпропетровськ, 2011. – № 36. – С. 181-184.
52. Клинковштейн Г.И. Организации дорожного движения: учебник для вузов / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 1991. – 183 с.
53. Кокорева А.В. Гидродинамические модели автотранспортных потоков: дис. ... канд. физ.-мат. наук: спец. 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» / Анастасия Владимировна Кокорева. – М.: 2007. – 123 с.
54. Колесников А.Е. Модель управления светофорными объектами для улиц с двусторонним движением / А.Е. Колесников // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 2003. – № 1(19). – С. 140-144.

55. Колесніков О.Є. Моделювання руху сучасних автомобілів через регульовані перехрестя / О.Є. Колесніков // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 2006. – Спецвыпуск. – С. 76-79.

56. Кременец Ю.А. Инженерные расчеты в регулировании дорожного движения: учеб. пособие / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский. – М.: Высшая школа, 1977. – 110 с.

57. 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.

58. Лагереv Р.Ю. Анализ алгоритмов оценки показателей функционирования регулируемых пересечений в условиях перенасыщения сети / Р.Ю. Лагереv, А.Г. Левашев // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сбор. докл. 8-ой междунар. конф. – СПб., 2008. – С. 110–117.

59. Левашев А.Г. Идеальный поток насыщения на регулируемом пересечении [Электронный ресурс] // Транспортная лаборатория ИрГТУ: [сайт] / А.Г. Левашев, И.М. Головных. – Режим доступа: http://transport.istu.edu/downloads/satur_flow.pdf (30.08.15). – Загл. с экрана.

60. Левашев А.Г. Модели определения коэффициентов приведения к легковому автомобилю для регулируемых пересечений [Электронный ресурс] // Транспортная лаборатория ИрГТУ: [сайт] / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов. – Режим доступа: <http://transport.istu.edu/downloads/pcu.pdf> (30.08.15). – Загл. с экрана.

61. 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.

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

63. Левтеров А.И. Определение зависимости времени проезда перекрестка от величины очереди транспортных средств и параметров дорожной сети / А.И. Левтеров, А.Н. Ярута // Автомобильный транспорт. – 2011. – № 29. – С. 264-267.

64. Лобанов Е.М. Пропускная способность автомобильных дорог / Е.М. Лобанов, В.В. Сильянов, Ю.М. Ситников, Л.Н. Сапегин. – М.: Транспорт, 1970. – 152 с.

65. Лобашов О.О. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху»: навч. посіб. / О.О. Лобашов, О.В. Прасоленко. – Харків: ХНАМГ, 2011. – 221 с.

66. Магопечь С.О. Динаміка зношування деталей циліндро-поршневої групи двигунів автомобілів ВАЗ залежно від напрацювання / С.О. Магопечь, О.В. Бевз, С.С. Романенко // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – 2011. – № 4(69). – С. 43-48.

67. Малишев А.В. Врахування складу транспортного потоку при визначенні потоків насичення для світлофорного регулювання / А.В. Малишев, О.М. Дудніков, В.В. Нужний // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2010. – № 1(10). – С. 69-75.

68. Метсон Т.М. Организация движения / Т.М. Метсон, У.С. Смит, Ф.В. Хард; сокр. пер. с англ. А.П. Алексеева. – М.: Автотранзисдат, 1960. – 464 с.

69. Михайленко В.И. Управление движением на автомобильных дорогах / В.И. Михайленко, Б.М. Четверухин. – К.: Урожай, 1991. – 200 с.

70. Михайлов А.Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов: монография / А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.

71. Могила І.А. Підвищення ефективності функціонування ізольованих регульованих перехресть з адаптивним алгоритмом керування: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / Ігор Андрійович Могила. – Львів: 2014. – 168 с.

72. Могила І.А. Розрахунок інтенсивності потоку насичення залежно від швидкості проїзду перехрестя та його довжини / І.А. Могила, В.В. Гілевич // Тези доповідей XX Всеукр. науково-техніч. конференції молодих учених і спеціалістів «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства». – Кременчук: КрНУ ім. Остроградського, 2013. – С. 144-145.

73. Наумов В.С. Автоматизация управления дорожным движением на автомобильном транспорте в городах Украины / В.С. Наумов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – С. 150-153.

74. Нутович О.А. Пошук оптимального управління світлофорними об'єктами за допомогою генетичних алгоритмів / О.А. Нутович, О.Є. Колесніков, В.Д. Гогунський // Безпека дорожнього руху України. – К.: ТОВ «Журнал «Радуга», 2004. – № 4. – С. 83-87.

75. Организация дорожного движения: справочное пособие / [А.Л. Рыбин, И.Ф. Живописцев, А.А. Шевяков, В.А. Аксенов]; под общ. ред. С.В. Федотова. – М.: ФГУП «РОСДОРНИИ», 2010. – 416 с.

76. 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.

77. Пальчик А.М. Транспортні потоки / А.М. Пальчик. – К.: Національний транспортний університет, 2010. – 172 с.

78. Петровский А.В. Клеточные автоматы в моделировании работы перекрестка / А.В. Петровский, С.С. Голощапов // Науковий вісник ХДМІ. – Херсон, 2010. – № 1(2). С. 78-83.

79. Поліщук В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху: навчальний посібник / В.П. поліщук, О.П. Дзюба. – К.: Знання України, 2008. – 175 с.

80. Полозенко П.М. Щодо питання оптимізації режимів світлофорного регулювання на перехрестях вулично-шляхової мережі / П.М. Полозенко //

Безпека дорожнього руху України: науково-технічний вісник. – К.: НДЦ БР МВС України, 1998. – № 1. – С. 90-97.

81. Поляков А.А. Организация движения на улицах и дорогах / А.А. Поляков. – М.: Транспорт, 1965. – 376 с.

82. Пономаренко Л.А. Управління нестационарними транспортними потоками на регульованих перехрестях: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / Любов Анатоліївна Пономаренко. – К.: 2006. – 145 с.

83. Пруненко Д.О. Визначення загальної інтенсивності руху на підходах до перехрестя / Д.О. Пруненко, О.В. Голубцова // Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник. – Харків: ХНАМГ, 2011. – № 101. – С. 251-258.

84. Пугачёв И.Н. Организация и безопасность дорожного движения: учеб. пособие для студ. учеб. заведений / И.Н. Пугачёв, А.Э. Горев, Е.М. Олещенко. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 272 с.

85. Рожанский Д.В. Специфика определения издержек при координированном регулировании транспортно-пешеходных потоков / Д.В. Рожанский, Ю.А. Врубель, Д.В. Капский [и др.] // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: междунар. науч.-практич. конф., 23-24 окт. 2009 г.: сборник научных статей. – Минск.: БНТУ, 2009. – С. 190-212.

86. Романов А.Г. Дорожное движение в городах: закономерности и тенденции / А.Г. Романов. – М.: Транспорт, 1984. – 80 с.

87. Руководство пользователя программы VISSIM 5.10. [Электронный ресурс]. – СПб.: А+С Консалт, 2009. – 542 с.

88. Руководство по проектированию городских улиц и дорог. – М.: Стройиздат, 1980. – 80 с.

89. Руководство по регулированию дорожного движения в городах. – М.: Стройиздат, 1974. – 97 с.

90. Самойлов Д.Ф. Организация и безопасность городского движения: учебник для вузов / Д.Ф. Самойлов, В.А. Юдин, П.В. Рушевский. – М.: Высшая школа, 1981. – 256 с.

91. Сватко В.В. Методика визначення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля з використанням моделі ефективного транспортного засобу [Електронний ресурс] / В.В. Сватко. – 2013. – Режим доступу до статті: <http://www.sworld.com.ua/konfer30/1005.pdf> (30.08.15). – Назва з екрану.
92. Семенов В.В. Математическое моделирование автотранспортных потоков: (обзорный реферат) [Электронный ресурс] / В.В. Семенов. – 2003. – Режим доступа: <http://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/IPMreview.pdf> (30.08.15). – Загл. с экрана.
93. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / Семенов В.В. – М., 2004. – 44 с. – (Препринт / Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН).
94. Семченко Н.А. Моделирование движения транспортных потоков на перекрестках / Н.А. Семченко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ ХПИ, 2011. – № 58. – С. 90-93.
95. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
96. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху: кн. 4 / [Е.В. Гаврилов, В.К. Доля О.Т. Лановий, В.П. Поліщук та ін.]; за заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2005. – 452 с.
97. Сысоев А.С. Моделирование и оптимизация систем с переменной структурой методами идемпотентной математики и анализа конечных изменений: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» / Антон Сергеевич Сысоев. – Липецк: 2013. – 129 с.
98. Технічні правила ремонту та утримання міських вулиць та доріг: КТМ 204 України 010-94. – К.: Держжитлокомунгосп, 1994. – 34 с.
99. Тимофеева Г.А. Математическая модель регулируемого перекрестка / Г.А. Тимофеева, Д.С. Завалишин // Транспорт Урала: научно-технический журнал. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – № 2(17). – С. 92-97.

100. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах: ВСН 25-86. – [Введено 1988-01-01]. – М.: Министерство автомобильных дорог РСФСР, 1986. – 140 с.

101. Ульрих С.А. Разработка алгоритма определения потока насыщения на регулируемых пересечениях г. Барнаула / С.А. Ульрих, В.И. Ведяшкин, Д.Ю. Каширский // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4/3. – С. 129-135.

102. Форнальчик Є.Ю. Актуалізація локального управління транспортними потоками міста / Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2010. – № 6. – С. 24-28.

103. Форнальчик Є.Ю. Взаємозв'язок між технічним станом автобусів та їх розгінними швидкостями під час проїзду перехресть / Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич // Автошляховик України: науково-виробничий журнал. – К.: ДСАДУ (Укравтодор), 2013. – № 6 (236). – С. 5-7.

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

105. Форнальчик Є.Ю. Вплив певних чинників на динаміку транспортного потоку, який долає регульоване перехрестя /Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич // Автошляховик України: науково-виробничий журнал. – К.: ДСАДУ (Укравтодор), 2012. – № 3. – С. 7-10.

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

107. Форнальчик Є.Ю. Вплив швидкості проїзду регульованого перехрестя на інтенсивність потоку насичення / Є.Ю. Форнальчик, І.А. Могила, В.В. Гілевич // Комунальне господарство міст. – 2012. – № 103. – С. 355-366.

108. Форнальчик Є.Ю. До поняття потоку насичення та його інтенсивності / Є.Ю. Форнальчик, І.А. Могила, В.В. Гілевич // Транспортные проблемы

крупнейших городов: Материалы международной научно-практической конференции. – Х.: ХНАГХ, 2012. – С. 51-53.

109. Форнальчик Є.Ю. До поняття «транспортна затримка» / Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич // Інженерна механіка та транспорт: матер. І Міжнар. конф. молодих вчених, 25-27 листопада 2010 р. – Львів, 2010. – С. 64-65.

110. Форнальчик Є.Ю. Зміна інтенсивності потоку насичення залежно від швидкості проїзду регульованого перехрестя / Є.Ю. Форнальчик, І.А. Могила, В.В. Гілевич // Транспортные проблемы крупнейших городов: Материалы международной научно-практической конференции. – Харків: ХНАМГ, 2012. – С. 38-42.

111. Форнальчик Є.Ю. Обґрунтування напрямку та методичного підходу у дослідженні проїзду регульованих перехресть / Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие городов. Управление проектами и программами городского и регионального развития». – Харків: ХНАМГ, 2010. – С. 176-178.

112. Форнальчик Є.Ю. Порівняльна характеристика деяких показників проїзду регульованих і нерегульованих перехресть / Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич // Вестник ХНАДУ. – 2010. – Вып. 50. – С. 48-51.

113. Форнальчик Є.Ю. Про вплив технічного стану автомобілів та проїжджої частини на режим роботи світлофорних об'єктів / Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич // Тези доповідей 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій». – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2014. – С. 106.

114. Форнальчик Є.Ю. Сучасний стан і проблеми з організацією дорожнього руху у місті Львові / Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич, С.Я. Фіалковський // збірник наукових праць за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції «Логістика промислових регіонів». – Донецьк: ДААТ, 2010. – С. 179-182.

115. Форнальчик Є.Ю. Техніко-технологічний аналіз регульованих перехресть з магістральними вулицями / Є.Ю. Форнальчик, В.В. Гілевич // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – Луцьк: ЛНТУ, 2014. – № 46. – С. 558-564.

116. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения: учебник для вузов / Я.В. Хомяк. – К.: Вища школа, 1986. – 272 с.

117. Цариков А.А. Развитие методов расчета регулируемых узлов на улично-дорожной сети города: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте» / Алексей Алексеевич Цариков. – Екатеринбург, 2010. – 19 с.

118. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков / В.И. Швецов // Автоматика и телемеханика: журнал. – М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, 2003. – № 11. – С. 3-46.

119. Шевель О.А. Модели расчета удельных задержек транспорта на регулируемом перекрестке / О.А. Шевель // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния: науч. матер. XVI междунар. (19-ой Екатеринбургской) науч.-практ. конф., 16-17 июня 2010 г. – Екатеринбург, 2010. – С. 212-216.

120. Akcelik R. Queue discharge flow and speed models for signalized intersection / R. Akcelik, M. Besley // Proceedings of 15th International Symposium on transportation and traffic flow theory. – Adelaide, 2002. – P. 1-20.

121. Branston D. A Comparison of Observed and Estimated Queue Lengths at Oversaturated Traffic Signals / D.A Branston // Traffic Engineering and Control. – 1978. Vol. 19. – № 7. – P. 322-327.

122. Branston D. Some factors affecting the capacity of signalized intersection / D. Branston // Traffic Engineering and Control. – 1979. Vol. 20. – № 8-9. – P. 390-396.

123. Cheng D.X. Development of an Improved Cycle Length Model over the Highway Capacity Manual 2000 Quick Estimation Method / D.X. Cheng, T.Z. Zong, C.J. Messer // Journal of Transportation Engineering. – 2005. – № 12. – P. 890-897.

124. Fornalchyk Ye. The influence of dynamic characteristics of vehicles on the passenger car equivalent and traffic delay / Ye. Fornalchyk, I. Mohyla, V. Hilevych // An International Quarterly Journal «ECONTECHMOD». – 2015. Vol. 4. – No. 2. – P. 45-50.
125. Fornalchyk Ye. The saturation flow volume as a function of the intersection passing speed / Ye. Fornalchyk, I. Mohyla, V. Hilevych // International Scientific Journal «Transport Problems». – 2013. Vol. 8. – Issue 3. – P. 43-51.
126. Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS 2001). – Forschungsgesellschaft fuer Strassenund Verkehrswesen, Koeln, Januar 2002.
127. Highway Capacity Manual / Washington: TRB, 2000. – 1134 p.
128. Miller A.J. Setting for Fixed-cycle Traffic Signals / A.J. Miller // Operational Research Quarterly. – 1963. – № 4. – P. 373-386.
129. Miller A.J. The Capacity of Signalized Intersections in Australia / A.J. Miller // Australian Road Research Board, ARRB Bulletin. – 1968. – № 3.
130. Newell G. Quenes for Vehicle Actuated Traffic Lights / G. Newell, J. Darroch, R. Morris // Operations Research. 1964. – № 6. – P. 882-895.
131. Sosin J.A. Delays at Intersections Controlled by Fixed-Cycle Traffic Signals / J.A. Sosin //Traffic Engineering and Control. – 1980. Vol. 21. – № 8. – P. 407-413.
132. Teply S. Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections. Third Edition / S. Teply, D.I. Allingham, D.B. Richardson, B.W. Stephenson. – Toronto: Institute of Transportation Engineers, District 7, 2008. – 230 p.
133. Webster F.V. Traffic Signals: Technical Paper № 56 / F.V. Webster, B.M. Cobbe. – London: Road Research Laboratory, 1966. – 111 p.

ДОДАТОК А

ПЕРЕЛІК РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ З ЖОРСТКИМИ СВІТЛОФОРНИМИ ЦИКЛАМИ ТА
ХАРАКТЕРИСТИКА РІВНОСТІ ЇХ ПОКРИТЬ

Назва перехрестя	Магістральна вулиця	Геометрія перехрестя		Тип покриття ПЧ магістральному напрямку до, на та після перехрестя	Наявність трамвайних колій (тролейбусних ліній) на перехресті	Рівність дорожнього покриття за 3-метровою рейкою, мм	
		Відстань між стоп-лініями в магістральному напрямку, м	Ширина вулиці магістрального напрямку, м			фактична	норматив [98]
вул. Стрийська – Франка	вул. Стрийська	36,00	10,40	б – б – а/б	+	30*	10
вул. Стрийська – Сахарова	вул. Стрийська	48,00	18,40	а/б – а/б – а/б	–	10	10
вул. Героїв УПА – Бандери	вул. Героїв УПА	38,50	7,50	а/б – б – а/б	+	50*	10
вул. Антоновича – Бандери	вул. Антоновича	46,50	7,50	а/б – б – а/б	+	50*	10
вул. Антоновича – Залізняка	вул. Антоновича	25,00	7,50	а/б – а/б – а/б	–	30	10
вул. Пасічна – Вашингтона	вул. Пасічна	44,50	19,60	а/б – а/б – а/б	–	20	10
вул. Варшавська – Тунельна	вул. Варшавська	60,50	15,20	а/б – а/б – а/б	–	30	10
вул. Липинського – Замарстинівська	вул. Липинського	58,00	15,90	а/б – а/б – а/б	+	10	10

вул. Мазепи – Миколайчука	вул. Мазепи	44,00	10,80	а/б – а/б – а/б	– (+)	20	10
вул. Шевченка – Левандівська	вул. Шевченка	44,50	12,00	б – б – б	+ (–)	60*	10
вул. Зелена – Липова Алея	вул. Зелена	48,00	10,50	а/б – а/б – а/б	– (+)	30	10
вул. Городоцька – Виговського	вул. Городоцька	42,00	18,10	а/б – а/б – а/б	– (+)	10	10
просп. Чорновола – вул. Хімічна	просп. Чорновола	57,50	17,70	а/б – а/б – а/б	– (+)	10	10
вул. Хмельницького – Грінченка	вул. Хмельницького	50,00	25,80	а/б – а/б – а/б	– (–)	10	10
вул. Кульпарківська – Садова	вул. Кульпарківська	34,50	15,30	а/б – а/б – а/б	– (+)	20	10
вул. Виговського – Кульчицької	вул. Виговського	35,50	16,30	а/б – а/б – а/б	– (+)	10	10
вул. Волод. Великого – Айвазовського	вул. Володимира Великого	45,00	13,80	а/б – а/б – а/б	– (+)	20	10
вул. Наукова – Тролейбусна	вул. Наукова	62,50	27,70	а/б – а/б – а/б	– (+)	20	10
вул. Сихівська – Кавалерідзе	вул. Сихівська	30,50	18,30	а/б – а/б – а/б	– (+)	20	10
просп. Свободи – вул. Гнатюка	просп. Свободи	30,00	12,10	б – б – б	– (+)	30	10
вул. Личаківська – Голинського	вул. Личаківська	32,00	10,70	б – б – б	– (–)	30	10

Примітка: тип дорожнього покриття: а/б – асфальтобетон, б – бруківка; * – виступи рейок над рівнем дорожнього покриття (норматив – 20 мм [7]; фактично в середньому – 50 мм).

ДОДАТОК Б

РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ, ЯКІ ПРОЇЗДЖАЮТЬ
РЕГУЛЬОВАНІ ПЕРЕХРЕСТЯ З ЖОРСТКИМИ СВІТЛОФОРНИМИ ЦИКЛАМИ

Назва перехрестя	Кількість смуг руху на головному (другорядному) напрямах	Тривалість світлофорного циклу, T_u (зеленого сигналу на магістральному напрямку, t_3), с	Сумарна інтенсивність руху на магістральному напрямку, зв. од./год	Структура транспортного потoku на магістральному напрямку	Середні швидкість та тривалість проїзду перехрестя першими автомобілями з черги	
					V_{np} , км/ГОД	t_{np} , с
вул. Стрийська – Франка	1x1 (1x1)	70 (36)	1046	Л – 88%, В – 8%, А – 2%, Т – 1%, Тр – 1%	11,02	9,57
вул. Стрийська – Сахарова	2x2 (1x1)	63 (26)	1844	Л – 80%, В – 16%, А – 3%, Тр – 1%	18,64	9,06
вул. Героїв УПА – Бандери	2 (1x1)	56 (32)	936	Л – 81%, В – 11%, А – 5%, Т – 2%, Тр – 1%	12,57	9,02
вул. Антоновича – Бандери	2 (1x1)	59 (28)	1066	Л – 87%, В – 6%, А – 5%, Т – 1%, Тр – 1%	16,17	8,08
вул. Антоновича – Залізняка	2 (1x1)	43 (28)	954	Л – 87%, В – 6%, А – 6%, Тр – 1%	15,74	5,33
вул. Пасічна – Вашингтона	2x2 (1x1)	70 (37)	1234	Л – 81%, В – 13%, А – 6%	19,66	9,63
вул. Варшавська – Тунельна	2x2 (2x1)	56 (17)	1520	Л – 59%, В – 39%, А – 2%	20,20	10,37

вул. Липинського – Замарстинівська	2x2 (1x1)	70 (40)	1538	Л – 66%, В – 20%, А – 13%, Т – 1%	22,22	8,62
вул. Мазепи – Миколайчука	1x1 (1x1)	56 (32)	694	Л – 63%, В – 24%, А – 11%, Тр – 2%	16,11	9,05
вул. Шевченка – Левандівська	2x2 (2x1)	64 (20)	1154	Л – 65%, В – 22%, А – 13%, Т – 1%	12,47	11,43
вул. Зелена – Липова Алея	1x1 (1x1)	69 (36)	748	Л – 67%, В – 22%, А – 10%, Тр – 1%	16,05	10,77
вул. Городоцька – Виговського	3x2 (1x1)	70 (20, 44)	1955	Л – 75%, В – 13%, А – 11%, Тр – 1%	20,32	7,44
просп. Чорновола – вул. Хімічна	2x2 (1x1)	66 (36)	1778	Л – 64%, В – 8%, А – 17%, Тр – 1%	20,85	9,93
вул. Хмельницького – Грінченка	3x3 (2x1)	60 (28)	1904	Л – 69%, В – 14%, А – 17%	23,74	7,58
вул. Кульпарківська – Садова	2x2 (1x1)	62 (30)	1345	Л – 76%, В – 7%, А – 15%, Тр – 2%	17,77	6,99
вул. Виговського – Кульчицької	2x2 (1x1)	52 (30)	1579	Л – 81%, В – 8%, А – 10%, Тр – 1%	22,11	5,78
вул. Волод. Великого – Айвазовського	2x2 (1x1)	65 (33)	726	Л – 80%, В – 7%, А – 12%, Тр – 1%	18,17	8,92
вул. Наукова – Тролейбусна	3x3 (1x1)	64 (18, 18)	1863	Л – 77%, В – 10%, А – 12%, Тр – 1%	23,56	9,55
вул. Сихівська – Кавалерідзе	2x2 (1x1)	60 (32)	964	Л – 71%, В – 14%, А – 13%, Тр – 2%	19,11	5,75
просп. Свободи – вул. Гнатюка	3 (1x1)	66 (28)	1033	Л – 87%, В – 2%, А – 10%, Тр – 1%	18,08	5,97
вул. Личаківська – Голинського	1x1 (1)	50 (30)	606	Л – 76%, В – 15%, А – 9%	17,15	6,72

Примітка: склад ТП: Л – легкові автомобілі, В – вантажні автомобілі, А – автобуси, Т – трамваї, Тр – тролейбуси

ДОДАТОК В

РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИНАМІКИ ПРОЇЗДУ
РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ АВТОБУСАМИ LAZ-A183D1 З РІЗНИМИ
КУМУЛЯТИВНИМИ ПРОБІГАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИЛАДУ SPRINT SG-2

Рік випуску автобуса – 2010; кумулятивний пробіг автобуса – 125,8 тис. км.

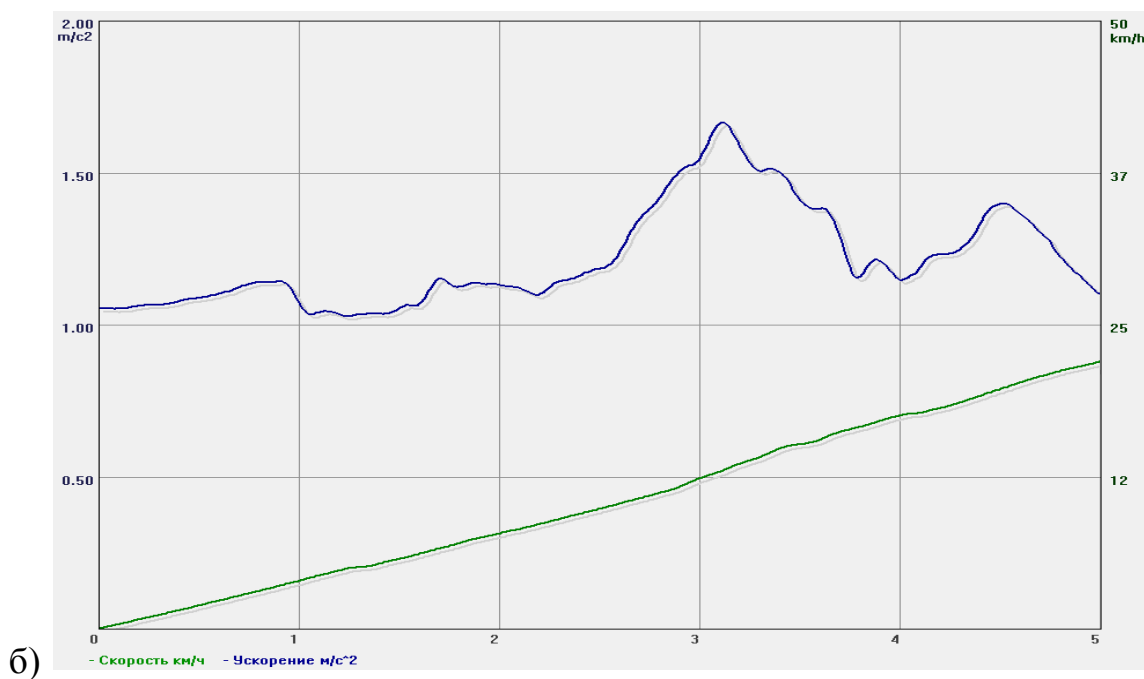
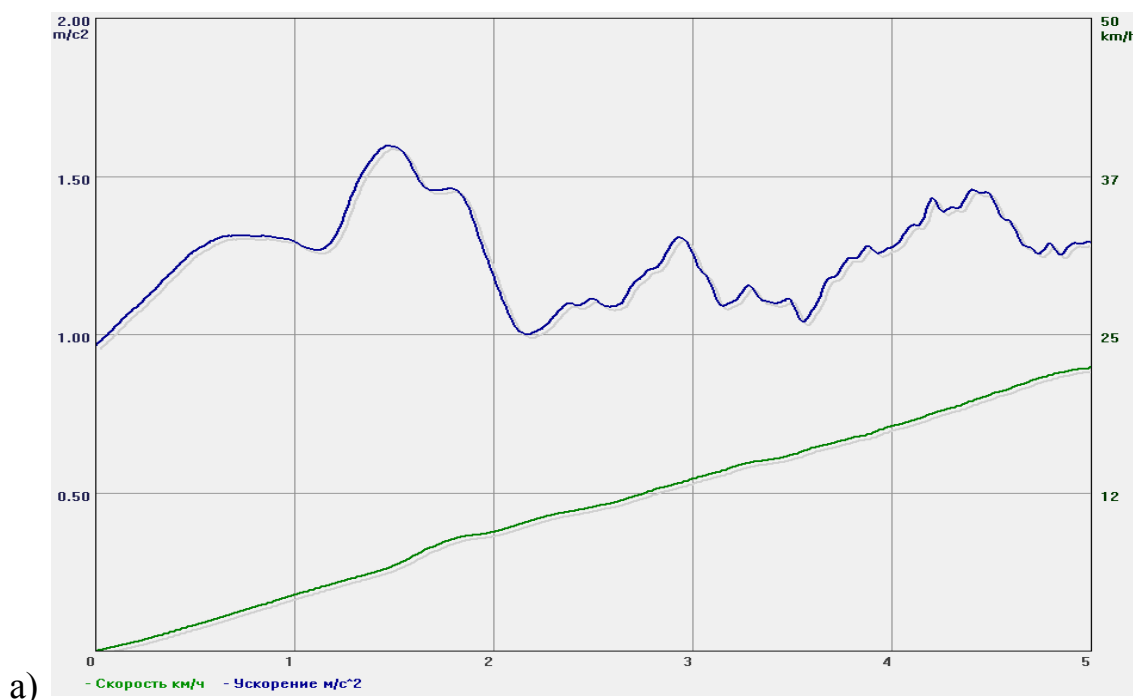


Рисунок В.1 – Запис на приладі SPRINT SG-2 змін прискорення і швидкості автобусів LAZ-A183D1, які проїжджають регульоване перехрестя вул. Стрийська – Сахарова:
а) 15-й дослід; б) 30-й дослід

Рік випуску автобуса – 2010; кумулятивний пробіг автобуса – 153,3 тис. км.

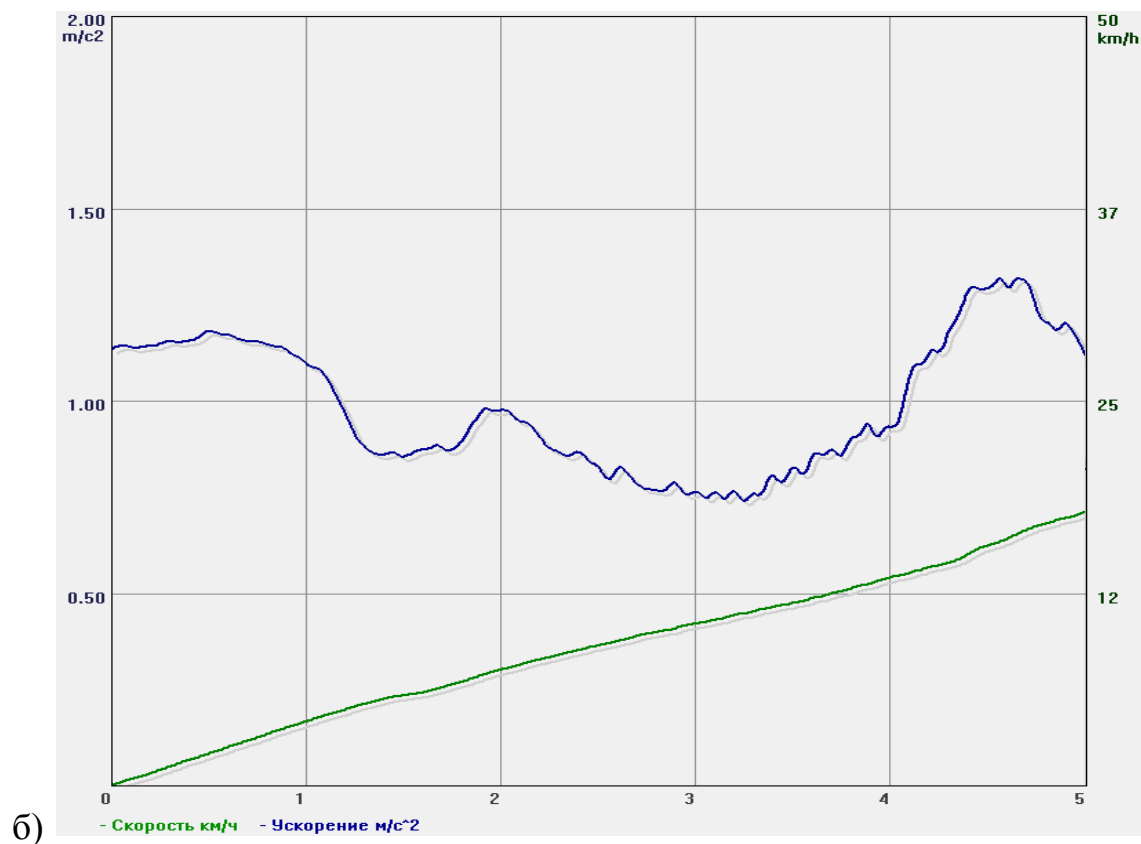
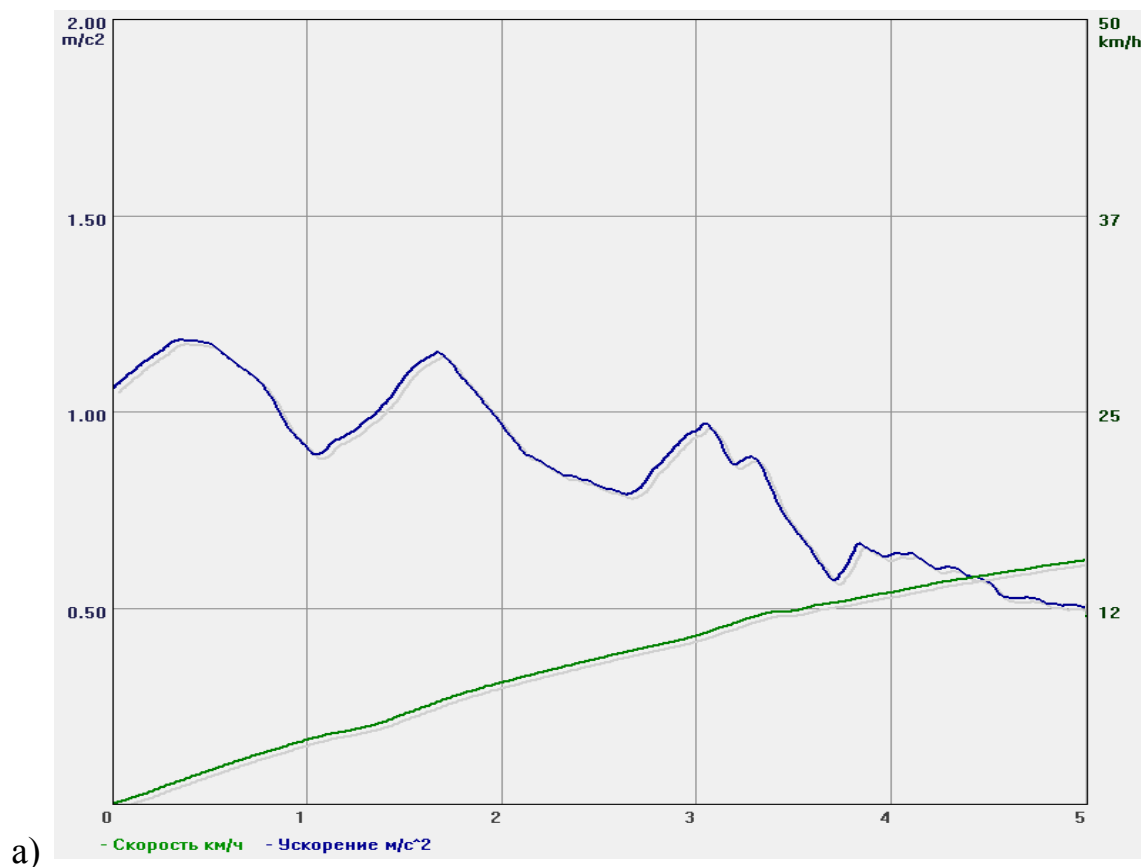


Рисунок В.2 – Запис на приладі SPRINT SG-2 змін прискорення і швидкості автобусів LAZ-A183D1, які проїжджають регульоване перехрестя вул. Стрийська – Сахарова:
а) 3-й дослід; б) 15-й дослід

Рік випуску автобуса – 2010; кумулятивний пробіг автобуса – 161,2 тис. км.

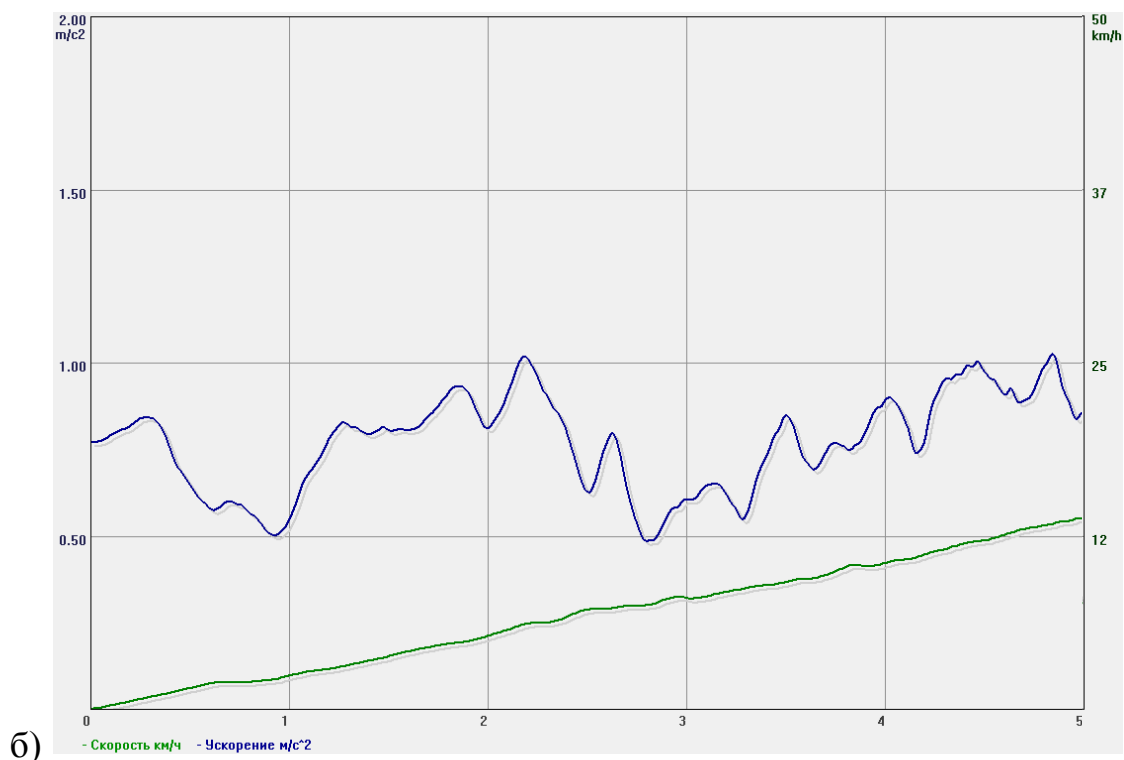
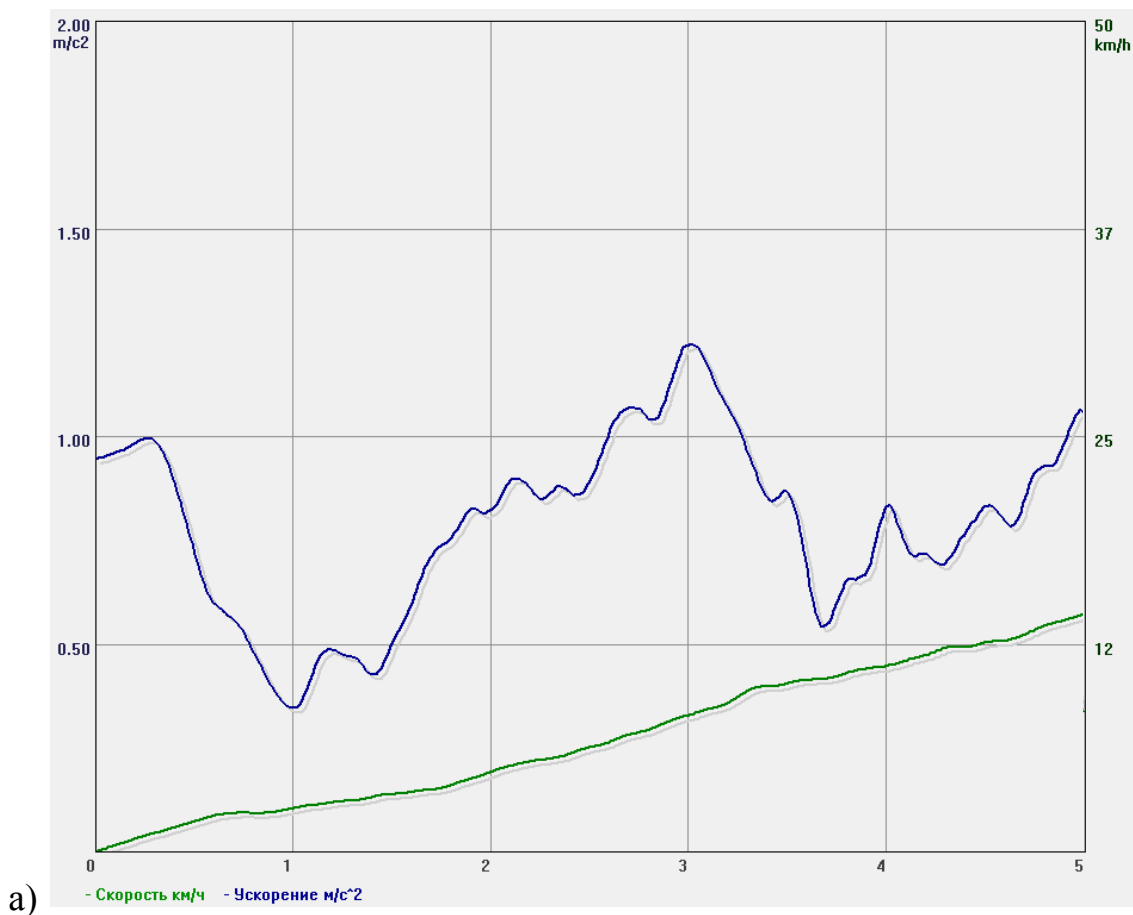
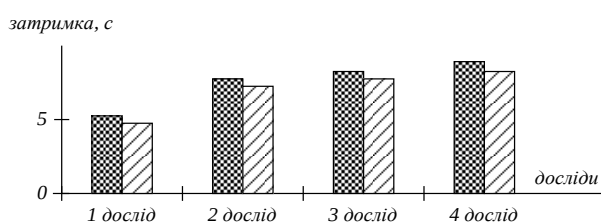
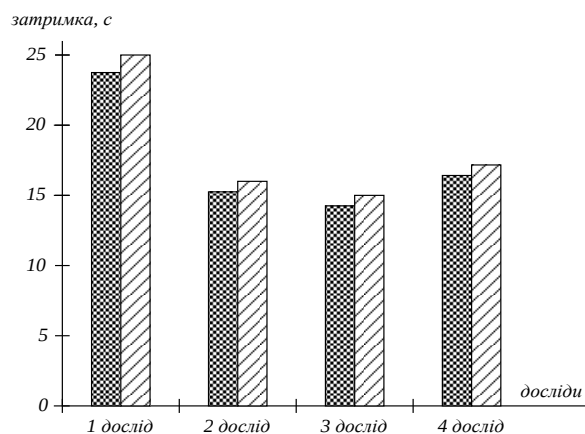
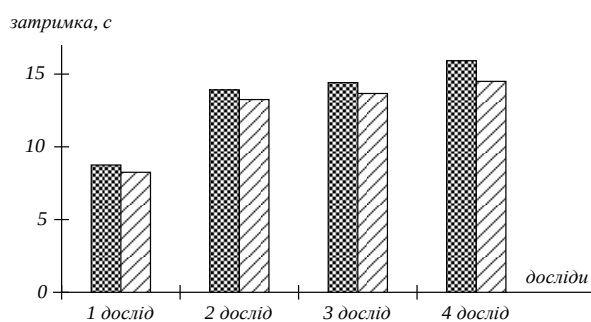
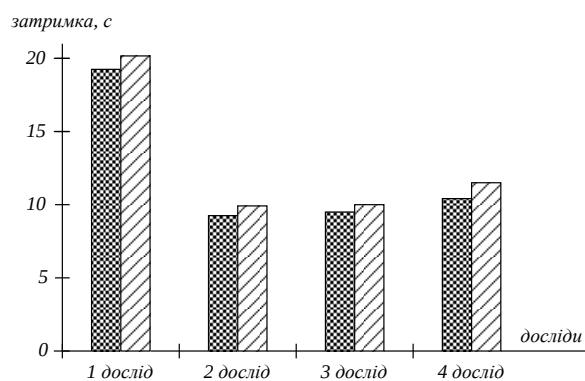
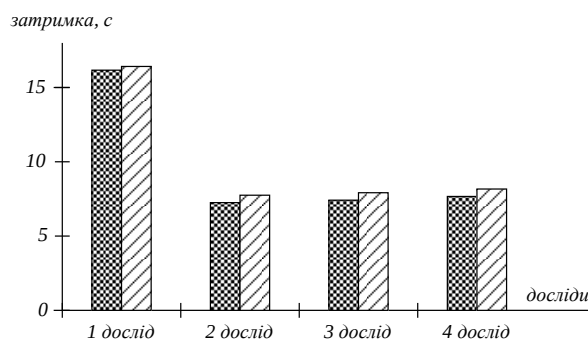
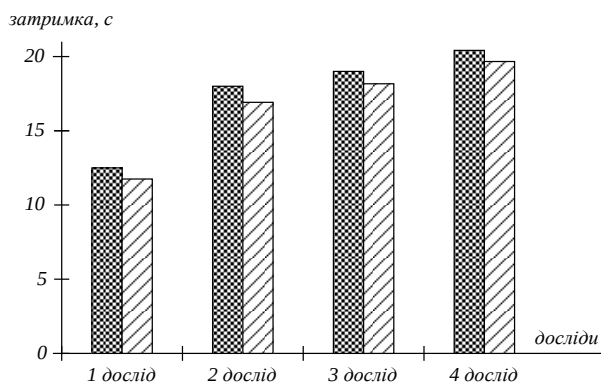
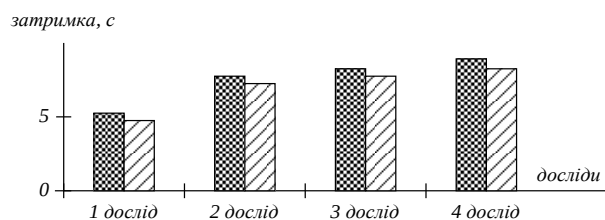
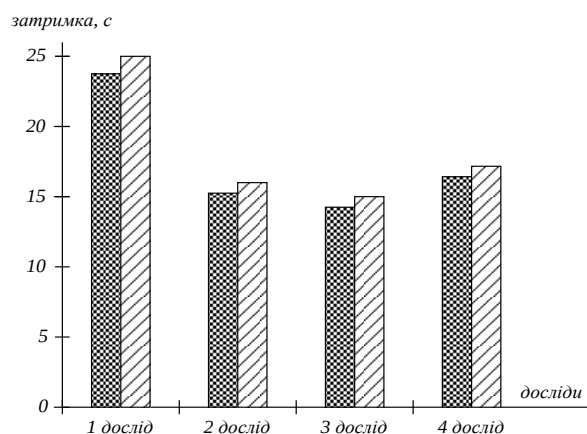
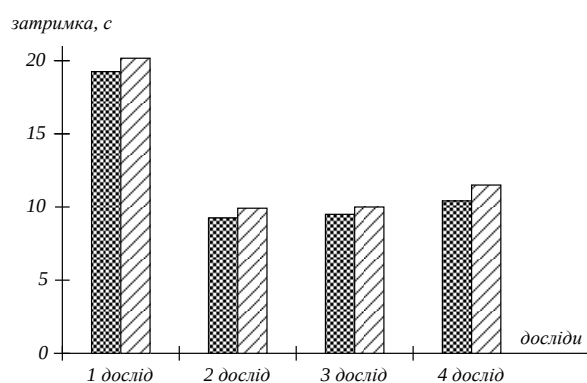
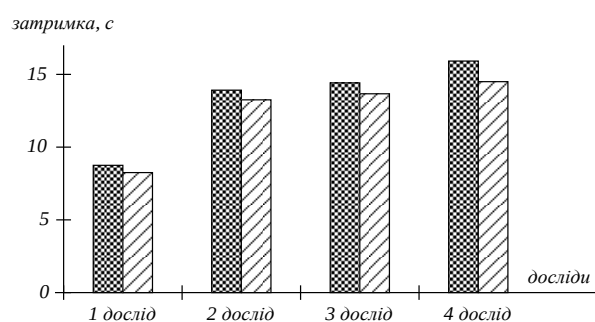
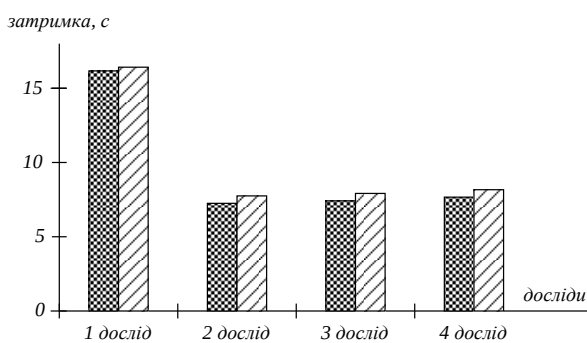
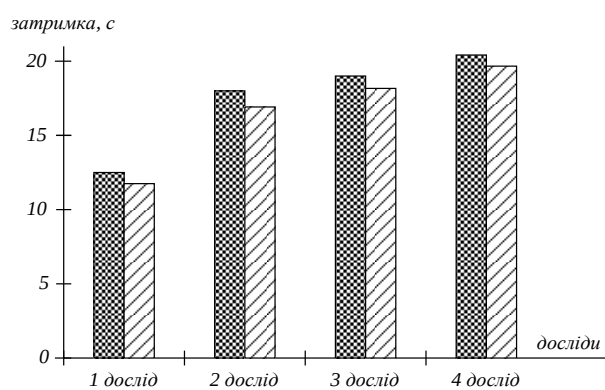


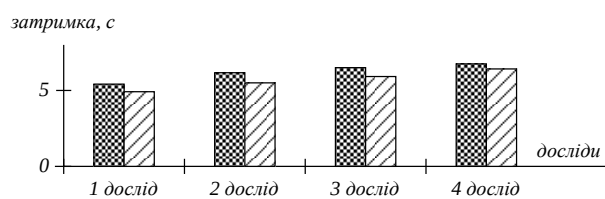
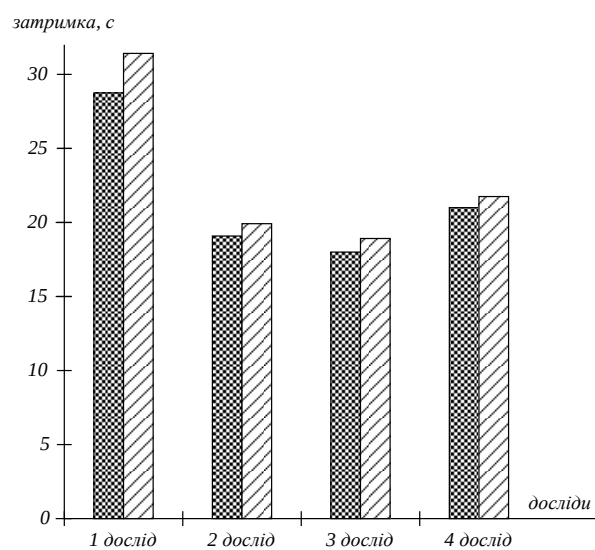
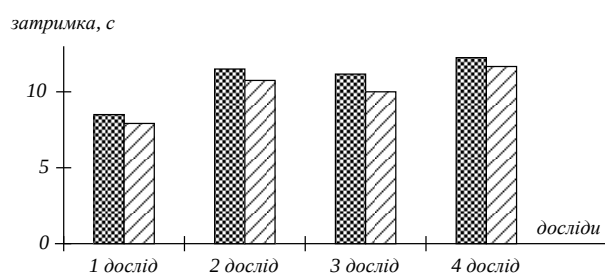
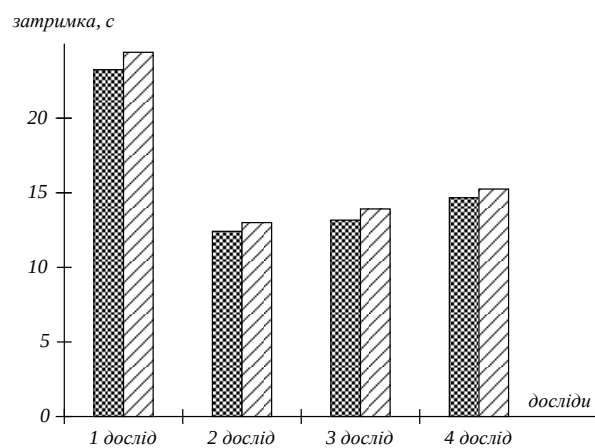
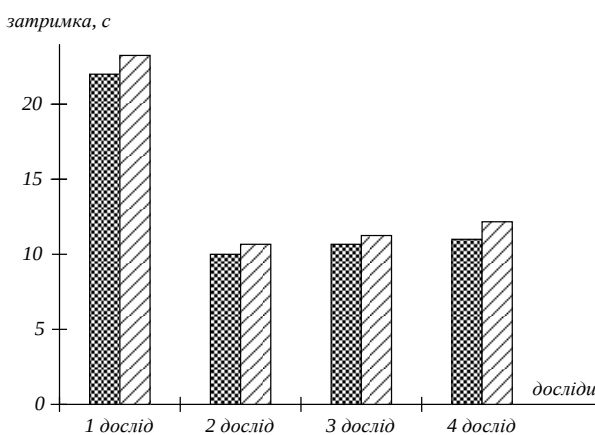
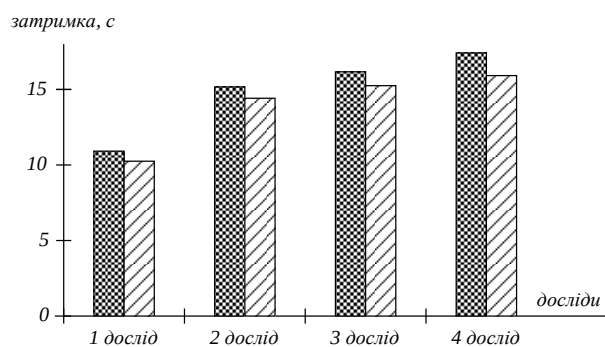
Рисунок В.3 – Запис на приладі SPRINT SG-2 змін прискорення і швидкості автобусів LAZ-A183D1, які проїжджають регульоване перехрестя вул. Стрийська – Сахарова:
а) 9-й дослід; б) 12-й дослід

ДОДАТОК Г

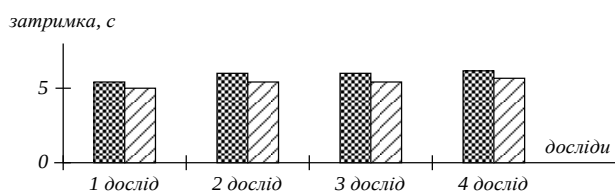
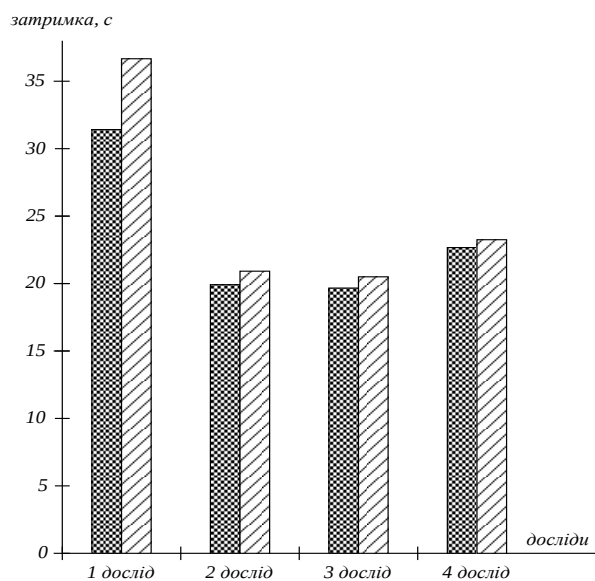
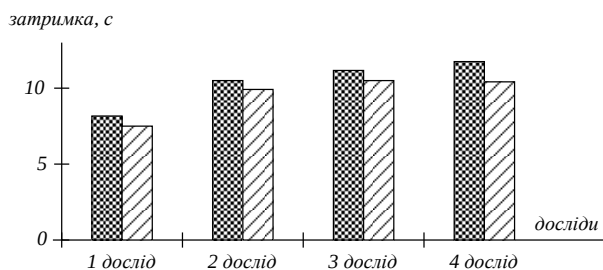
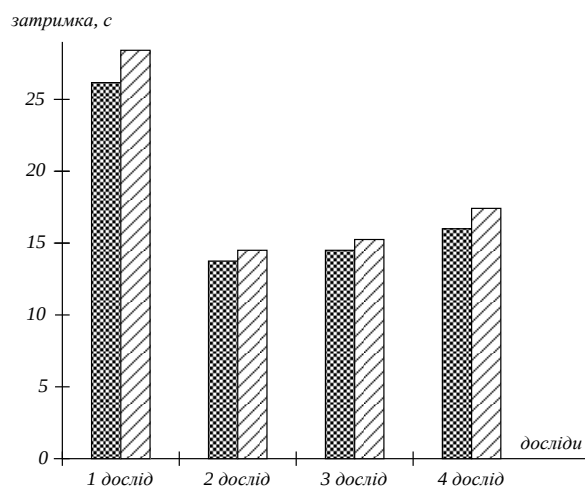
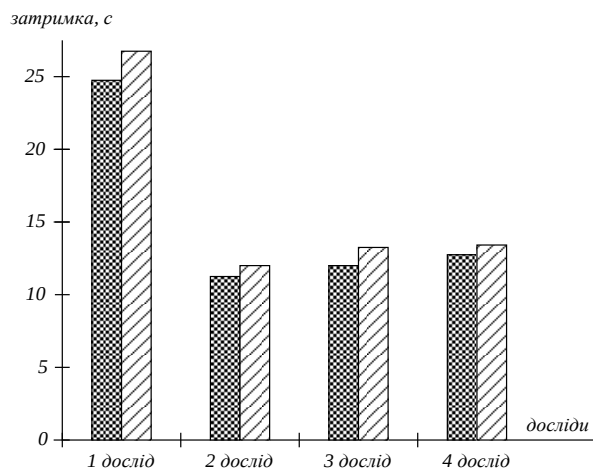
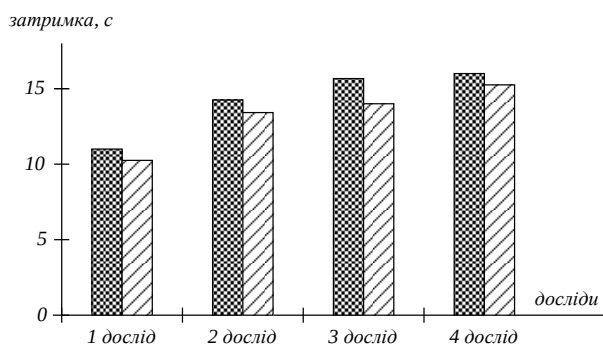
ЗМІНА ТРИВАЛОСТІ СЕРЕДНІХ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У
ТРАНСПОРТНОМУ ПОТОЦІ ПЕРЕД РЕГУЛЬОВАНИМ ПЕРЕХРЕСТЯМГоловні напрямки $N_{гол}=400$ авт./год $N_{гол}=400$ авт./годДругорядні напрямки $N_{др}=100$ авт./год $N_{др}=200$ авт./год $N_{гол}=400$ авт./год $N_{др}=300$ авт./годРисунок Г.1 – Зміна тривалості середніх затримок ТЗ перед регульованим перехрестям
(склад ТП: легкових ТЗ – 75%, автобусів (вантажних ТЗ) – 25%)

Головні напрямки $N_{гол}=500$ авт./годДругорядні напрямки $N_{ор}=100$ авт./год $N_{гол}=500$ авт./год $N_{ор}=200$ авт./год $N_{гол}=500$ авт./год $N_{ор}=300$ авт./год

Продовження рисунка Г.1

Головні напрямки $N_{гол}=600$ авт./год $N_{гол}=600$ авт./годДругорядні напрямки $N_{ор}=100$ авт./год $N_{ор}=200$ авт./год $N_{гол}=600$ авт./год $N_{ор}=300$ авт./год

Продовження рисунка Г.1

Головні напрямки $N_{гол}=700$ авт./год $N_{гол}=700$ авт./годДругорядні напрямки $N_{ор}=100$ авт./год $N_{ор}=200$ авт./год $N_{гол}=700$ авт./год $N_{ор}=300$ авт./год

Закінчення рисунка Г.1

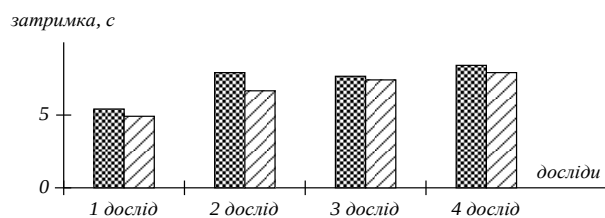
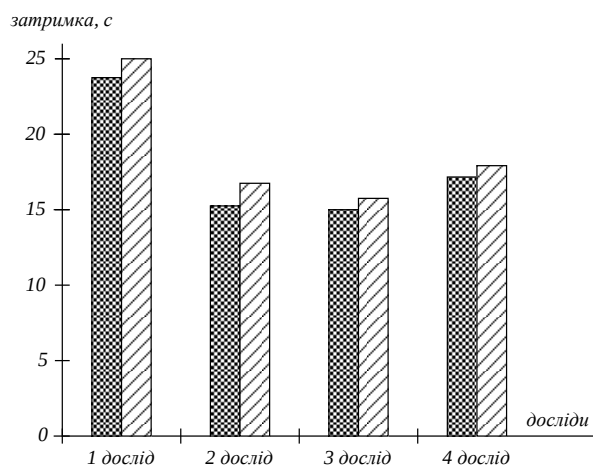
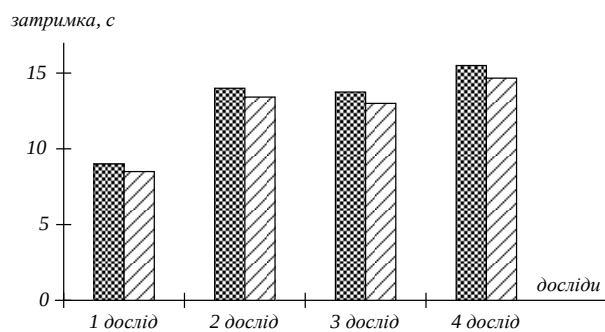
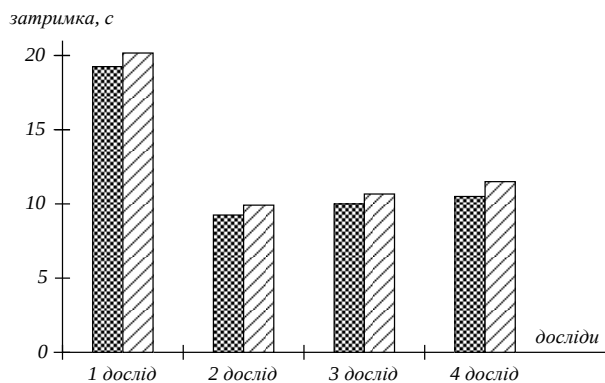
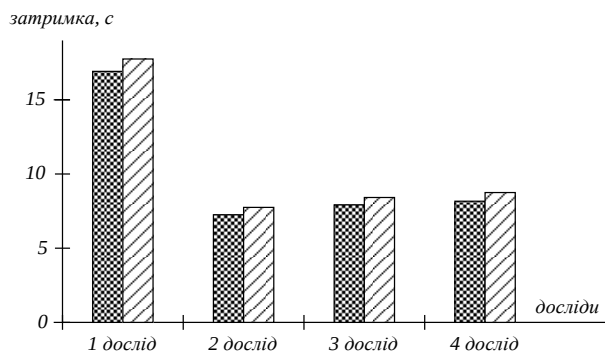
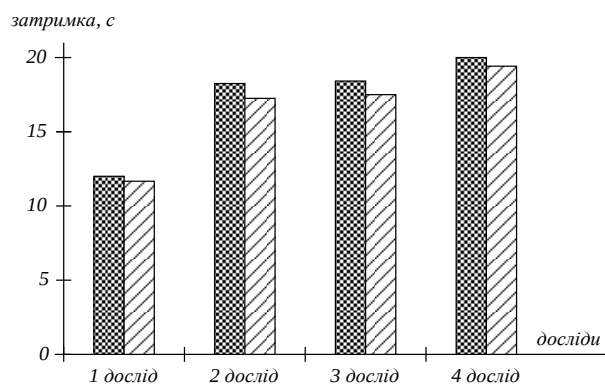
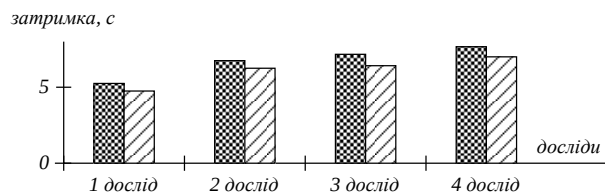
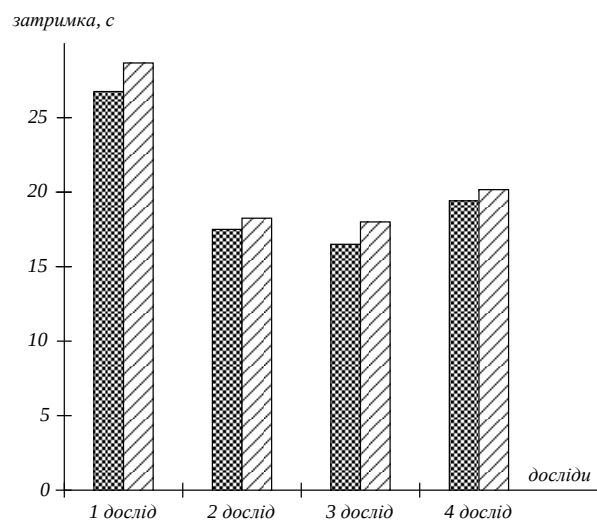
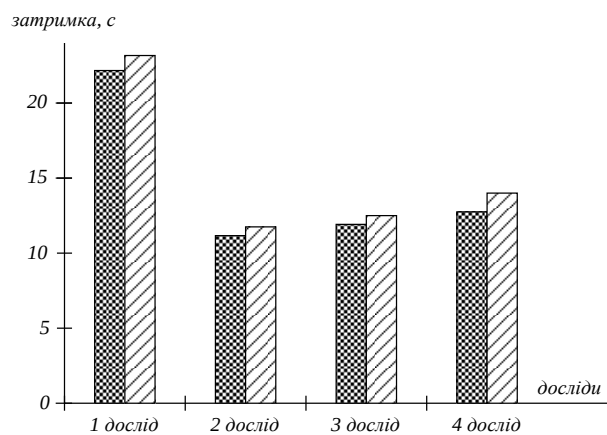
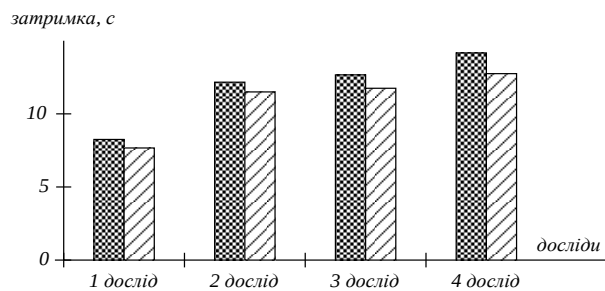
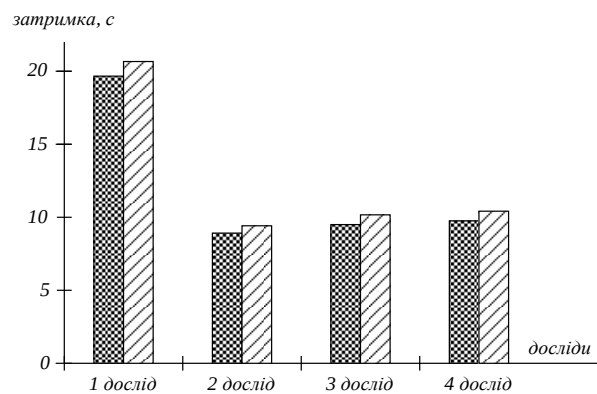
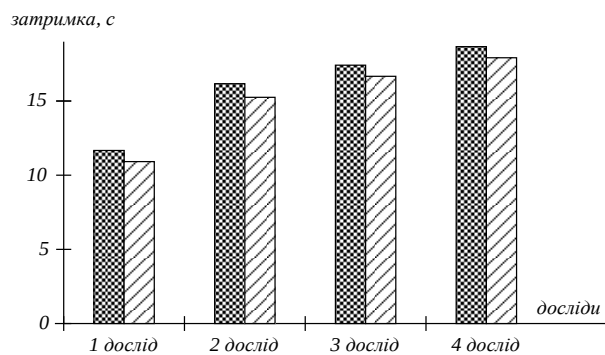
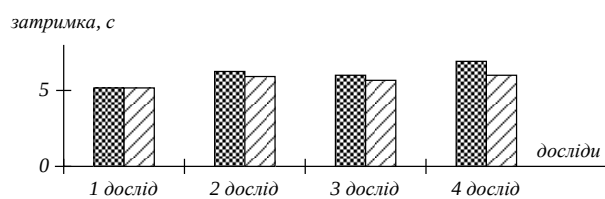
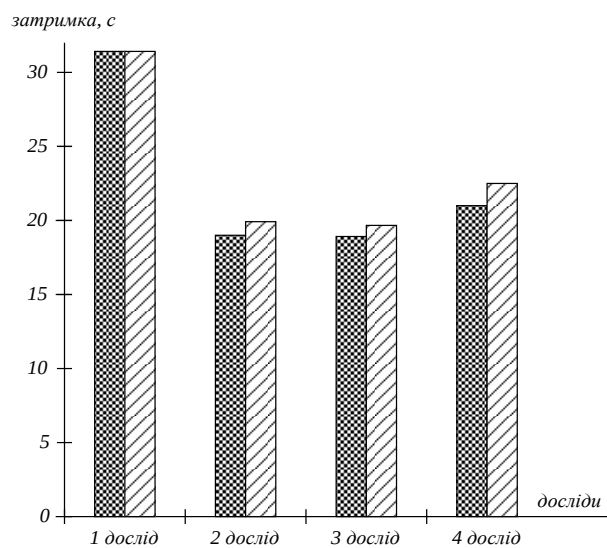
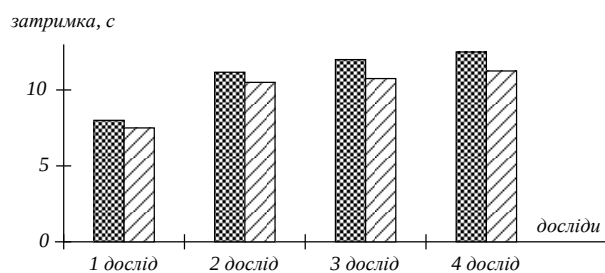
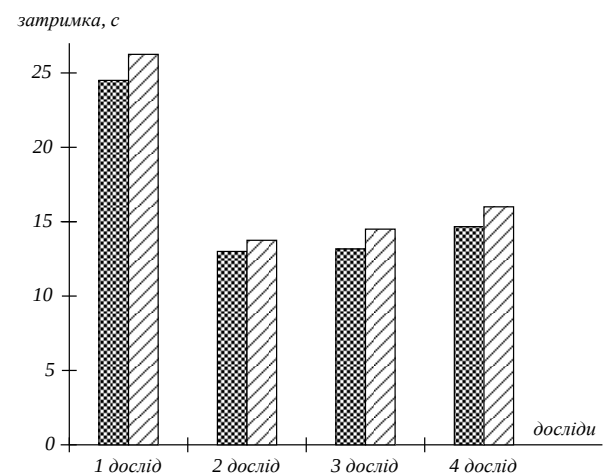
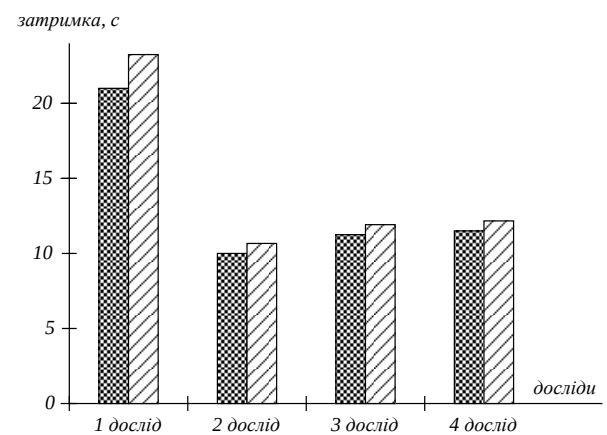
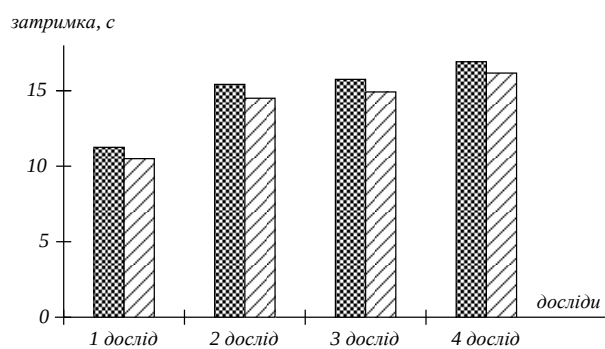
Головні напрямки $N_{гол}=400$ авт./год $N_{гол}=400$ авт./годДругорядні напрямки $N_{др}=100$ авт./год $N_{др}=200$ авт./год $N_{гол}=400$ авт./год $N_{др}=300$ авт./год

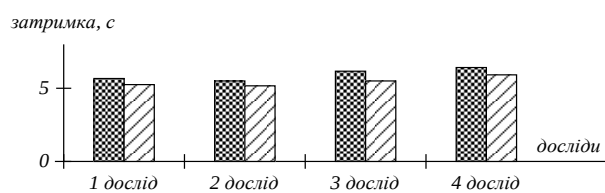
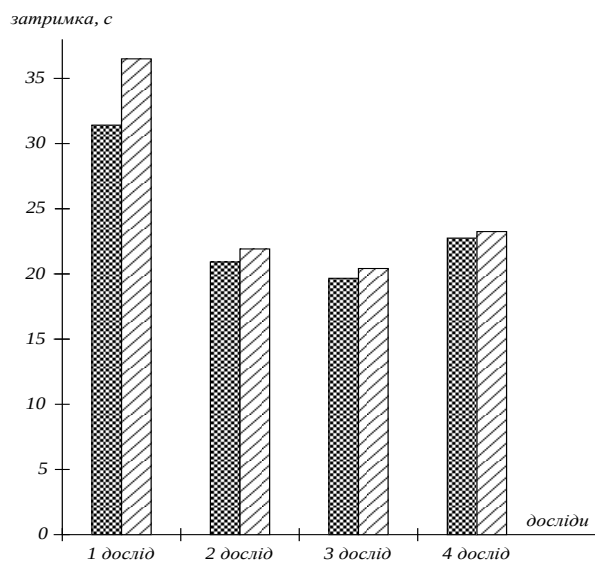
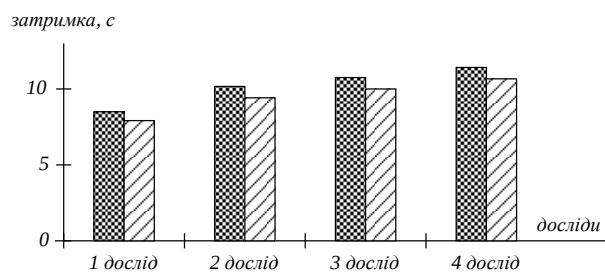
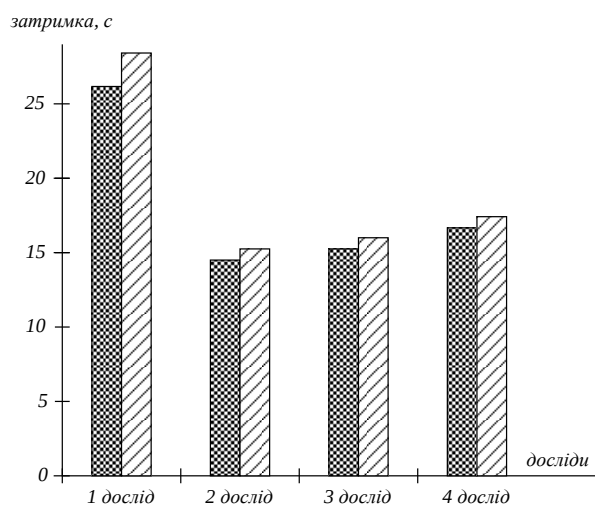
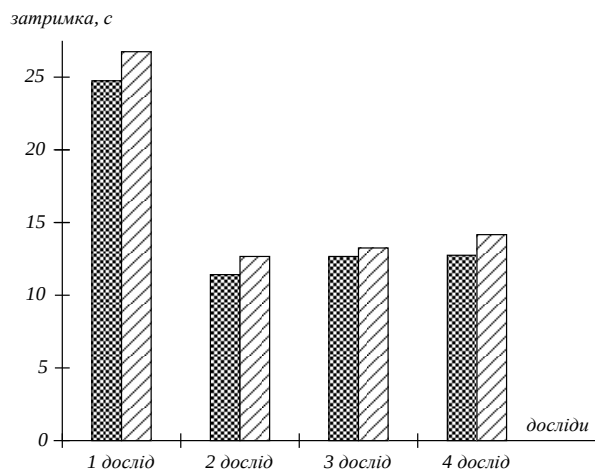
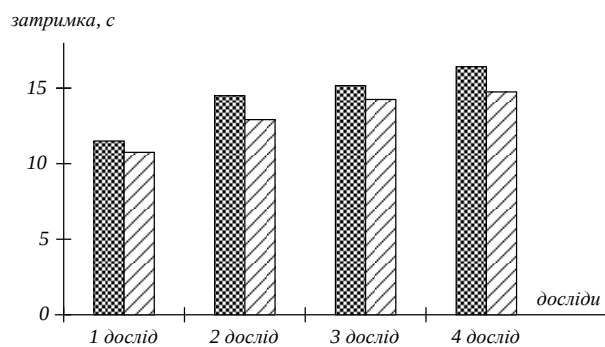
Рисунок Г.2 – Зміна тривалості середніх затримок ТЗ перед регульованим перехрестям (склад ТП: легкових ТЗ – 70%, автобусів (вантажних ТЗ) – 30%)

Головні напрямки $N_{\text{гол}}=500$ авт./годДругорядні напрямки $N_{\text{др}}=100$ авт./год $N_{\text{гол}}=500$ авт./год $N_{\text{др}}=200$ авт./год $N_{\text{гол}}=500$ авт./год $N_{\text{др}}=300$ авт./год

Продовження рисунка Г.2

Головні напрямки $N_{гол}=600$ авт./год $N_{гол}=600$ авт./годДругорядні напрямки $N_{ор}=100$ авт./год $N_{ор}=200$ авт./год $N_{гол}=600$ авт./год $N_{ор}=300$ авт./год

Продовження рисунка Г.2

Головні напрямки $N_{гол}=700$ авт./год $N_{гол}=700$ авт./годДругорядні напрямки $N_{др}=100$ авт./год $N_{др}=200$ авт./год $N_{гол}=700$ авт./год $N_{др}=300$ авт./год

Закінчення рисунка Г.2

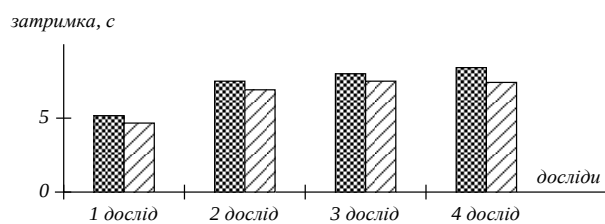
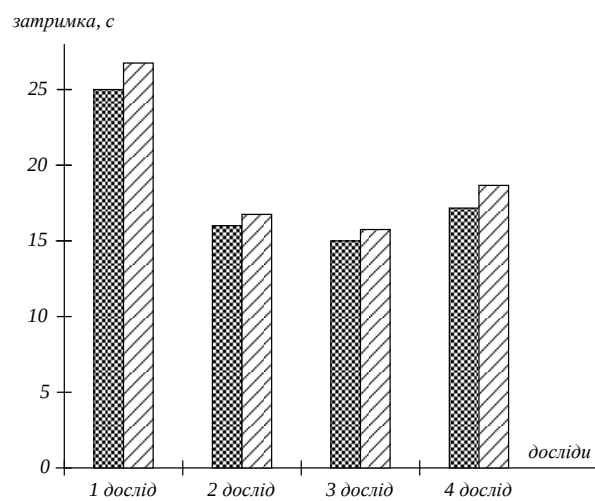
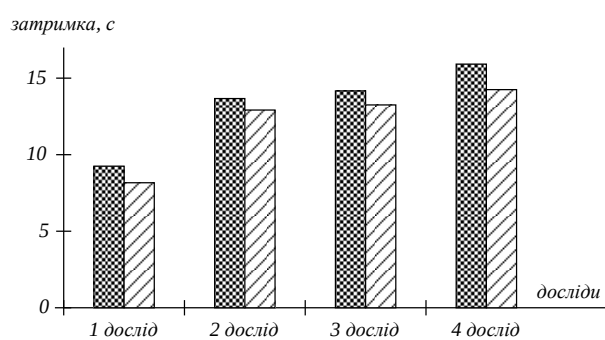
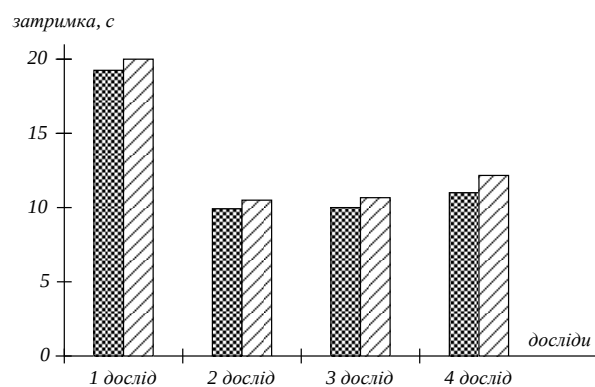
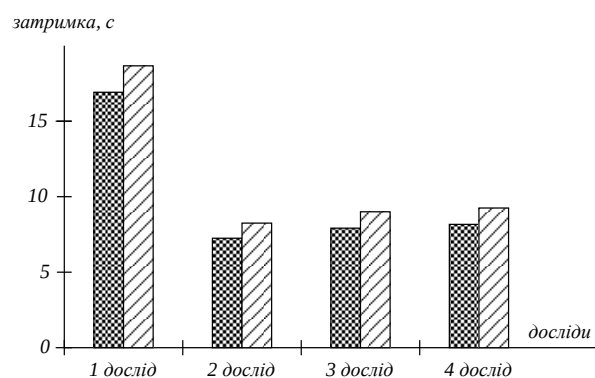
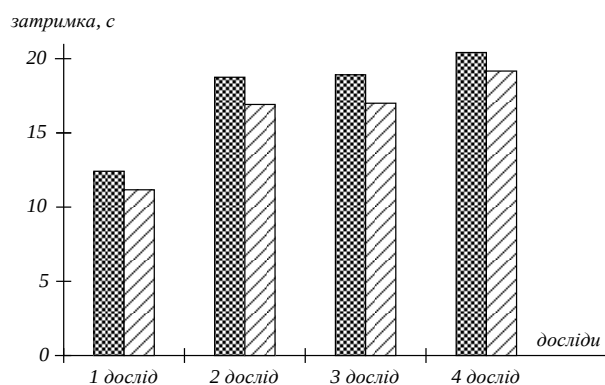
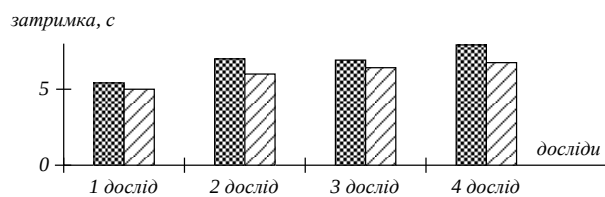
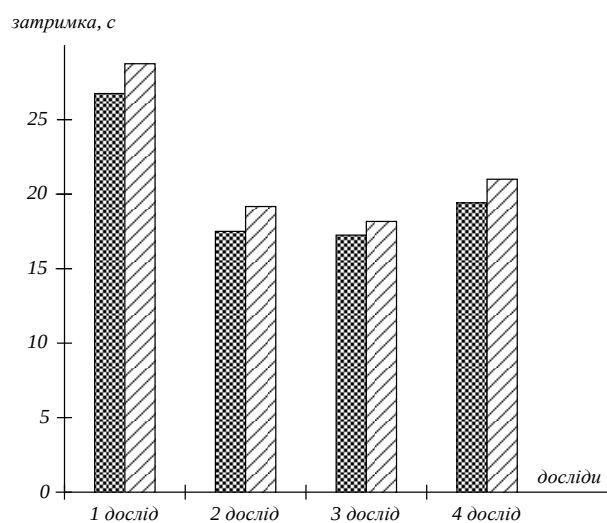
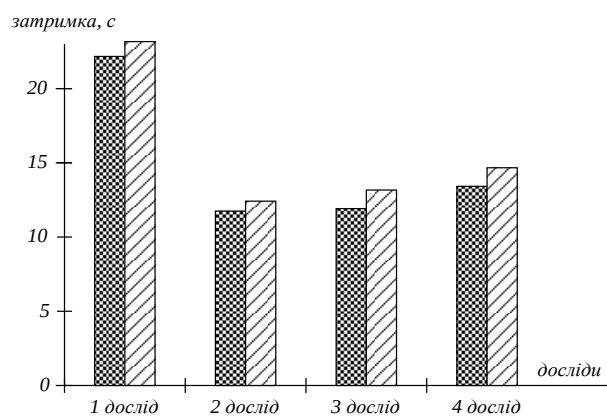
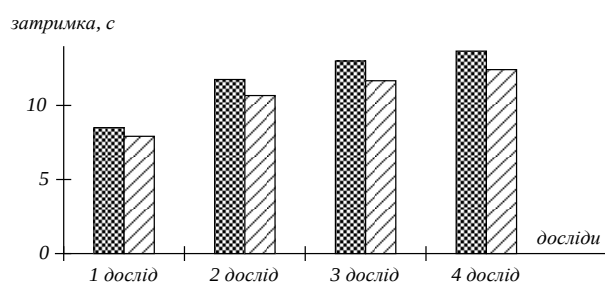
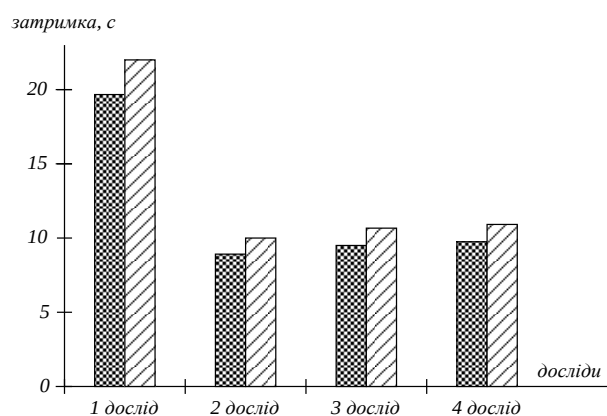
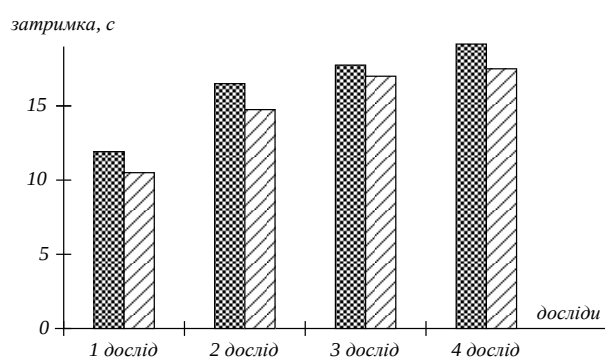
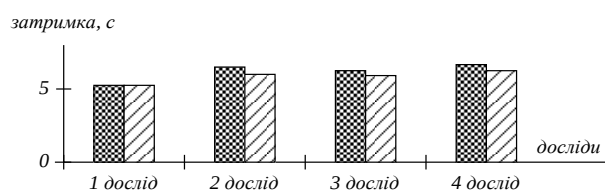
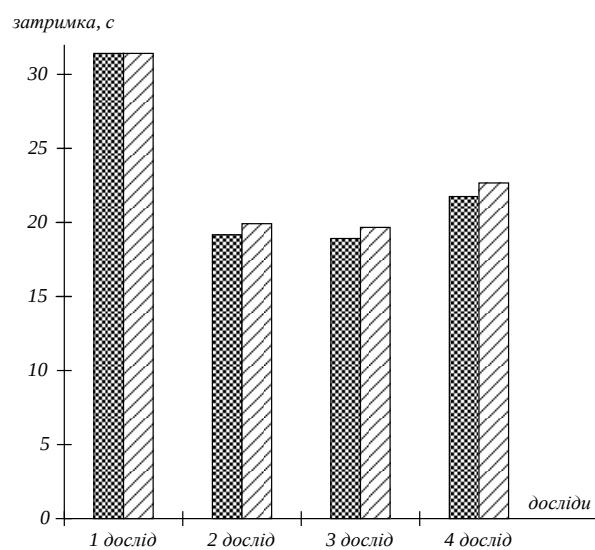
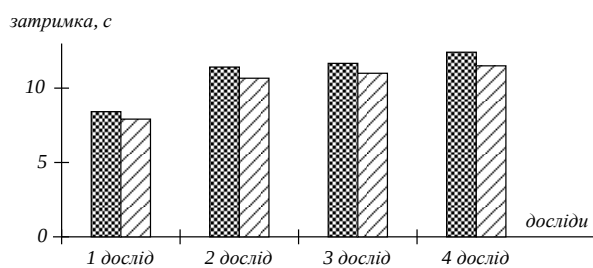
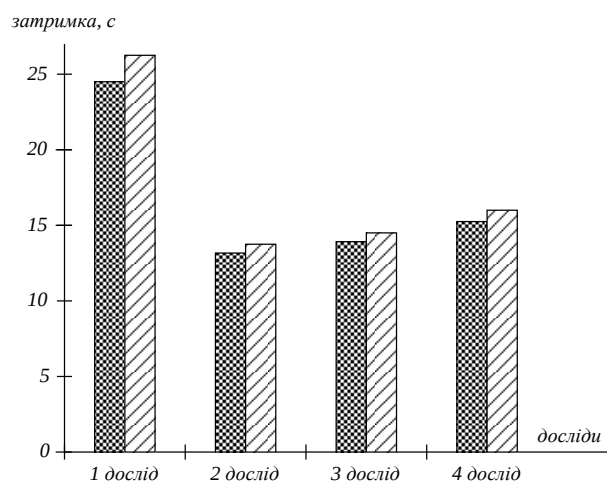
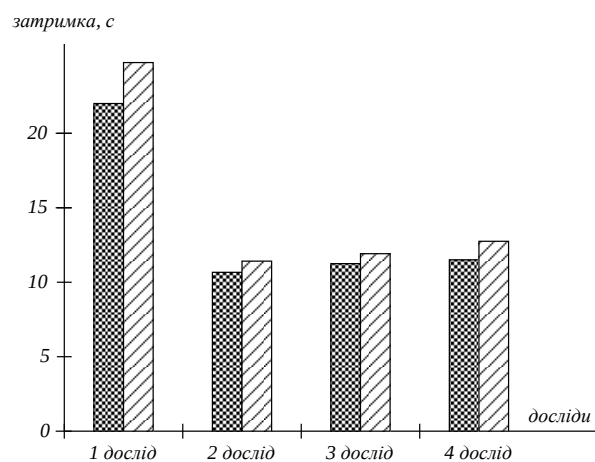
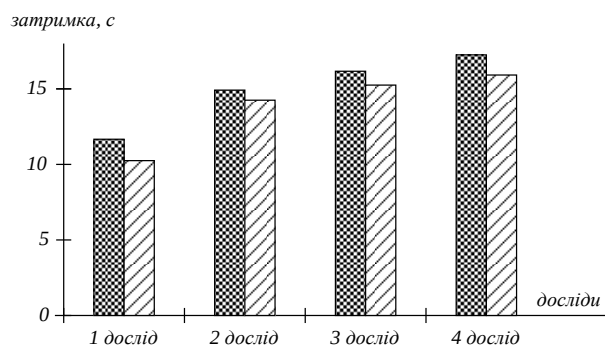
Головні напрямки $N_{гол}=400$ авт./год $N_{гол}=400$ авт./годДругорядні напрямки $N_{др}=100$ авт./год $N_{др}=200$ авт./год $N_{гол}=400$ авт./год $N_{др}=300$ авт./год

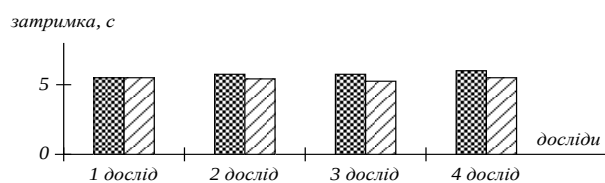
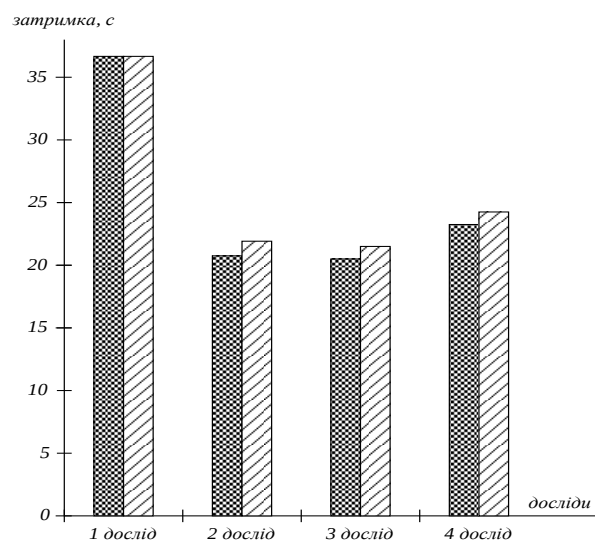
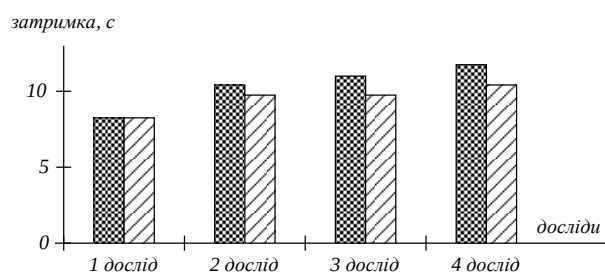
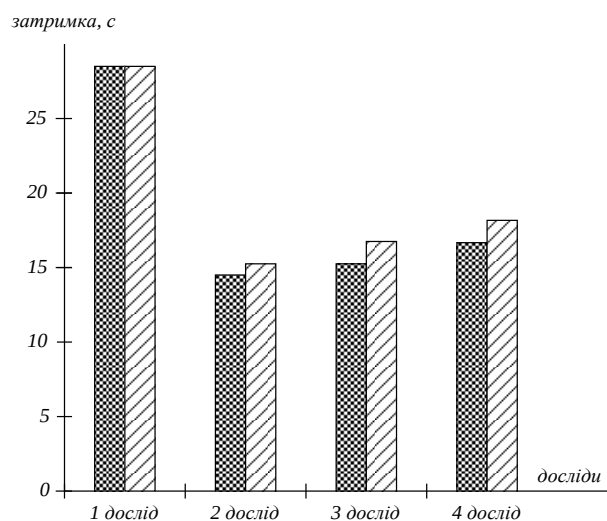
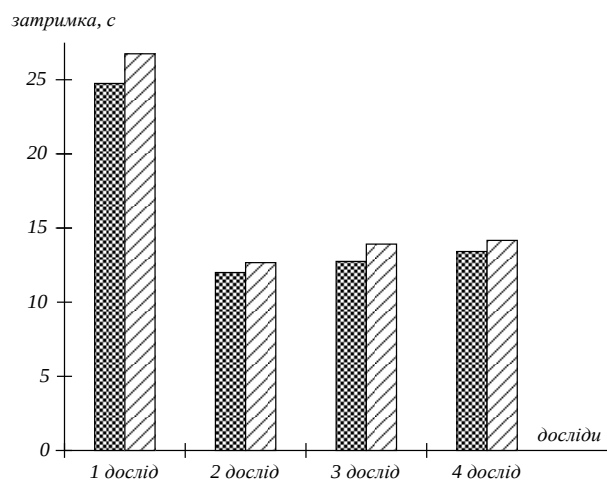
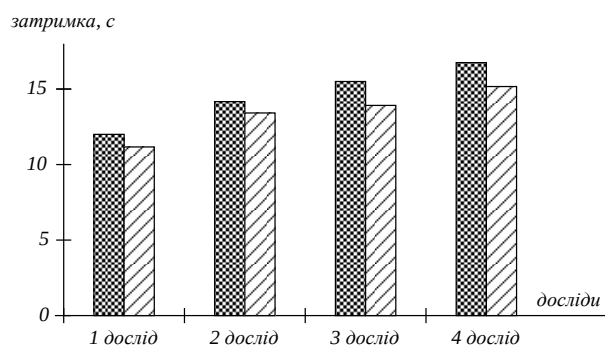
Рисунок Г.3 – Зміна тривалості середніх затримок ТЗ перед регульованим перехрестям (склад ТП: легкових ТЗ – 65%, автобусів (вантажних ТЗ) – 35%)

Головні напрямки $N_{гол}=500$ авт./годДругорядні напрямки $N_{др}=100$ авт./год $N_{гол}=500$ авт./год $N_{др}=200$ авт./год $N_{гол}=500$ авт./год $N_{др}=300$ авт./год

Продовження рисунка Г.3

Головні напрямки $N_{гол}=600$ авт./год $N_{гол}=600$ авт./годДругорядні напрямки $N_{др}=100$ авт./год $N_{др}=200$ авт./год $N_{гол}=600$ авт./год $N_{др}=300$ авт./год

Продовження рисунка Г.3

Головні напрямки $N_{гол}=700$ авт./год $N_{гол}=700$ авт./годДругорядні напрямки $N_{др}=100$ авт./год $N_{др}=200$ авт./год $N_{гол}=700$ авт./год $N_{др}=300$ авт./год

Закінчення рисунка Г.3

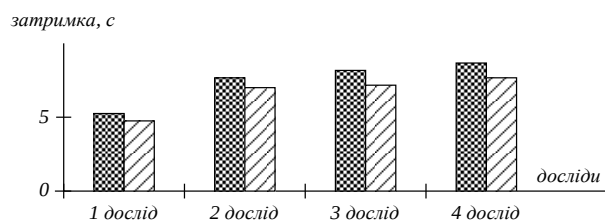
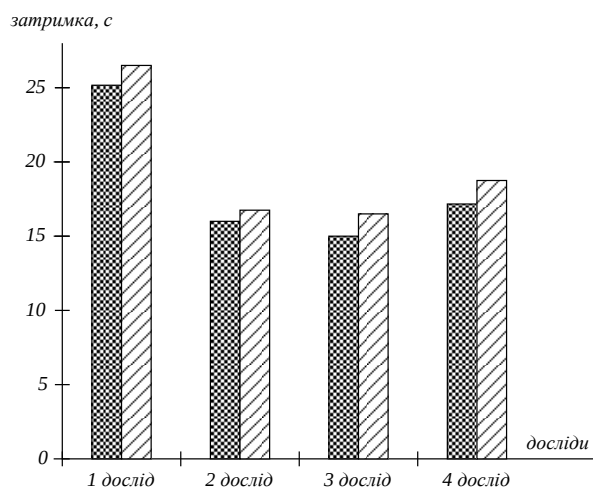
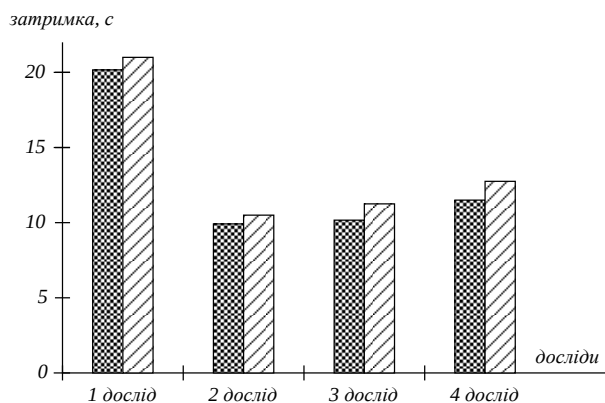
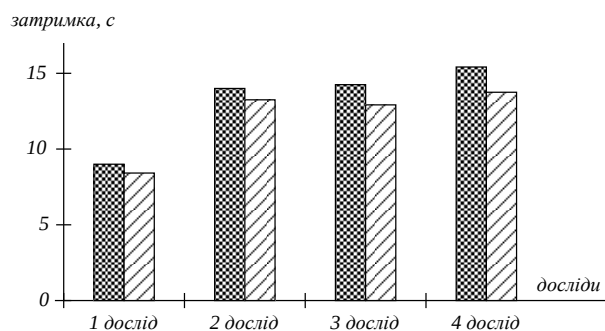
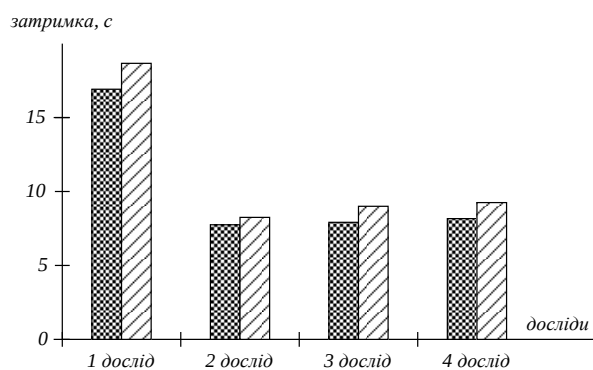
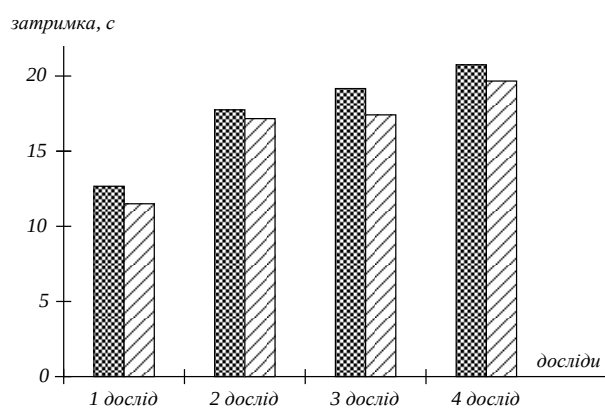
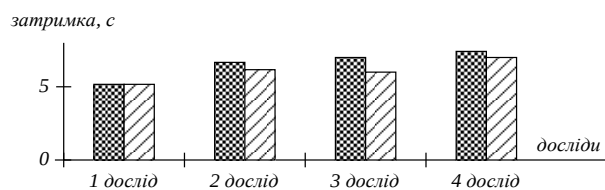
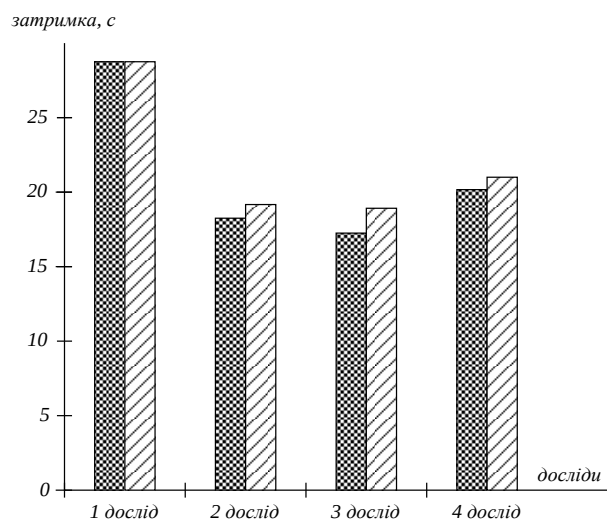
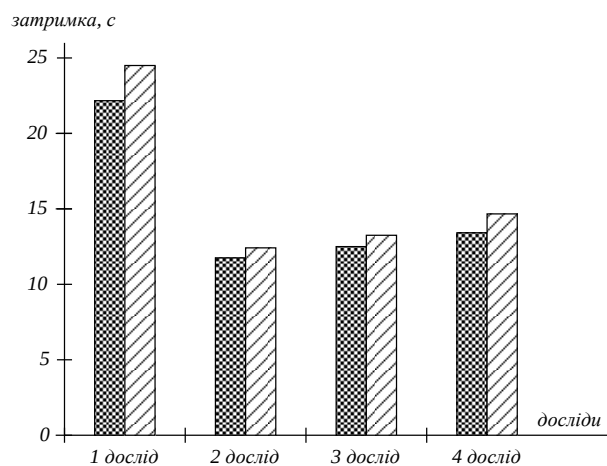
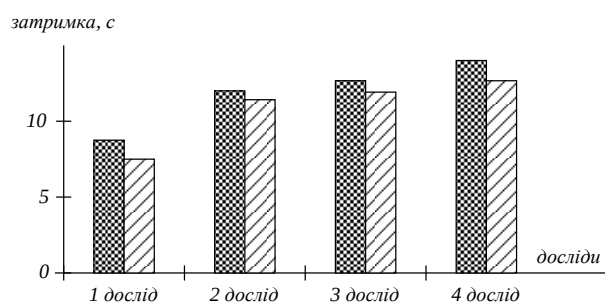
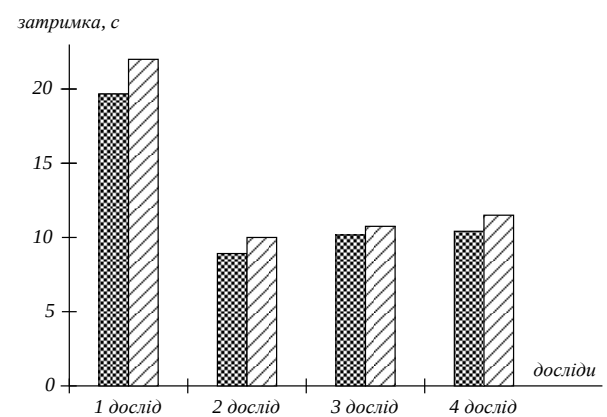
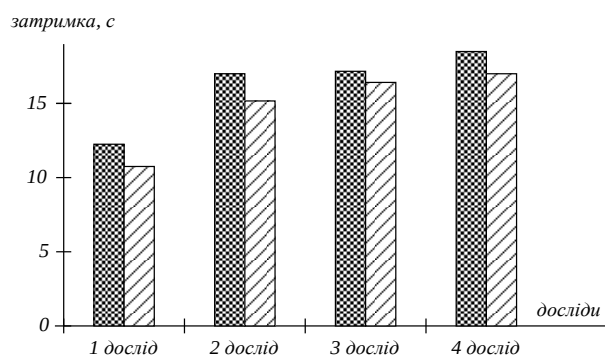
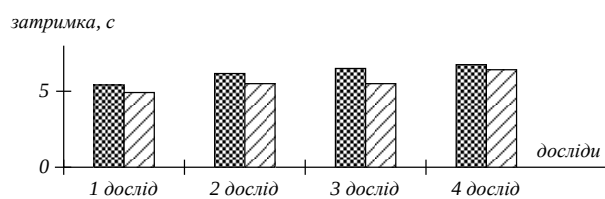
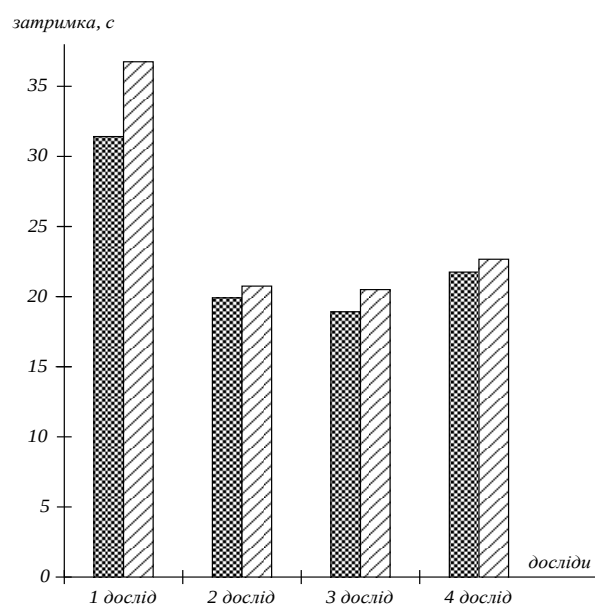
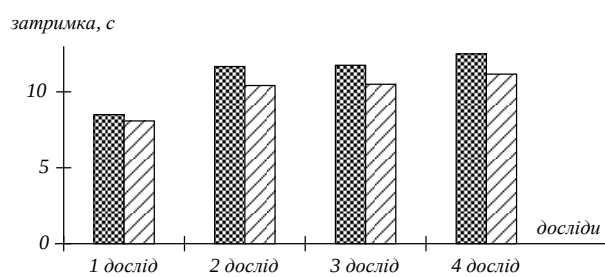
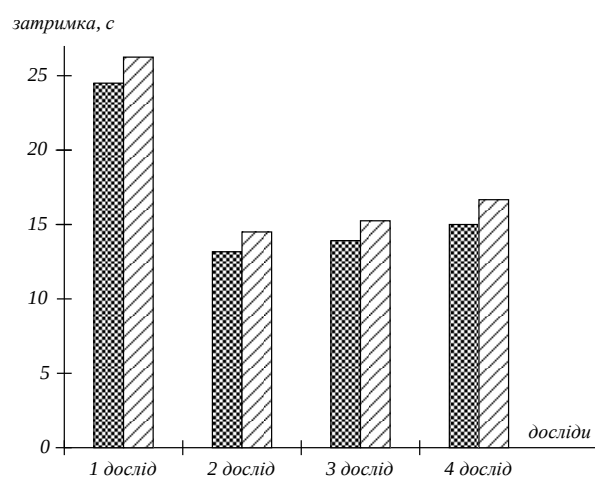
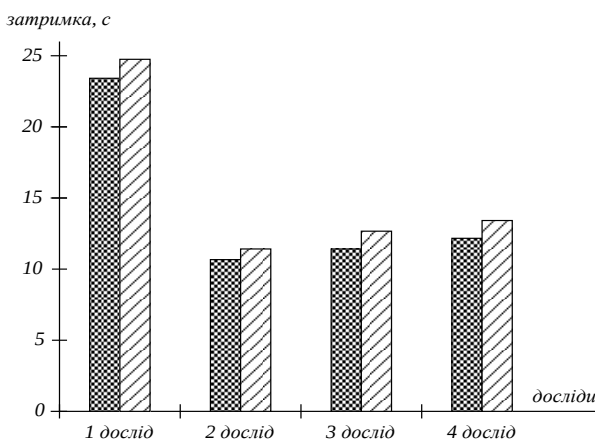
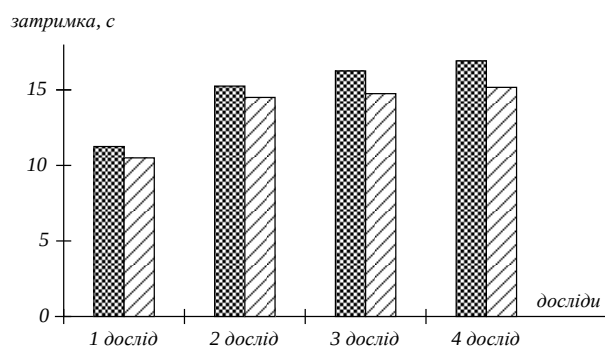
Головні напрямки $N_{гол}=400$ авт./годДругорядні напрямки $N_{др}=100$ авт./год $N_{гол}=400$ авт./год $N_{др}=200$ авт./год $N_{гол}=400$ авт./год $N_{др}=300$ авт./год

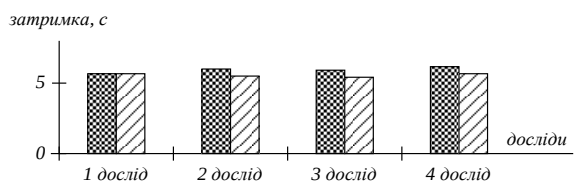
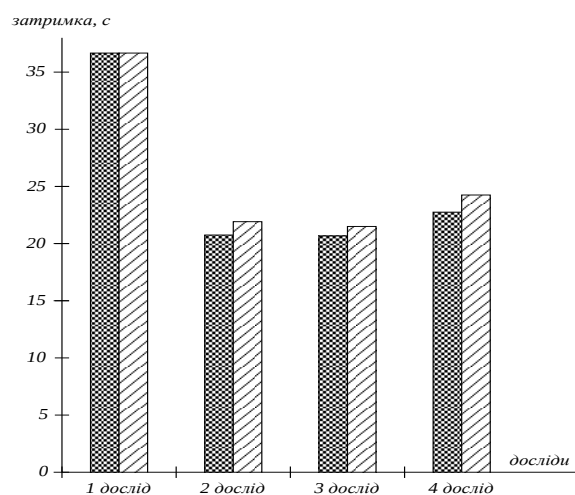
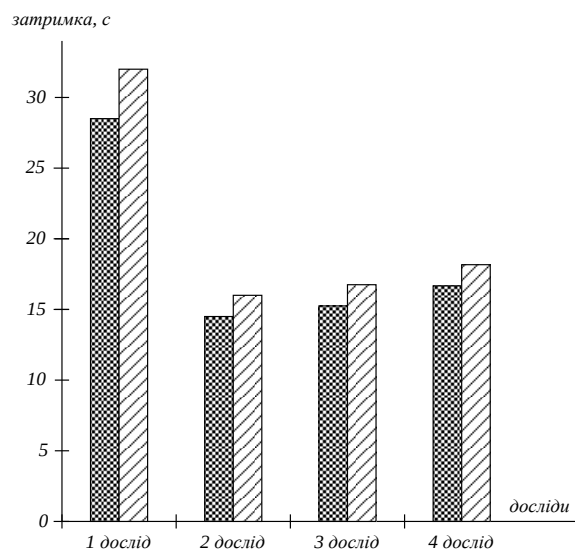
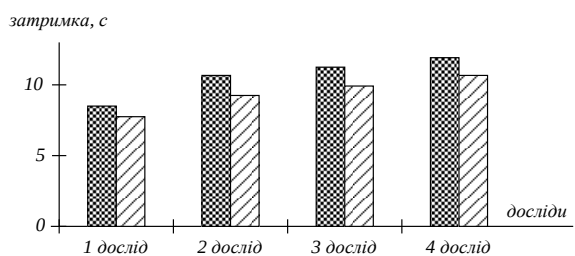
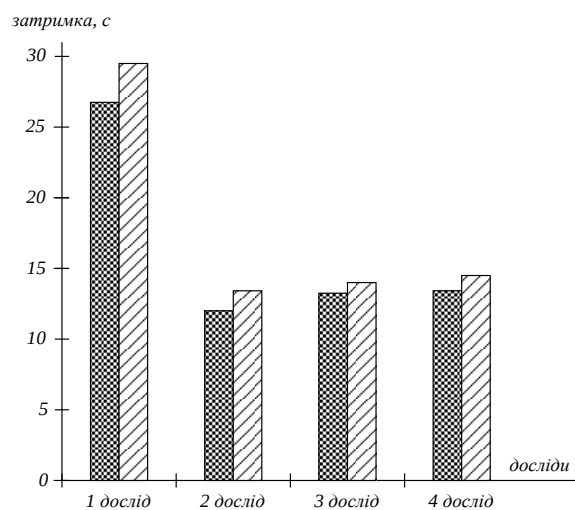
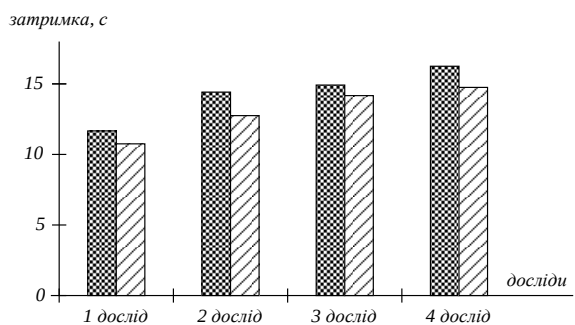
Рисунок Г.4 – Зміна тривалості середніх затримок ТЗ перед регульованим перехрестям (склад ТП: легкових ТЗ – 60%, автобусів (вантажних ТЗ) – 40%)

Головні напрямки $N_{гол}=500$ авт./годДругорядні напрямки $N_{др}=100$ авт./год $N_{гол}=500$ авт./год $N_{др}=200$ авт./год $N_{гол}=500$ авт./год $N_{др}=300$ авт./год

Продовження рисунка Г.4

Головні напрямки $N_{гол}=600$ авт./год $N_{гол}=600$ авт./годДругорядні напрямки $N_{ор}=100$ авт./год $N_{ор}=200$ авт./год $N_{гол}=600$ авт./год $N_{ор}=300$ авт./год

Продовження рисунка Г.4

Головні напрямки $N_{гол}=700$ авт./годДругорядні напрямки $N_{др}=100$ авт./год $N_{гол}=700$ авт./год $N_{др}=200$ авт./год $N_{гол}=700$ авт./год $N_{др}=300$ авт./год

Закінчення рисунка Г.4

ДОДАТОК Д

ЗАТРИМКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЇЗДУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ЧЕРЕЗ ІЗОЛЬОВАНІ РЕГУЛЬОВАНІ ПЕРЕХРЕСТЯ

Таблиця Д.1 – Оцінка затримок ТЗ на регульованому перехресті з 1х1 смуги руху

Номер ТП	Напрямок	Склад ТП на перехресті: 65% – легкові автомобілі, 35% – вантажні ТЗ (автобус)																							
		Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год																							
		500х100												500х200											
		Затримки ТЗ з урахуванням:																							
		коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ			коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ		
тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год		
1	голов-ний	48	6,55	11300,0	49	6,12	11094,0	51	5,37	11070,0	52	5,02	11210,0	41	10,68	18270,0	42	10,17	18038,0	45	8,22	17399,0	46	7,60	17356,0
2			6,55			6,05			5,27			4,85			10,42			9,77			8,03			7,48	
3	друго-рядний	11	24,47	11300,0	10	25,42	11094,0	8	29,25	11070,0	7	31,35	11210,0	18	19,15	18270,0	17	20,07	18038,0	14	23,12	17399,0	13	24,40	17356,0
4			23,03			24,67			28,25			31,40			19,45			20,27			23,25			24,68	
Номер ТП	Напрямок	Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год																							
		700х100												700х200											
		Затримки ТЗ з урахуванням:																							
		коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ			коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ		
		тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год
1	голов-ний	51	6,80	15249,0	52	6,32	15125,0	52	6,32	15125,0	52	6,32	15125,0	45	10,97	24371,0	46	10,23	23911,0	48	8,77	23489,0	49	7,98	23892,0
2			6,77			6,33			6,33			10,58			9,90			8,52			7,98				
3	друго-рядний	8	29,22	15249,0	7	31,37	15125,0	7	31,37	15125,0	7	31,37	15125,0	14	23,15	24371,0	13	24,42	23911,0	11	28,40	23489,0	10	31,70	23892,0
4			28,28			31,33			31,33			31,33			23,28			24,68			28,53			31,90	
Номер ТП	Напрямок	Склад ТП на перехресті: 70% – легкові автомобілі, 30% – вантажні ТЗ (автобус)																							
		Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год																							
		500х100												500х200											
		Затримки ТЗ з урахуванням:																							
		коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ			коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ		
тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год		
1	голов-ний	48	6,37	11169,0	49	5,97	10980,0	51	5,28	10973,0	51	5,28	10973,0	40	11,15	18341,0	42	9,92	17805,0	44	8,52	17339,0	45	8,00	17185,0
2			6,47			5,98			5,17			5,17			10,82			9,57			8,45			7,83	
3	друго-рядний	11	24,47	11169,0	10	25,38	10980,0	8	29,23	10973,0	8	29,23	10973,0	19	18,25	18341,0	17	20,05	17805,0	15	21,97	17339,0	14	23,12	17185,0
4			23,02			24,67			28,25			28,25			18,53			20,25			22,30			23,23	
Номер ТП	Напрямок	Склад ТП на перехресті: 70% – легкові автомобілі, 30% – вантажні ТЗ (автобус)																							
		Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год																							
		700х100												700х200											
		Затримки ТЗ з урахуванням:																							
		коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ			коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ		
тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с авт./год		
1	голов-ний	51	6,63	14955,0	51	6,63	14955,0	52	6,17	14869,0	52	6,17	14869,0	44	11,23	24449,0	45	10,58	23808,0	48	8,55	23130,0	49	7,80	23566,0
2			6,52			6,52			6,10			6,10			11,02			10,18			8,25			7,70	
3	друго-рядний	8	29,22	14955,0	8	29,22	14955,0	7	31,48	14869,0	7	31,48	14869,0	15	22,02	24449,0	14	23,15	23808,0	11	28,38	23130,0	10	31,70	23566,0
4			28,28			28,28			31,32			31,32			22,35			23,23			28,47			31,88	

Таблиця Д.2 – Оцінка затримок ТЗ на регульованому перехресті з 1х1 смуги руху

Номер ТП	Напрямок	Склад ТП на перехресті: 65% – легкові автомобілі, 35% – вантажні ТЗ (автобус)																																
		Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год																																
		500x100												500x200																				
		Затримки ТЗ з урахуванням:																																
		коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ			коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ											
тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год											
1	головний	41	6,97	10330,0	42	6,30	9823,0	45	5,12	9167,0	46	4,72	8950,0	31	12,78	17494,0	33	11,12	16274,0	36	9,98	15775,0	38	8,78	15346,0									
2			6,78			6,12			5,03			4,60			12,70			10,90			9,37			8,52										
3		18	17,97		17	18,78		14	21,17		13	22,23		28	11,77		26	13,00		23	15,08		21	16,55										
4	16,58		17,35			19,75			20,67			12,00			13,32			15,42			16,93													
Номер ТП	Напрямок	Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год																																
		700x100												700x200																				
		Затримки ТЗ з урахуванням:																																
		коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ			коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ											
		тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год									
1	головний	45	6,23	12492,0	46	5,68	11880,0	48	4,75	11214,0	49	4,32	10922,0	36	10,88	21397,0	38	9,63	20196,0	41	8,02	18840,0	42	7,60	18480,0									
2			5,77			5,17			4,47			4,10			10,97			9,67			7,88			7,32										
3		14	21,20		13	22,17		11	24,45		10	25,50		23	15,08		21	16,55		18	19,10		17	19,95										
4	19,72		20,68			23,15			24,78			15,43			16,88			19,45			20,23													
Номер ТП	Напрямок	Склад ТП на перехресті: 70% – легкові автомобілі, 30% – вантажні ТЗ (автобус)																																
		Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год																																
		500x100												500x200																				
		Затримки ТЗ з урахуванням:																																
		коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ			коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ											
тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год											
1	головний	40	7,38	10622,0	42	6,30	9823,0	44	5,35	9313,0	45	5,05	9073,0	31	12,72	17339,0	32	11,72	16747,0	36	9,57	15420,0	37	9,03	15201,0									
2			7,25			6,12			5,43			4,92			12,45			11,77			9,07			8,62										
3		19	17,25		17	18,78		15	20,35		14	21,20		28	11,75		27	12,38		23	15,10		22	15,78										
4	15,82		17,35			18,88			19,68			12,02			12,63			15,40			16,10													
Номер ТП	Напрямок	Склад ТП на перехресті: 70% – легкові автомобілі, 30% – вантажні ТЗ (автобус)																																
		Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год																																
		700x100												700x200																				
		Затримки ТЗ з урахуванням:																																
		коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ			коефіцієнтів зведення за Левашевим			технічного стану ТЗ			рівності ПЧ			технічного стану ТЗ і рівності ПЧ											
тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год	тривалість зеленого сигналу, с	середня затримка, с	сумарна затримка, с-авт./год											
1	головний	44	6,58	12818,0	45	6,18	12423,0	48	4,65	11075,0	49	4,30	10872,0	36	10,73	21087,0	37	10,08	20566,0	40	8,38	19069,0	41	7,90	18651,0									
2			6,12			5,72			4,40			4,05			10,68			10,18			8,37			7,75										
3		15	20,35		14	21,15		11	24,27		10	25,35		23	15,10		22	15,80		19	18,22		18	19,10										
4	18,93		19,78			23,13			24,92			15,40			16,12			18,50			19,38													

ДОДАТОК Е

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ ЗА ПОКАЗНИКОМ СКОРОЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СУМАРНОЇ ЗАТРИМКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Співвідношення інтенсивностей ТП на головному та другорядному напрямках, авт./год	Сумарні затримки ТЗ на перехресті/для різних тривалостей зеленого сигналу головного напрямку, з урахуванням, с·авт./год:				Скорочення/відсоток скорочення сумарних затримок ТЗ порівняно з базою, з урахуванням, с·авт./год:		
	коефіцієнтів зведення за Левашевим (база)	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)							
500x100	11300,0	11094,0	11070,0	11210,0	206,0	230,0	90,0
1x1	48	49	51	52	1,82	2,04	0,80
500x200	18270,0	18038,0	17399,0	17356,0	232,0	871,0	914,0
1x1	41	42	45	46	1,27	4,77	5,00
700x100	15249,0	15125,0	15125,0	15125,0	124,0	124,0	124,0
1x1	51	52	52	52	0,81	0,81	0,81
700x200	24371,0	23911,0	23489,0	23892,0	460,0	882,0	479,0
1x1	45	46	48	49	1,89	3,62	1,97
500x100	10330,0	9823,0	9167,0	8950,0	507,0	1163,0	1380,0
2x1	41	42	45	46	4,91	11,26	13,36
500x200	17494,0	16274,0	15775,0	15346,0	1220,0	1719,0	2148,0
2x1	31	33	36	38	6,97	9,83	12,28
700x100	12492,0	11880,0	11214,0	10922,0	612,0	1278,0	1570,0
2x1	45	46	48	49	4,90	10,23	12,57
700x200	21397,0	20196,0	18840,0	18480,0	1201,0	2557,0	2917,0
2x1	36	38	41	42	5,61	11,95	13,62
Склад ТП на перехресті: 70% – легкові автомобілі, 30% – вантажні ТЗ (автобуси)							
500x100	11169,0	10980,0	10973,0	10973,0	189,0	196,0	196,0
1x1	48	49	51	51	1,69	1,75	1,75
500x200	18341,0	17805,0	17339,0	17185,0	536,0	1002,0	1156,0
1x1	40	42	44	45	2,92	5,46	6,30
700x100	14955,0	14955,0	14869,0	14869,0	0,0	86,0	86,0
1x1	51	51	52	52	0,00	0,58	0,58
700x200	24449,0	23808,0	23130,0	23566,0	641,0	1319,0	883,0
1x1	44	45	48	49	2,62	5,39	3,61
500x100	10622,0	9823,0	9313,0	9073,0	799,0	1309,0	1549,0
2x1	40	42	44	45	7,52	12,32	14,58
500x200	17339,0	16747,0	15420,0	15201,0	592,0	1919,0	2138,0
2x1	31	32	36	37	3,41	11,07	12,33
700x100	12818,0	12423,0	11075,0	10872,0	395,0	1743,0	1946,0
2x1	44	45	48	49	3,08	13,60	15,18
700x200	21087,0	20566,0	19069,0	18651,0	521,0	2018,0	2436,0
2x1	36	37	40	41	2,47	9,57	11,55

ДОДАТОК Ж

ПЕРЕЛІК РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ МІСТА ЛЬВОВА, НА ЯКИХ
МОЖНА ОПТИМІЗУВАТИ ТРИВАЛІСТЬ СВІТЛОФОРНОГО ЦИКЛУ ІЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ РОЗРОБЛЕНОГО АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ

1. просп. Свободи – вул. Гнатюка;
2. просп. Свободи – вул. Коперника;
3. вул. Князя Романа – пл. Галицька;
4. вул. Франка – пл. Соборна;
5. вул. Князя Романа – вул. Шухевича;
6. вул. Франка – вул. Князя Романа – вул. Левицького;
7. вул. Франка – вул. Стрийська;
8. вул. Листопадового Чину – вул. Університетська;
9. вул. Бандери – вул. Федьковича;
10. вул. Бандери – вул. Героїв УПА;
11. вул. Бандери – вул. Антоновича;
12. вул. Бандери – вул. Політехнічна;
13. вул. Коновальця – вул. Київська;
14. вул. Героїв УПА – вул. Васильківського;
15. вул. Антоновича – вул. Мельника – вул. Васильківського;
16. вул. Героїв УПА – вул. Смаль-Стоцького;
17. вул. Антоновича – вул. Залізняка;
18. вул. Кульпарківська – вул. Героїв УПА – вул. Копистинського;
19. вул. Кульпарківська – вул. Окружна – вул. Антоновича;
20. вул. Личаківська – вул. Голинського;
21. вул. Пасічна – вул. Медової Печери;
22. вул. Пасічна – вул. Джорджа Вашингтона;
23. вул. Зелена – пл. Петрушевича;
24. вул. Зелена – вул. Дороша;
25. вул. Зелена – вул. Липова Алея;

26. вул. Зелена – вул. Дністерська;
27. вул. Зелена – вул. Бузкова;
28. вул. Зелена – вул. Навроцького;
29. вул. Зелена – вул. Вулецька;
30. вул. Сахарова – вул. Вітовського – вул. Коперника;
31. вул. Сахарова – вул. Горбачевського;
32. вул. Сахарова – вул. Княгині Ольги;
33. вул. Стрийська – вул. Сахарова;
34. вул. Стрийська – вул. Чмоли;
35. вул. Стрийська – вул. Володимира Великого;
36. вул. Стрийська – вул. Рубчака;
37. вул. Стрийська – вул. Наукова;
38. вул. Стрийська – вул. Скорини;
39. вул. Стрийська – вул. Вернадського;
40. вул. Стрийська – вул. Сокільницька;
41. вул. Стрийська (в'їзд до ТРЦ «King Kross Leopolis»);
42. вул. Кульпарківська – вул. Садова;
43. вул. Кульпарківська – вул. Перфецького;
44. вул. Любінська – вул. Окружна;
45. вул. Любінська – вул. Петлюри – вул. Яворницького;
46. вул. Виговського – вул. Кульчицької;
47. вул. Виговського – вул. Любінська;
48. вул. Виговського – вул. Патона;
49. вул. Виговського – вул. Головатого;
50. вул. Володимира Великого – вул. Тролейбусна;
51. вул. Володимира Великого – вул. Айвазовського;
52. вул. Володимира Великого – вул. Симоненка – вул. Боткіна;
53. вул. Кульпарківська – вул. Щирецька;
54. вул. Наукова – вул. Тролейбусна;
55. вул. Наукова – вул. Симоненка;

56. просп. Червоної Калини – вул. Навроцького – вул. Угорська;
57. просп. Червоної Калини – вул. Чукаріна;
58. просп. Червоної Калини – вул. Довженка;
59. вул. Сихівська – вул. Кавалерідзе;
60. просп. Червоної Калини – вул. Кос-Анатольського;
61. вул. Городоцька – вул. Кульпарківська;
62. вул. Городоцька – вул. Виговського;
63. вул. Городоцька – вул. Величка – вул. Самбірська;
64. вул. Городоцька – вул. Ряшівська;
65. вул. Городоцька – вул. Станційна;
66. вул. Городоцька – вул. Збиральна;
67. просп. Чорновола – вул. Зернова;
68. вул. Куліша – вул. Зернова;
69. просп. Чорновола – вул. Куліша;
70. просп. Чорновола – вул. Під Дубом;
71. просп. Чорновола – вул. Хімічна;
72. просп. Чорновола – вул. Панча – вул. Торф'яна;
73. вул. Варшавська – вул. Тунельна;
74. вул. Липинського – вул. Замарстинівська;
75. вул. Липинського – вул. Бетховена;
76. вул. Мазепи – вул. Інструментальна;
77. вул. Мазепи – вул. Тичини;
78. вул. Мазепи – вул. Миколайчука;
79. вул. Сяйво (шляхопровід);
80. вул. Сяйво – вул. Орельська;
81. вул. Сяйво – вул. Левандівська – вул. Широка;
82. вул. Шевченка – вул. Левандівська.

ДОДАТОК И
АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ У
ЛКП «ЛЬВІВАВТОДОР»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Львівського комунального
підприємства «Львівавтодор»

04 Береза
«24» _____ 2015 р.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Гілевича Володимира Васильовича

«Підвищення ефективності роботи регульованих перехресть
з жорсткими світлофорними циклами»

Комісія в складі начальника відділу організації та безпеки дорожнього руху Каміначного С.М. та провідних інженерів цього ж відділу Могили І.А. та Шварика І.Є. склала акт про те, що під час проектування та коригування режимів роботи світлофорних об'єктів на перехрестях в ЛКП «Львівавтодор» використовуються такі результати дисертаційної роботи Гілевича В.В.:

- 1) методика розрахунку інтенсивності потоків насичення залежно від швидкості проїзду перехрестя та його довжини;
- 2) значення коефіцієнтів зведення для різних типів транспортних засобів з різними кумулятивними пробігами (термінами служби) до легкового автомобіля;
- 3) методика визначення розгінних швидкостей транспортних засобів, які проїжджають регульоване перехрестя для оцінювання їх технічного стану.

Впровадження наведених результатів дало змогу зменшити черги та скоротити тривалості середніх затримок транспортних засобів перед ізольованими регульованими перехрестями у Львові на 5-30%, а сумарних затримок на 5-15%.

Голова комісії:

Каміначний С.М.

Члени комісії:

Могила І.А.

Шварик І.Є.

ДОДАТОК К

АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ У
ДП ДІПМ «МІСТОПРОЕКТ»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Державного інституту
проектів міст «Містопроект»

I.M. Квик

2015 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
ГІЛЕВИЧА Володимира Васильовича

на тему «Підвищення ефективності роботи регульованих перехресть з
жорсткими світлофорними циклами», поданої на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – «Транспортні системи»

Отримані результати роботи Гілевичем В.В. у дисертації на тему
«Підвищення ефективності роботи регульованих перехресть з жорсткими
світлофорними циклами» по визначенню потоків насичення з урахуванням
рівності дорожнього покриття використовують в інституті під час розрахунків
світлофорних циклів для ізольованих регульованих перехресть.

Запропонований у роботі метод моделювання роботи перехрестя дає змогу
суттєво скоротити час, необхідний для збору інформації про проїзд
транспортними потоками різної структури з різними термінами служби
автомобілів і рівності дорожнього покриття необхідної для розрахунків
світлофорних циклів. А це у свою чергу підвищує ефективність
функціонування транспортної системи міста та основні напрямки її розвитку,
при розробленні розділу «Транспорт» Генерального плану міста Львова до
2025 року.

Керівник групи транспорту,
Головний інженер проекту
ДП ДІПМ «Містопроект»

С.Я. Фіалковський




ДОДАТОК Л

АКТ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ У НАВЧАЛЬНИЙ
ПРОЦЕС НУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Проректор з науково-педагогічної роботи
НУ «Львівська політехніка»

О.Р. Давидчак
« 10 » серпня 2015 р.

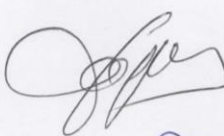

АКТ
про впровадження результатів дисертаційної роботи
ГІЛЕВИЧА Володимира Васильовича «Підвищення ефективності роботи
регульованих перехресть з жорсткими світлофорними циклами»,
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

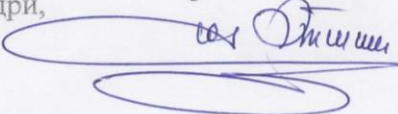
Комісією в складі завідувача кафедри «Транспортні технології»,
докт. техн. наук, проф. Форнальчика Є.Ю., заступника завідувача кафедри
«Транспортні технології» канд. техн. наук, доц. Ройка Ю.Я. та доцента кафедри
«Транспортних технологій», канд. техн. наук Жука М.М. складено акт про те,
що у навчальний процес кафедри «Транспортні технології» для студентів, які
навчаються за спеціальністю «Організація і регулювання дорожнього руху»,
впроваджено результати кандидатської дисертації Гілевича Володимира
Васильовича у таких дисциплінах:

- «Технічні засоби організації дорожнього руху» – залежності
інтенсивності потоку насичення від типів обмеження швидкості під час
виконання лабораторної роботи №9 «Визначення потоків насичення за
різних умов»);
- «Моделювання транспортних потоків» – імітаційна модель роботи
регульованого перехрестя (лекція №3 «Основні поняття та означення з
методології моделювання систем») та під час виконання лабораторної
роботи №1 «Визначення коефіцієнтів зведення для транспортного
потoku» та лабораторної роботи №2 «Дослідження впливу складу та
інтенсивності транспортного потоку на середню швидкість його руху».

Матеріали дисертаційної роботи Гілевича В.В. використовуються під час
виконання бакалаврських та магістерських кваліфікаційних робіт.

Результати дисертаційної роботи Гілевича В.В. дають змогу підвищити
науковий та методичний рівень названих дисциплін і це сприяє вдосконаленню
навчального процесу на кафедрі «Транспортні технології».

Завідувач кафедри,
докт. техн. наук, професор  Є.Ю. Форнальчик

Заступник завідувача кафедри,
канд. техн. наук, доцент  Ю.Я. Ройко

Голова методичної комісії
напряму підготовки
6.070101 «Транспортні технології»,
канд. техн. наук, доцент  М.М. Жук