

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

ГРИЦУНЬ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 656.051

**ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ХАРАКТЕРИСТИК
ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ І ПОВЕДІНКИ ПІШОХОДІВ**

Спеціальність 05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Ройко Юрій Ярославович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
доцент кафедри транспортних технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лобашов Олексій Олегович,
Харківський національний університет
міського господарства ім. О.М.Бекетова,
завідувач кафедри транспортних систем і логістики

кандидат технічних наук, доцент
Криstopчук Михайло Євгенович,
Національний університет водного
господарства та природокористування,
завідувач кафедри транспортних технологій і
технічного сервісу

Захист дисертації відбудеться «___» березня 2019 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.20 у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1, корп. XIV., ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 79013, Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «___» лютого 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Ковалишин В. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із шляхів розв'язання проблеми перевантаження вулично-дорожньої мережі міста в умовах зростання автомобільного парку та обсягів перевезень є підвищення ефективності її використання за рахунок впровадження сучасних технологій, засобів і систем управління дорожнім рухом, зокрема, удосконалення технології управління світлофорною сигналізацією на перехрестях. Таке управління має відповідати вимогам учасників дорожнього руху, виходячи з двох основних цільових функцій руху – швидкості та безпеки їх переміщень.

Існуючі системи світлофорного регулювання на перехрестях, які працюють як у жорсткому, так і адаптивному (гнучкому) режимах, мають задані нормативами часові параметри, що враховують, в основному, потреби транспортних потоків, забезпечуючи при цьому мінімальну тривалість для обслуговування пішохідних потоків. Такий підхід до проектування світлофорних циклів не завжди співпадає з особливостями пересування пішоходів, які намагаються пройти переходами у будь-який зручний для них момент, навіть в умовах ризику. Наведене зменшує безпеку дорожнього руху на наземних пішохідних переходах, в тому числі в умовах світлофорного регулювання.

Отже, актуальним є обґрунтування раціональних режимів регулювання за різних геометричних параметрів проїзної частини та характеристик транспортних потоків з урахуванням поведінки пішоходів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка». Дисертація виконана в межах науково-дослідної роботи «Оптимізація параметрів вулично-дорожньої мережі і пішохідно-транспортних потоків та організації автомобільних перевезень» (номер державної реєстрації 0113U001348), відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2020 року (схваленої розпорядженням Кабінету міністрів України від 20.10.2010 № 2174-р), Концепції державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року (схваленої Постановою Кабінету міністрів України від 25.03.2013 № 294) та «Оптимізація автомобільних транспортних систем та підвищення безпеки дорожнього руху» (номер державної реєстрації 0118U000348), відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2022 року (схваленої розпорядженням Кабінету міністрів України від 30.05.2018 № 430-р).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є визначення характеристик транспортних потоків і поведінки пішоходів для обґрунтування раціональних режимів світлофорного регулювання.

Для досягнення мети сформульовано та розв'язано такі завдання:

– проаналізувати закономірності та основні методи дослідження показників учасників дорожнього руху, які закладені в режими і параметри систем світлофорного регулювання;

- провести натурні дослідження показників учасників дорожнього руху та особливості поведінки пішоходів на різних типах регульованих перехресть;
- обґрунтувати раціональні режими регулювання з урахуванням характеристик транспортних потоків та поведінки пішоходів;
- розробити рекомендації щодо вибору раціональних режимів світлофорного регулювання для різних типів регульованих перехресть.

Об'єкт дослідження – регульовані перехрестя та пішохідні переходи.

Предмет дослідження – закономірності змін затримок руху транспортних засобів та пішоходів на регульованих перехрестях та переходах.

Методи досліджень. У проведених дослідженнях використовувались методи системного аналізу, натурних досліджень на регульованих перехрестях та пішохідних переходах, експериментальних досліджень з визначення транспортних затримок, імітаційного моделювання із використанням програмного продукту PTV VISSIM та MATLAB для визначення максимальної довжини черги транспортних засобів, теорії ймовірностей та математичної статистики під час визначення змін максимальної довжини черги залежно від рівня завантаження та частки заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше розроблено модель поведінки пішоходів на регульованих перехрестях, яка враховує їх типи за особливостями руху залежно від рівня завантаження проїзної частини;
- набули подальшого розвитку методологічні підходи до визначення довжини черги транспортних засобів через урахування рівня завантаження проїзної частини та частки заборонного сигналу у циклі регулювання;
- обґрунтовано раціональні режими світлофорного регулювання залежно від затримки транспорту та поведінки пішоходів.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження та отримані закономірності зміни максимальної довжини черги залежно від рівня завантаження та частки заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання можуть бути використані для обґрунтування режимів регулювання, виходячи із відстані між суміжними перехрестями з урахуванням їх типу, який ґрунтується на особливостях руху.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на регульованих перехрестях та пішохідних переходах із жорсткими програмами керування в ЛКП «Львівавтодор» та у ДП ДППМ «Містопроєкт» у проектах, які ґрунтуються на виборі раціональних режимів світлофорного регулювання з урахуванням характеристик транспортних потоків і поведінки пішоходів.

Окремі результати дослідження і розробки, впроваджені з використанням програмного продукту VISSIM, використовуються у навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» під час підготовки фахівців за спеціальністю 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» (освітня програма «Організація і регулювання дорожнього руху»).

Особистий внесок здобувача. Автору належать усі наукові результати, що виносяться на захист. У працях, опублікованих у співавторстві, особистий

внесок автора полягає у такому: визначено чинники, які впливають на поведінку пішоходів в умовах ризику під час світлофорного регулювання [5], проаналізовано чинники, які впливають на транспортну затримку на підходах до регульованих пішохідних переходів [6], запропоновано методику до визначення максимальної довжини черги транспортних засобів перед стоп-лінією та визначено оптимальний режим регулювання, за якого спостерігається мінімальна транспортна затримка [8].

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень доповідалися на: VI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, ВНТУ, 2013 р.); XXI Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства» (м. Кременчук, КрНУ, 2014 р.); 72-ій студентська науково-технічна конференція «Збірник тез доповідей» (м. Львів, НУ «ЛП», 2014 р.); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (м. Кременчук, СНУ ім. В. Даля, 2015 р.); Міжнародній практичній конференції «Міські і регіональні транспортні проблеми» (м. Харків, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015 р.); LXXI науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету «Тези доповідей» (м. Київ, НТУ, 2015 р.); Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрямми їх розв'язання» (м. Львів, НУ «ЛП», 2015 р.); Дванадцятому міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові «Тези доповідей» (м. Львів, КІНПАТРИ ЛТД, 2015 р.); Науково-Практичній конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» (м. Сєверодонецьк, СНУ ім. В. Даля, 2016 р.); VI Міжнародному молодіжному науковому форумі «Litteris et Artibus» (м. Львів, НУ «ЛП», 2016 р.); I Всеукраїнській науково-практичній онлайн-конференції «Модернізація та сучасні технології транспортного будівництва» (м. Львів, ЛАДК НУ «ЛП», 2016 р.); VII-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспорту і логістики» (м. Одеса, СНУ ім. В. Даля, 2017 р.); XIV Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства» (м. Кременчук, КрНУ, 2017 р.); II Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрямми їх розв'язання» (м. Львів, НУ «ЛП», 2017 р.); VII Міжнародному молодіжному науковому форумі «Litteris et Artibus» (м. Львів, НУ «ЛП», 2017 р.); V-Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми організації авіаційних перевезень і застосування авіації в галузях економіки» (м. Київ, НАУ, 2017 р.); Третій всеукраїнській науково-практичній конференції «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні» (м. Львів, НУ «ЛП», 2018 р.); I Міжнародній науково-практичній конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» (м. Київ, НУБіП, 2018 р.); Регіональній науково-практичній конференції серед студентів, викладачів,

науковців, молодих учених, аспірантів і учнів «Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку» (м. Запоріжжя, ЗНТУ, 2018 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць, з яких одна у вітчизняному журналі, що входить у наукометричну базу даних Index Scopus та 7 у наукових фахових виданнях України, а також 3 статті в інших виданнях, 18 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 98 найменувань і 5 додатків. Основна частина роботи викладена на 132 сторінках. Є 29 рисунків та 17 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 168 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі досліджень, окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведено оцінку існуючих критеріїв введення світлофорного регулювання (СФР), проаналізовано вплив планувальних особливостей вулично-дорожньої мережі (ВДМ) на можливості застосування СФР, а також наведено математичні моделі та графічні залежності, які описують поведінку пішоходів на підходах до регульованих перехресть.

Проблему ефективності організації транспортних та пішохідних потоків на регульованих перехрестях досліджували низка вітчизняних та закордонних вчених, зокрема з містобудівних питань – Лобанов Е. М., Фішельсон М. С., Безлюбченко О. С., Черепанов В. А., Шештокас В. В.; з питань організації дорожнього руху – Лобашов О. О., Бабков В. Ф., Буга П. Г., Врубель Ю. А., Живоглядюв В. Г., Іносе Х., Клеббельсберг Д., Клінковштейн Г. И., Кременец Ю. А., Поліщук В. П.; з питань моделювання транспортних та пішохідних потоків – Левашов А. Г., Капітанова В. Т., Печерській М. П., Кісляков В. М., Андронов Р. В., Гаваєв А. С. Велике значення у цих дослідженнях мають роботи закордонних дослідників – Вебстера Ф., Іносе Х., Дрю Д., Бренстона Д., Брауна Р., Петрі Р., Віклера М., Теплі С. та інші.

У другому розділі розглянуто процес накопичення черг транспортних засобів (ТЗ) перед стоп-лініями на регульованих перехрестях та пішохідних переходах, з детальним описом чинників, які зумовлюють їх утворення (склад потоку, пропускна здатність ВДМ, режим регулювання, ухили на підходах тощо). Наведено відомі математичні та графічні залежності накопичення транспорту та пішоходів на регульованих перехрестях.

Проаналізовано перехрестя з жорстким світлофорним циклом, які умовно поділено на три типи з позиції місця розташування на території міста: I тип – поблизу транспортних вузлів; II тип – центральна зона; III тип – житлова зона (табл. 1). Досліджено поведінку пішоходів, які проходять проїзну частину (ПЧ) на заборонний сигнал світлофора у зоні кожного типу перехрестя.

Типи регульованих перехресть та пішохідних потоків з позицій місць розташування у місті

Тип перехрестя	Місце розміщення на території міста	Особливості руху пішохідних потоків	Особливості руху транспортних потоків	Наявність центру генерації потоків
I	Поблизу транспортних вузлів	Постійний інтенсивний у піковий період; цілеспрямований у напрямку до та від центрів генерації	Велика неоднорідність транспортного потоку (до 70% легкових автомобілів); значна частка вантажного руху та міського громадського транспорту, маневреність на стоянках автомобілів	Торгівельні заклади, автовокзали, автостанції та залізничні вокзали
II	Центральна зона	Постійний інтенсивний протягом всього дня	Значна однорідність транспортного потоку (до 95% легкових автомобілів)	Чіткий центр відсутній, розподіл пішохідних потоків територією рівномірний
III	Житлова зона	Змінний, рівнонаправлений у всій зоні	Частка легкових автомобілів 80 – 85%, міського громадського транспорту – до 10%, вантажний рух практично відсутній	Зупинкові пункти міського громадського транспорту

Такий вибір місць дослідження зумовлений перевіркою кількох робочих гіпотез:

1) для різних типів перехресть та умов пішохідного руху необхідне застосування різних за тривалістю СФР, виходячи з поведінки пішоходів з метою підвищення рівня безпеки руху;

2) зі зменшенням інтенсивності ТП та довжини переходу, пішохід частіше здійснює перехід на заборонний сигнал під час руху регульованим пішохідним переходом;

3) мета переміщення пішоходів впливає на їх поведінку;

4) зі зміною погодних умов змінюється тривалість терпеливого очікування пішоходів для досягнення мети переміщення.

В основному, вдалось наблизитись до підтвердження робочої гіпотези 2: у житлових районах (тип III) частка осіб, які порушують правила дорожнього руху (ПДР) через регульовані пішохідні переходи, становить 7 – 13 %, у той час в районі центральної зони (тип II) частка таких осіб досягає 10 – 14 %, а на переходах поблизу транспортних вузлів (тип I) становить 17 – 20 %. Це можна пояснити тим, що особи, які рідко користуються засобами СФР, частіше порушують режим регулювання, оскільки переважно компактно проживають на територіях, де його не передбачено в проектних рішеннях схем організації руху. Вони у меншій мірі вважають сигнали світлофора значущими з погляду безпеки руху і власної безпеки під час прийняття рішення в умовах ризику.

Вдалось також підтвердити, що у дощову погоду пішоходи обережніше поведуться на ПЧ і у більшості випадків частка порушень (переходу на заборонний сигнал світлофора) є практично відсутньою, за винятком тих же регульованих переходів (тип I), що не підтверджує гіпотезу 4.

У третьому розділі викладено методику експериментального дослідження закономірностей зміни тривалості терпеливого очікування пішохода за різних режимів регулювання та геометричних параметрів ПЧ, затримок у ТП залежно від параметрів регулювання, а також методику теоретичних досліджень з використанням моделювання у спеціалізованому програмному продукті PTV VISSIM.

З метою дослідження поведінки пішоходів за різних режимів регулювання проаналізовано роботу регульованих перехресть (пішохідних переходів) на предмет визначення тривалості терпеливого очікування пішоходів для різних їх типів. Реєструвалася кількість пішоходів, які накопичувалися під час заборонного сигналу світлофора, а також ті, які здійснювали перехід під час дозвільного сигналу та в умовах ризику. До уваги бралися перехрестя та пішохідні переходи із жорстким СФР, оскільки тут є сталі параметри регулювання для транспортного і пішохідного потоків, незважаючи на зміну їх інтенсивності.

Також розроблено метод дослідження затримок у транспортному потоці (ТП) залежно від параметрів СФР. Затримка ТП тісно пов'язана з такими показниками, як: довжина черги, інтенсивність руху, пропускна здатність ВДМ, часові параметри режиму регулювання.

Метод, який ґрунтується на безпосередньому визначенні кількості ТЗ у черзі перед перехрестям придатний для всіх регульованих перехресть, у тому числі з пішохідними переходами, інтенсивність руху на яких не перевищує їх пропускну здатність (прийнято вважати не більше 20 – 25 автомобілів на смугу руху за цикл). Для перехресть, на яких рівень завантаження наближається до 1,0 цей метод важко використовувати, оскільки вимагає більшої кількості дослідників. У такому разі необхідно використовувати інші методи досліджень.

Спочатку визначалися показники (режим СФР, геометричні параметри перехрестя), які впливають на величину транспортної затримки (на прикладі перехресть I, II та III типу).

За результатами цих досліджень можемо стверджувати, що найбільша транспортна затримка спостерігається за умови, коли зростає інтенсивність ТП. У результаті цього спостерігаються перенасичені фази регулювання, при цьому для різних типів перехресть її (затримки) максимальна величина є різною. Так, якщо порівнювати регульовані перехрестя за однакової інтенсивності руху ТП (900 – 1100 зв.од./год.), які розміщені у приміській зоні міста (тип I), а інші – у житловій зоні (тип III), то транспортна затримка збільшується приблизно на 20%. Необхідно зазначити, що більш завантаженні перехрестя, які розташовані у центральній зоні (тип II) мають менші значення транспортної затримки (1,4 – 1,75 с/авт.) порівняно із перехрестями, які розташовані у приміській зоні міста (тип I) (1,76 – 2,35 с/авт.).

Для порівняння показників, отриманих на різних типах перехресть, використано моделювання у програмному середовищі PTV VISSIM початкові дані для якого отримано за допомогою натурних досліджень. У результаті визначено довжину черги ТЗ з метою оцінки оптимальних відстаней між перехрестями і з урахуванням поведінки пішоходів та обґрунтуванням раціонального режиму регулювання.

Метою моделювання стало, крім цього, удосконалення в проектування режимів роботи СФР у міських районах зі щільною забудовою і, відповідно, невеликою протяжністю ділянок вулиць між регульованими перехрестями. Це дає можливість враховувати інтенсивність пішохідних потоків (ПП) та ТП, а також особливості їх поведінки, мінімізувати затримки на переміщення людей територією міста.

У четвертому розділі наведено розроблення теоретичної моделі для дослідження затримок за різних режимів регулювання, модель поведінки пішоходів залежно від інтенсивності їх руху та довжини переходу, визначено раціональні параметри регулювання, а також обґрунтовано вибір раціональних режимів СФР з урахуванням поведінки пішоходів.

Для визначення довжини черги ТЗ проведено моделювання роботи перехрестя з використанням спеціалізованого програмного продукту PTV VISSIM. Черга ТЗ утворюється під час заборонного сигналу світлофора, довжину якої визначають за останнім зупиненим автомобілем у кожній смугі протягом усього періоду обстеження. Для визначення довжини черги ТЗ перед регульованим пішохідним переходом було створено односторонній трисмуговий відрізок довжиною 200 м (вказана довжина дозволяє адекватно відобразити максимальну чергу ТЗ на підході до стоп-лінії в умовах пікової інтенсивності).

Моделювання проводилось за таким алгоритмом:

а) створення моделі заданого типу ТЗ (легковий автомобіль, вантажний, автобус) та їх відсоткового співвідношення у складі ТП (табл. 2);

Початкові дані для моделювання руху ТЗ

Тип ТЗ	Швидкість заданого типу ТЗ, км/год	Частка відповідного типу ТЗ у складі ТП, %
Легковий автомобіль	50	80
Вантажний автомобіль	40	15
Автобус	35	5

б) встановлення вимірювального пункту та контрольних точок (відстань між ними визначається експериментатором залежно від ймовірної довжини черги, відстані між перехрестями (пішохідними переходами) та мети дослідження), між якими визначається тривалість, за якої ТЗ долають експериментальну ділянку;

в) введення фактичної (у фізичних одиницях) інтенсивності (зміненої (імітованої) від 500 до 2500 авт./год для визначення величини та характеру зміни показників ТП);

г) створення (закладення режимів регулювання у програмне середовище) та розміщення транспортних і пішохідних світлофорів відповідного типу. Тривалість основного такту для ТП змінювалась від 10 до 55 с, за сталої тривалості СФЦ – 80 с;

д) проведення імітаційного моделювання для визначення довжини черги ТЗ та характеру зміни показників ТП залежно від зміни одного або декількох початкових параметрів;

е) визначення оцифрованих результатів величини та характеру зміни показників ТП для імітованих моделюванням умов на основі результатів натурних досліджень.

За результатами моделювання отримано значення довжини черги ТЗ залежно від інтенсивності ТП та тривалості основного такту для ТП за сталої тривалості СФР. Встановлено, що інтенсивність ТП та тривалість зеленого сигналу світлофора прямолінійно впливають на довжину черги перед стоп-лінією. Для врахування одночасного впливу обох чинників розроблено емпіричну математичну модель впливу зміни довжини черги (L_M) залежно від фактичної інтенсивності ТП (N_ϕ) та тривалості основного такту (t_3):

$$L_M(t_3, N_\phi) = 110,2606 - 5,0874 \cdot t_3 - 0,02271 \cdot N_\phi \quad (1)$$

Адекватність цієї моделі, отриманої у програмному середовищі MATLAB, підтверджує високий коефіцієнт детермінації, $R^2 = 0,71$. Значення коефіцієнта R^2 свідчить про повний (або функціональний) лінійний зв'язок між тривалістю основного такту та інтенсивністю ТП.

Результати дослідження зміни довжини черги залежно від інтенсивності ТП та тривалості основного такту наведено на рис. 1.

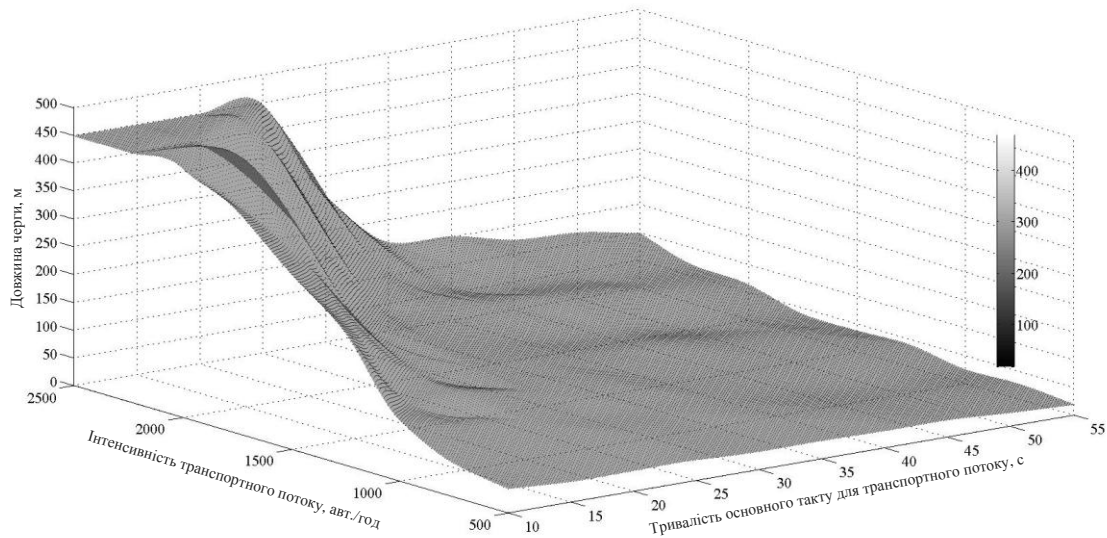


Рис. 1. Залежність довжини черги ТЗ від інтенсивності ТП та тривалості основного такту

Встановлено, що за збільшення інтенсивності ТП на 20 % довжина черги ТЗ в середньому зростає на 10%. Можна зазначити, що за малої тривалості основного такту (до 25 с) збільшується довжина черги і досягає 300 м, що є критичним показником під час проектування регульованих перехресть (пішохідних переходів).

В оцінюванні зміни довжини черги залежно від інтенсивності ТП та тривалості основного такту не враховано вплив таких чинників, як місце розташування перехрестя відносно території міста (тип I – III), геометрично-планувальні характеристики перехрестя (переходу) та умови руху, погоднокліматичні умови тощо.

Для дослідження поведінки пішоходів залежно від інтенсивності їх руху та довжини переходу проаналізовано роботу регульованих перехресть та пішохідних переходів з різними жорсткими тривалостями заборонного сигналу для пішоходів (від 26 до 115 с). Опрацювання результатів цього дослідження виконано із використанням програмного продукту MS Office Excel.

Отримано графічні залежності кількості порушень ПДР пішоходами, які переходять ПЧ на заборонний сигнал світлофора від інтенсивності ТП, вираженої через рівень завантаження (рис. 2).

Варто зазначити, що тут не відображено, як впливає кількість порушень пішоходів залежно від ширини ПЧ, оскільки вона на різних об'єктах дослідження коливалася в межах 3,0 – 4,0 м. (така зміна ширини ПЧ не впливає на поведінку пішоходів).

На рис. 2 наведено середні статистичні значення порушень пішоходами ПДР для різних періодів доби (щоб дослідити, як буде відбуватися зміна порушень на перехресті за різного рівня завантаження) та за різних погоднокліматичних умов з метою отримання достовірніших моделей.

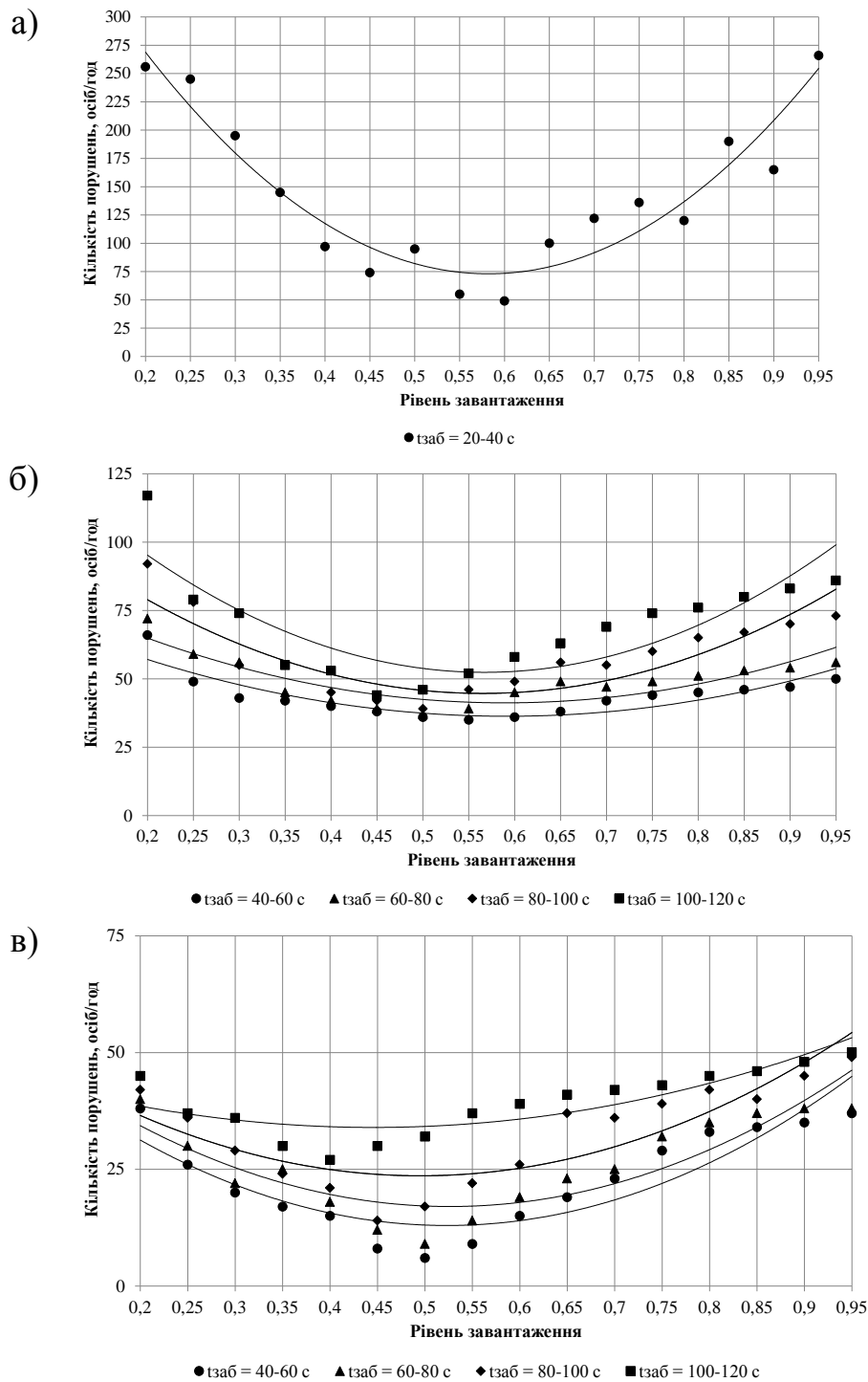


Рис. 2. Експериментальні та теоретичні апроксимовані залежності кількості порушень пішоходами ПДР від рівня завантаження перед стоп-лінією: а – тип I; б – тип II; в – тип III; $t_{заб}$ – тривалість заборонного сигналу світлофора для ТП

Отримані графічні залежності описуються степеневими функціями. Виведення їх коефіцієнтів проведено в середовищі MATLAB та перевірено заданням многочлена з визначеними властивостями із використання теорему Вієта. Отримані результати залежності кількості порушень пішоходами ПДР від рівня завантаження для 3-х типів перехресть наведено в табл. 3.

**Залежності кількості порушень пішоходами ПДР від рівня завантаження
ТП перед стоп-лінією**

Тривалість заборонного сигналу, с	Емпіричні залежності	Коефіцієнт детермінації, R^2	Номер залежності
Тип I			
20 – 40	$N_{\text{порушень}} = 1341,3 \cdot z^2 - 1562,6 \cdot z + 527,55$	0,89	2
Тип II			
40 – 60	$N_{\text{порушень}} = 135,64 \cdot z^2 - 160,43 \cdot z + 83,757$	0,78	3
60 – 80	$N_{\text{порушень}} = 156,23 \cdot z^2 - 184,17 \cdot z + 95,505$	0,74	4
80 – 100	$N_{\text{порушень}} = 257,28 \cdot z^2 - 290,76 \cdot z + 126,83$	0,71	5
100 – 120	$N_{\text{порушень}} = 318,14 \cdot z^2 - 360,83 \cdot z + 154,7$	0,70	6
Тип III			
40 – 60	$N_{\text{порушень}} = 175,21 \cdot z^2 - 183,32 \cdot z + 60,92$	0,79	7
60 – 80	$N_{\text{порушень}} = 162,68 \cdot z^2 - 171,22 \cdot z + 62,09$	0,77	8
80 – 100	$N_{\text{порушень}} = 148,25 \cdot z^2 - 146,81 \cdot z + 59,96$	0,74	9
100 – 120	$N_{\text{порушень}} = 75,63 \cdot z^2 - 67,45 \cdot z + 49,01$	0,73	10

Аналізом результатів досліджень для 3-х типів перехресть встановлено тенденцію зменшення кількості порушень пішоходами переходу ПЧ в умовах ризику за рівня завантаження: 0,5 – 0,65 для перехресть типу I (за тривалості заборонного сигналу світлофора 20 – 40 с); 0,4 – 0,65 для перехресть типу II (за тривалості заборонного сигналу світлофора 40 – 100 с); 0,45 – 0,55 для перехресть типу III (за тривалості заборонного сигналу світлофора 40 – 100 с). При тривалості заборонного сигналу світлофора 100 – 120 с для перехрестя типу III спостерігається збільшення кількості порушень не залежно від рівня завантаження.

Дослідження показали, що визначальним у прийнятті рішення пішоходами про перехід через ПЧ є режим регулювання та рівень завантаження ВДМ, виражену через величину інтервалів між автомобілями. За рівнів завантаження ПЧ перед стоп-лінією 0,4 – 0,6 (для трьох типів перехресть та пішохідних переходів) інтервали між автомобілями збільшуються, ТЗ структуруються за складом руху по смугах. У результаті цього пішоходи не ризикують переходити ПЧ на заборонний сигнал світлофора. У щільних ТП (зменшуються інтервали між автомобілями) пішоходи приймають рішення перетнути ПЧ на заборонний сигнал світлофора, оскільки рух ТЗ при рівні завантаження 0,8 – 0,95 практично відсутній. За таких умов зменшується тривалість терпеливого очікування пішоходів.

Виходячи з отриманих емпіричних залежностей для 3-х типів перехресть, можна стверджувати, що найбільша частка порушників спостерігається за

тривалості заборонного сигналу 80 – 120 с. Це явище виникає з кількох причин: на перехресті діє трифазний або чотирифазний цикл СФР, тривалість очікування дозвільного сигналу для пішоходів є тривалим і вони приймають рішення про перехід через ПЧ у час, коли рух здійснюють поворотні ТП; зі зростанням кількості пішоходів, які накопичились біля світлофора в очікуванні дозвільного сигналу світлофора найчастіше виникає ситуація, коли один із пішоходів приймає рішення про перехід в умовах ризику і за ним слідує деяка група інших пішоходів; пішохід, який очікував дозвільного сигналу на перехід у великій групі і не встигає через розмір цієї групи здійснити перехід на дозвільний сигнал світлофора, намагатиметься це реалізувати в умовах підвищеного ризику.

Взявши за основу результати досліджень показників транспортних та пішохідних потоків, параметрів ВДМ, обґрунтовано раціональні параметри регулювання. Кількісним параметром у визначенні довжини черги є рівень завантаження z , який змінюється від нуля до одиниці. При цьому, чим більша довжина черги ТЗ, тим більше значення коефіцієнта. Основними чинниками, що впливають на значення цього коефіцієнта, є зведена інтенсивність руху ТЗ (N_T) та пропускна здатність смуги руху (P).

На першому етапі виконувалися дослідження у програмному середовищі PTV VISSIM, для якого побудовано односмуговий відрізок довжиною 1000 м, шириною смуги руху 3,75 м і створено змішаний ТП (виходячи з результатів експериментальних досліджень) з часткою легкових автомобілів (для I типу перехресть – 70%; для II – 95%, для III – 80 – 85%). При цьому задавалось відповідне до типу ТЗ значення бажаної швидкості руху.

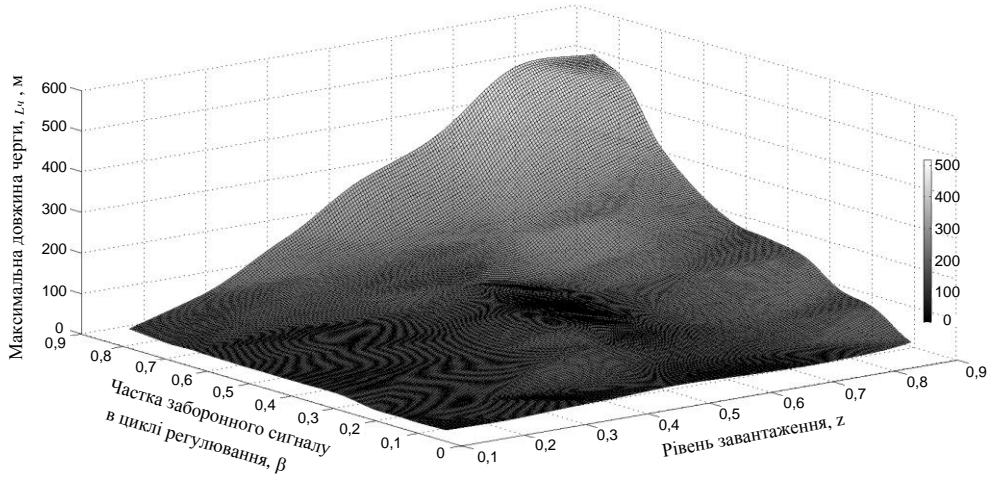
Задавалися початкові дані для моделювання руху ТЗ, інтенсивність яких змінювалася від 50 зв.од./год до 700 зв.од./год. Пропускна здатність смуги руху на підході до перехрестя приймалася 800 зв.од./год. Створений світлофорний об'єкт з однією групою сигналів і задавалася тривалість циклу 120 с із структурою червоний – зелений. Частка заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання визначалася через співвідношення – $\beta = \frac{t_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}}$ (тривалість

заборонного сигналу змінювалася від 10 с до 105 с). Крім цього, виконувалось нормативне обмеження $25 < T_{\text{ц}} < 120$ с., а значення тривалості основного такту для транспорту становило не менше $t_s = 7$ с. Для визначення перехідного інтервалу пішохідної фази не змінювалися геометричні параметри ПЧ. З метою забезпечення безпечного проїзду ТЗ через перехрестя розраховувалася тривалість проміжного такту для транспортного напрямку, яка залежить від середньої швидкості автомобіля під час руху на підході до стоп-лінії без гальмування.

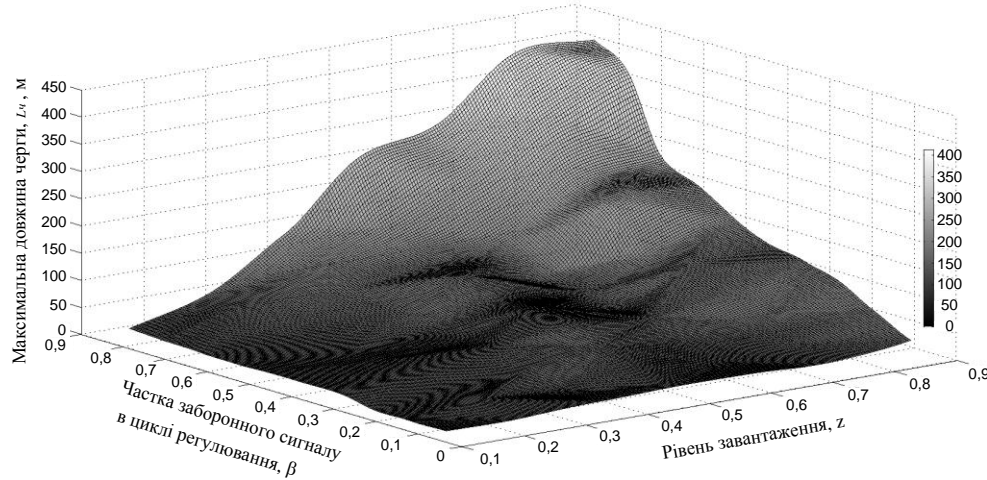
У середовищі PTV VISSIM для визначення максимальної довжини черги ТЗ перед стоп-лінією за різних режимів СФР проводили моделювання транспортних та пішохідних потоків для 30 регульованих перехресть, які мають відмінні особливості руху (тип I, II та III).

Результати дослідження зміни максимальної довжини черги ТЗ залежно від рівня завантаження ПЧ перед стоп-лінією та частки тривалості заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання наведено на рис. 3.

Тип перехрестя I



Тип перехрестя II



Тип перехрестя III

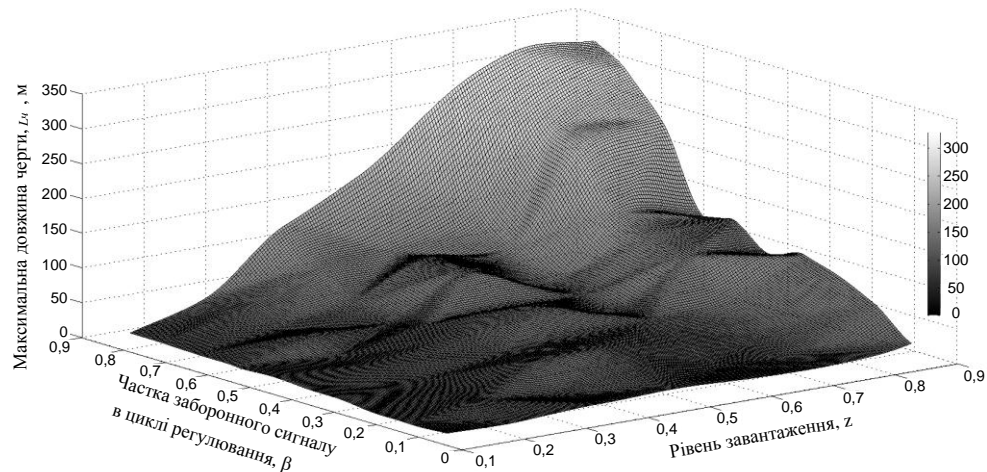


Рис. 3. Результати дослідження зміни максимальної довжини черги ТЗ залежно від рівня завантаження ПЧ перед стоп-лінією та частки тривалості заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання

Збільшення тривалості заборонного сигналу для пішоходів найсуттєвіше збільшує частку пішоходів, які переходять через перехід на заборонний сигнал світлофора для перехресть типу I, що вказує на потребу регламентації тривалості циклу регулювання біля місць великої генерації ПП. До того ж зменшення тривалості дозвільного сигналу для пішоходів скорочує час очікування для ТП, що за інтенсивності понад 500 авт./год на 1 смугу спричиняє утворення черг ТЗ довжиною понад 90 м при заборонному сигналі 40 с.

Як показують результати моделювання зміни максимальної довжини черги ТЗ перед стоп-лінією для різних типів перехресть, найбільша черга ТЗ спостерігається для перехресть типу I (поблизу транспортних вузлів) – 504,56 м за рівня завантаження ПЧ перед стоп-лінією – 0,88 та частки заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання – 0,83. Якщо за цих же режимів СФР порівнювати значення максимальної довжини черги для перехресть типу II (центральна зона) та типу III (житлова зона), то можна стверджувати, що довжина черги ТЗ зменшується і становить відповідно 403,65 м та 317,88 м.

Аналіз усіх результатів дослідження дав змогу оцінити зміну максимальної довжини черги ТЗ перед стоп-лінією за різних режимів СФР та рівня завантаження ПЧ. Для врахування одночасного впливу обох чинників запропоновано модель впливу зміни максимальної довжини черги (L_q) перед стоп-лінією залежно від рівня завантаження (z) та частки заборонного сигналу (β) на смузі руху в циклі регулювання (табл. 4).

Таблиця 4

Зміна максимальної довжини черги ТЗ залежно від рівня завантаження та частки заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання

Тип перехрестя	Емпіричні залежності	Коефіцієнт детермінації, R^2	Номер залежності
I	$L_q = -170,76 + 273,953 \cdot z + 309,347 \cdot \beta$	0,73	11
II	$L_q = -135,956 + 213,994 \cdot z + 252,532 \cdot \beta$	0,72	12
III	$L_q = -109,650 + 175,397 \cdot z + 199,758 \cdot \beta$	0,70	13

Отже, застосування наведеного способу дозволить мінімізувати затримки ТП і задовольнити потреби в безпечному переміщенні пішоходів у системах регулювання на перехрестях зі жорсткими типами СФР.

Для ефективного планування регульованих перехресть на ВДМ, крім вивчення і моделювання руху ТП, необхідно враховувати і пішохідні потоки та аналізувати поведінку пішоходів залежно від геометричних параметрів ПЧ, місця розташування переходу.

Виходячи з результатів моделювання та на основі критерію мінімізації затримок ТЗ з урахуванням довжини їх черг, потрібно враховувати затримки ТП та поведінку пішоходів під час переходу через ПЧ. Розглянемо, наприклад, регульований перехід типу I (двофазне регулювання). Ширина ПЧ становить

24 м (11,25 м в кожному напрямку, а також розділова смуга шириною 1,5 м). Сумарна інтенсивність ТП на переході – 1695 зв.од./год (рівень завантаження ПЧ 0,35). Виходячи з того, що на досліджуваному об'єкті за існуючих умов руху спостерігається велика частка порушників (13 – 21 %) за тривалості циклу регулювання 78 с, можливий варіант введення СФР для перехресть типу I з тривалістю СФЦ 25 – 40 с. Для таких умов руху на перехрестях типу II та III необхідно вводити адаптивне СФР, оскільки за жорсткого режиму спостерігатиметься велика частка пішоходів, які переходять ПЧ на заборонний сигнал світлофора.

На основі отриманих результатів досліджень, розроблено рекомендації щодо вибору раціональних режимів СФР залежно від затримки транспорту та поведінки пішоходів (табл. 5).

Таблиця 5

Рекомендації щодо вибору раціональних режимів СФР залежно від затримки транспорту та поведінки пішоходів

Значення величини, z	Рекомендована тривалість циклу регулювання, с		
	Тип перехрестя I	Тип перехрестя II	Тип перехрестя III
2 фази			
$z < 0,2$	адаптивна	адаптивна	адаптивна
$0,2 \leq z < 0,45$	25 – 40	адаптивна	адаптивна
$0,45 \leq z < 0,7$	30 – 50	40 – 60	40 – 60
$0,7 \leq z < 1,0$	40 – 60	45 – 70	50 – 70
3 фази			
$z < 0,2$	адаптивна	адаптивна	адаптивна
$0,2 \leq z < 0,45$	40 – 60	50 – 70	50 – 70
$0,45 \leq z < 0,7$	50 – 70	60 – 80	60 – 80
$0,7 \leq z < 1,0$	60 – 90	60 – 90	60 – 90
4 фази			
$z < 0,2$	адаптивна	адаптивна	адаптивна
$0,2 \leq z < 0,45$	60 – 80	60 – 90	60 – 90
$0,45 \leq z < 0,7$	80 – 90	90 – 100	80 – 100
$0,7 \leq z < 1,0$	90 – 100	100 – 110	100 – 120

Виходячи з величини затримки транспорту та поведінки пішоходів, визначено, що за двофазного регулювання тривалість циклу має становити 25 – 70 с, трифазного – 40 – 90 с та чотирифазного – 60 – 120 с. Для рівня завантаження $z < 0,2$ – введення світлофорного регулювання жорсткого типу не рекомендується.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання дисертаційної роботи здійснено розв'язання науково-прикладного завдання, яке полягає у визначенні раціональних режимів світлофорного регулювання на перехрестях із жорсткими програмами управління з урахуванням характеристик транспортних потоків та поведінки пішоходів.

1. Виконаним аналізом стану питання у теорії та на практиці щодо систем світлофорного регулювання на перехрестях із жорсткими програмами управління виявлено неврахування поведінки пішоходів, що зумовлене їх психофізіологічними особливостями та впливом на неї дорожніх умов. Врахування цього впливу дає змогу визначити раціональний режим регулювання і цим підвищити безпеку та мінімізувати затримки учасників дорожнього руху.

2. Для регульованих перехресть з різними умовами руху транспортних та пішохідних потоків встановлено, що вони (умови) залежать від місця розміщення відносно території міста. У зв'язку із цим перехрестя поділено за особливостями руху (склад та інтенсивність транспортного потоку, наявність центрів генерації пішохідного потоку) на III типи: I тип – поблизу транспортних вузлів; II тип – центральна зона; III тип – житлова зона.

3. Встановлено, що на перехрестях типу I, II та III кількість пішоходів, які проходять на заборонний сигнал, є в межах 17 – 20 %, 10 – 14 % та 7 – 13 % відповідно.

4. Для різних типів перехресть за існуючих умов руху найменша кількість порушників серед пішоходів при тривалості заборонного сигналу світлофора 40 – 60 с є за рівня завантаження проїзної частини 0,5 – 0,65 для перехресть типу I; для перехресть типу II – 0,4 – 0,65 та для перехресть типу III – 0,45 – 0,55.

5. Для перехресть типу I визначено, що найбільша черга ТЗ становить 504,56 м за рівня завантаження проїзної частини – 0,88 та частки заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання 0,83. Якщо за цих режимів світлофорного регулювання порівнювати значення максимальної довжини черги для перехресть типу II (центральна зона) та типу III (житлова зона), то довжина черги зменшується і становить відповідно 403,65 м та 317,88 м.

6. Раціональні режими, отримані моделюванням (з використанням програмних продуктів PTV VISSIM та MATLAB) проїзду транспортного потоку з урахуванням потреб на переміщення пішоходів та, виходячи із закономірностей утворення черг транспортних засобів на смузі руху перед стоп-лінією на регульованому перехресті, встановлено, що за двофазного регулювання тривалість циклу має становити 25 – 70 с, трифазного – 40 – 90 с та чотирифазного – 60 – 120 с.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Ройко Ю. Я. Підвищення ефективності функціонування ділянок вулично-дорожньої мережі в умовах координованого регулювання / Ю. Я. Ройко, О. М. Грицунь // Наукові нотатки. – 2014. – Випуск 45. – С. 472 – 476.
2. Грицунь О. М. Аналіз поведінки пішоходів на регульованих перехрестях / О. М. Грицунь // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» – Луцьк 2016. – Випуск 55. – С. 90 – 95.
3. Грицунь О. М. Дослідження транспортних затримок на підходах до регульованих пішохідних переходів за різних режимів координації / О. М. Грицунь // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля №1 (225) 2016 – С. 55 – 59.
4. Ланець О. С. Вплив пішоходів на втрати часу у транспортному потоці / О. С. Ланець, Ю. Я. Ройко, О. М. Грицунь // Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті» №2(9) 2017 – С. 93 – 101.
5. Ланець О. С. Зміна швидкості руху пішохідних потоків у зоні регульованих перехресть / О. С. Ланець, О. М. Грицунь // Динаміка та міцність машин №2(9) 2017 – С. 139 – 143.
6. Hrytsun O. Determination of transport delay before the traffic light on two-lane streets with tram movement / O. Hrytsun, Yu. Royko // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Луцьк, ЛНТУ, 2018. – Р. 18 – 23.
7. Грицунь О. М. Аналіз ДТП та прогнозування аварійності з пішоходами. / О. М. Грицунь, В. А. Давосир, Р. Б. Островський // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Луцьк, ЛНТУ, 2018. – С. 58 – 62.
8. Royko Yu. Choose of optimal regimes of traffic light control in operating zone of pedestrian crossings / Yu. Royko , O. Hrytsun, R. Bura // Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science Vol. 4, No. 1, 2018. – Р. 145 – 160 (Наукометрична база IndexCopernicus).

Опубліковані праці апробаційного характеру

9. Грицунь О. М. Щодо формування груп автомобілів у транспортних потоках та умов їх стійкості / О. М. Грицунь / Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту». – Вінниця, 2013. – С. 43 – 45.
10. Ройко Ю. Я. Вплив швидкості руху на ефективність роботи системи координованого управління / Ю. Я. Ройко, О. М. Грицунь // Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства». – Кременчук, 2014. – С. 112–114.
11. Ройко Ю. Я. Особливості впливу складу руху на потік насичення/ Ю. Я. Ройко, О. М. Грицунь / Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики». – м. Северодонецьк – м. Кременчук, 2015 – С. 26 – 28.

12. Грицунь О. М. Математичні залежності визначення транспортних затримок на регульованих перехрестях / О. М. Грицунь // Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи: збірник тез конференції, 11 – 17 квітня м. Трускавець (Україна). – Сєверодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2016 – С. 47 – 49.
13. Oleh Hrytsun. Evaluation of Pedestrian Motion Safety on Regulated Crossroads. / O. Hrytsun // VI Міжнародний молодіжний науковий форум “Litteris et Artibus” / Матеріали. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 356 – 357
14. Грицунь О. М. Аналіз закономірностей формування транспортних та пішохідних потоків на перехрестях в одному рівні / О. М. Грицунь / Проблеми розвитку транспорту і логістики: Збірник наукових праць за матеріалами VII-ї Міжнародної науково-практичної конференції. – Одеса 2017. – С. 17 – 19.
15. Грицунь О. М. Чинники, які впливають на пропускну здатність вулично-дорожньої мережі / О. М. Грицунь / XXIV міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства. – Кременчук 2017. – С. 114 – 115.
16. Грицунь О. М. Дослідження ефективності роботи систем координованого регулювання / О. М. Грицунь // Збірник тез доповідей. – 2014. – НУ «Львівська політехніка». – С. 131 – 133.
17. Грицунь О. М. Дослідження миттєвих швидкостей руху на магістральних ділянках ВДМ / О. М. Грицунь / LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К: НТУ, 2015. – С. 534.
18. Форнальчик Є. Ю. Керування ввімкненням зелених сигналів на координованих регульованих перехрестях / Є. Ю. Форнальчик, О. М. Грицунь / Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямми їх розв’язання». – Львів 2015. – С. 24 – 26.
19. Грицунь О. М. Мінімізація затримок транспорту на координованих регульованих перехрестях / О. М. Грицунь / Дванадцятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: Тези доповідей. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2015. – С. 138 – 139.
20. Грицунь О. М. Оцінка безпеки руху пішоходів на регульованих перехрестях / О. М. Грицунь, Ю. Ю. Чех // Модернізація та сучасні технології транспортного будівництва: Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції / Відп. ред. канд. філос. наук М. Брегін. – Львів: 2016. – С. 109 – 112.
21. Грицунь О. М. Взаємодія зустрічних пішохідних потоків на регульованих переходах / О. М. Грицунь / II Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямми їх розв’язання». – Львів 2017. – С. 58 – 60.

22. Oleh Hrytsun. Impact Of Unregulated Pedestrian Crossings On Road Network Capacity. / O. Hrytsun, V. Davosyr // VII Міжнародний молодіжний науковий форум “Litteris et Artibus” // Матеріали. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM).– С. 277 – 278.
23. Грицунь О. М. Аналіз транспортних затримок на регульованих перехрестях з використанням імітаційного моделювання / О. М. Грицунь, В. Давосир / Третя всеукраїнська науково-практична конференція «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: Тези доповідей. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – С. 195 – 196.
24. Грицунь О. М. Планувальні та регуляторні чинники, які зумовлюють затримки руху / О. М. Грицунь / Проблеми організації авіаційних перевезень і застосування авіації в галузях економіки: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції – м. Київ, 24 листопада 2017 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2017. – С. 162 – 166.
25. Грицунь О. М. Взаємозв'язок основних показників пішохідних потоків/ О. М. Грицунь, С. А. Максимюк / Автомобільний транспорт та інфраструктура: I Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 26–28 квітня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. – С. 104 – 106.
26. Грицунь О. М. Аналіз поведінки пішоходів та чинників аварійності з ними / О. М. Грицунь, С. М. Середюк / Транспортні системи та технології : проблеми та перспективи розвитку. Тези доповідей Регіональної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів і учнів 12 квітня 2018 року., м. Запоріжжя., 2018. – С. 29 – 31.
Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації
27. Грицунь О. М. Дослідження граничних часових інтервалів на нерегульованих перехрестях / О. М. Грицунь, М. Ю. Євчук / Науковий електронний фаховий журнал Харківського національного автомобільно-дорожнього університету «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології». – 2013. – Випуск 4/2013. – С. 45 – 47.
28. Roiko Yu. The study of park'ing influence on the passing capacity of the arterial road / Yu. Roiko, M. Evchuk, O. Grytsun//Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Science and Education – Our Future (November 24-26, 2014) Abu Dhabi”. – P. 141 – 145.
29. Ройко Ю. Я. Дослідження миттєвих швидкостей та розпаду груп транспортних засобів на магістральних ділянках ВДМ / Ю. Я. Ройко, О. М. Грицунь / Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Выпуск 4(37). Том 1. – С. 3 – 7.

АНОТАЦІЯ

Грицунь О.М. Обґрунтування раціональних режимів світлофорного регулювання з урахуванням характеристик транспортних потоків і поведінки пішоходів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 «Транспортні системи» – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерства освіти і науки України, Львів, 2019.

Робота присвячена вибору раціональних (за тривалістю) режимів світлофорного регулювання, за яких зменшується кількість та тривалість затримок у транспортних потоках та вірогідність скоєння дорожньо-транспортних подій, які є наслідком поведінки учасників дорожнього руху.

Розроблено метод вибору раціональних режимів світлофорного регулювання на основі мінімізації кількості порушень пішоходами вимог сигналів світлофора залежно від рівня завантаження смуг руху транспортним потоком та максимальної довжини черги транспортних засобів на підході до стоп-лінії. Оцінка раціональності здійснюється з урахуванням одночасного впливу таких чинників: рівня завантаження проїзної частини, тривалості заборонного сигналу світлофора, кількості порушень пішоходами правил дорожнього руху та максимальної довжини черги транспортних засобів.

У роботі вперше розроблено модель зміни кількості порушень пішоходів залежно від рівня завантаження перехресть різних типів, розроблено модель визначення максимальної довжини черги залежно від рівня завантаження та частки заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання, запропоновано рекомендації щодо вибору раціональних режимів світлофорного регулювання залежно від затримки транспорту, планувальних параметрів вулично-дорожньої мережі та поведінки пішоходів.

Ключові слова: пішохідний потік, транспортний потік, інтенсивність руху, швидкість руху, рівень завантаження, світлофорне регулювання, моделювання руху, натурні дослідження.

АННОТАЦИЯ

Грицунь О.М. Обоснование рациональных режимов светофорного регулирования с учетом характеристик транспортных потоков и поведения пешеходов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 «Транспортные системы» - Национальный университет «Львовская политехника», Министерства образования и науки Украины, Львов, 2019.

Работа посвящена выбору рациональных (по продолжительности) режимов светофорного регулирования, при которых уменьшается количество и продолжительность задержек в транспортных потоках и вероятность совершения дорожно-транспортных происшествий, которые являются следствием поведения участников дорожного движения.

Разработан метод выбора рациональных режимов светофорного регулирования на основе минимизации количества нарушений пешеходами требований сигналов светофора в зависимости от уровня загрузки полос движения транспортным потоком и максимальной длины очереди транспортных средств на подходе к стоп-линии. Оценка рациональности осуществляется с учетом одновременного воздействия таких факторов: уровня загрузки проезжей части, продолжительности запрещающего сигнала светофора, количества нарушений пешеходами правил дорожного движения и максимальной длины очереди транспортных средств.

В работе впервые: разработана модель изменения количества нарушений пешеходов в зависимости от уровня загрузки перекрестков различных типов; разработана модель определения максимальной длины очереди в зависимости от уровня загрузки и доли запрещающего сигнала на полосе движения в цикле регулирования; предложены рекомендации по выбору рациональных режимов светофорного регулирования в зависимости от задержки транспорта, планировочных параметров улично-дорожной сети и поведения пешеходов.

Ключевые слова: пешеходный поток, транспортный поток, интенсивность движения, скорость движения, уровень загрузки, светофорное регулирование, моделирование движения, натурные исследования.

ANNOTATION

Hrytsun O. M. Justification of rational regimes of traffic light control taking into account traffic flow characteristics and pedestrian behavior. – On the rights of manuscript.

Dissertation in support of candidature for a technical degree in specialty 05.22.01 “Transport systems” – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.

The paper is dedicated to choose of rational (by duration) regimes of traffic light control, during which number and duration of delays in traffic flows and probability of commission of road traffic incidents, which are the result of road users behavior, reduces.

Backgrounds for these negative phenomena are: variation of traffic intensity, when pedestrian, during continuous restrictive signals for him, can start to cross the roadway that is unexpected for vehicle driver, especially in nighttime; observation the requirements of only regulatory documents during designing the elements of road network that is not always adequate for different functional areas of settlements and movement conditions of its users; absence of distinct regulation of traffic light control parameters limits which would create its rational regimes taking into account traffic flow characteristics and pedestrian behavior.

Such methods are proposed: determination the change of pedestrian patient waiting time in different control regimes and roadway parameters; investigation of traffic flow delays depending from control parameters.

In the paper experimental research on pedestrian behavior are conducted on controlled intersections for different functional areas and in different daytime and also dynamic parameters in traffic flow are investigated.

Methods for choose the rational regimes of traffic light control is developed, based on minimization of number of violations by pedestrians requirements of traffic light signals depending from volume-capacity ratio and maximum queue length on approach to the stop-line. Estimation of rationality is performed with consideration of simultaneous influence of such factors: volume-capacity ratio, duration of traffic light restrictive signal, number of violations by pedestrians and maximum queue length. On this basis in program software MATLAB the model for choose the rational control regime is developed, taking into account intersection type which (type) depends from traffic flow characteristics, pedestrian behavior and movement conditions.

In this paper first: the model for change the number of violations of pedestrians is developed, depending on volume-capacity ratio on intersections of different types; the model for determination maximum queue length is developed, depending from volume-capacity ratio and restrictive signal rate on the line in control cycle; recommendations about choose the rational regimes of traffic light control are proposed, depending from traffic delay, planning parameters of road network and pedestrian behavior.

For determination of vehicle queue length specialized program software VISSIM is chosen, in the base of which Wiedemann model is laid. The main idea of the model is that driver of the vehicle that moves with higher speed starts to slow down after he reached his individual limit of perception the distance from the front vehicle which moves behind him when the distance to him starts to percept as insufficient.

Received simulation model of queue length depending on traffic flow intensity and permissive signal duration is adequate and can be used in further research. Simulation results indicate that use of proposed values of volume-capacity ratio and the restrictive signal fraction on the lane in traffic light control cycle for determining the maximum vehicle queue length before stop-line testify about existence bigger possibilities in traffic situation simulation. Depending from available information and peculiarities of the task it can be possible to formalize the scheme of justification the rational regimes of traffic control with the aim of determination such its value that vehicle queue wouldn't block the previous intersection.

An increase of restrictive signal duration increases the most the share of pedestrians who cross the pedestrian crossing on restrictive traffic light signal for type I intersections which point on the necessity of implementation the traffic light cycle duration regulation near places of huge pedestrian flow generation.

Rational regimes, received by simulation (using program software PTV VISSIM and MATHLAB) the traffic flow drive taking into account necessity for pedestrian movement and, based on regularities of vehicle queue formation on the lane before the stop-line on controlled intersection, it was stated that with two-phase control traffic light cycle duration should be 25 – 70 s, three-phase – 40 – 90 s and four-phased – 60 – 120 s.

Keywords: pedestrian flow, traffic flow, traffic intensity, speed of movement, volume-capacity ratio, traffic light control, traffic simulation, field research.

Грицунь Олег Михайлович

**Обґрунтування раціональних режимів світлофорного регулювання з
урахуванням характеристик транспортних потоків і поведінки пішоходів**

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск *В. В. Ковалишин*

Підписано до друку 22.02.2019 р.
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Друк ксерографічний. Ум. друк. арк. 0,9.
Наклад 100 прим. **Зам. №10-13**
