

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Грицунь Олег Михайлович

УДК 656.051

ДИСЕРТАЦІЯ
ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ХАРАКТЕРИСТИК
ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ І ПОВЕДІНКИ ПІШОХОДІВ
Спеціальність 05.22.01 – Транспортні системи

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

О. М. Грицунь

Науковий керівник Ройко Юрій Ярославович, кандидат технічних наук,
доцент

Львів – 2019

АНОТАЦІЯ

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

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 «Транспортні системи» – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство 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.

Підґрунтям цих негативних явищ є: коливання інтенсивності руху транспортних потоків, коли пішохід за тривалих заборонних сигналів для нього може розпочати перехід проїзної частини, що є неочікувано для водія транспортного засобу, особливо у нічний час доби; дотримання лише вимог нормативних документів під час проектування елементів вулично-дорожньої мережі, що не завжди адекватне для різних функціональних територій населених пунктів та умов руху його учасників; відсутність чіткої регламентації меж параметрів світлофорного регулювання, які б створювали раціональні його режими з урахуванням характеристик транспортних потоків та поведінки пішоходів.

Запропоновано такі методики: визначення зміни часу терпеливого очікування пішохода за різних режимів регулювання та параметрів проїзної частини; дослідження затримок транспортних потоків залежно від параметрів регулювання.

У роботі проведено експериментальні дослідження поведінки пішоходів на регульованих перехрестях для різних функціональних зон та у різну пору доби, а також досліджено динамічні показники у транспортному потоці.

Розроблено метод вибору раціональних режимів світлофорного регулювання на основі мінімізації кількості порушень пішоходами вимог сигналів світлофора залежно від рівня завантаження смуг руху та максимальної довжини черги на підході до стоп-лінії. Оцінка раціональності здійснюється з урахуванням одночасного впливу таких чинників: рівня завантаження, тривалості заборонного сигналу світлофора, кількості порушень пішоходами та максимальної довжини черги. На підставі цього у програмному середовищі MATLAB розроблена модель вибору раціонального режиму регулювання з урахуванням типу перехрестя, який (тип) залежить від характеристик транспортного потоку, поведінки пішоходів та умов руху.

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.

Практичне значення результатів роботи підтверджується одержаними актами впровадження розроблених методик визначення раціональних режимів регулювання жорсткого типу на перехрестях в ЛКП «Львівавтодор» та у ДП ДППМ «Містопроект».

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

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Стаття у виданні України, яке включене до міжнародних наукометричних баз

1. Hrytsun O. 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. – Lviv, 2018. – Vol. 4, No. 1, P. 145 – 160.

Статті у фахових виданнях України

2. Грицунь О. М. Підвищення ефективності функціонування ділянок вулично-дорожньої мережі в умовах координованого регулювання / Ю. Я. Ройко, О. М. Грицунь // Наукові нотатки. – Луцьк, 2014. – Випуск 45. – С. 472 – 476.

3. Грицунь О. М. Аналіз поведінки пішоходів на регульованих перехрестях / О. М. Грицунь // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» – Луцьк, 2016. – Випуск 55. – С. 90 – 95.

4. 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. – Сєверодонецьк, 2016. – №1 (225) – С. 55 – 59.

5. Грицунь О. М. 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». – Луцьк, 2017. – №2(9) 2017. – С. 93 – 101.

6. Грицунь О. М. Зміна швидкості руху пішохідних потоків у зоні регульованих перехресть / О. С. Ланець, О. М. Грицунь // Динаміка та міцність машин. – Львів, 2017. – №2(9) – С. 139 – 143.

7. Hrytsun O. Determination of transport delay before the traffic light on two-lane streets with tram movement / O. Hrytsun, Yu. Roiko // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – Луцьк, 2018. – С. 18 – 23.

8. 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, 2018. – С. 58 – 62.

Наукові праці, в яких опубліковані додаткові наукові результати дисертації

9. 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». – Харків, 2013. – Випуск 4/2013. – С. 45 – 47.

10. Grytsun O. 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.

11. Грицунь О. М. Дослідження миттєвих швидкостей та розпаду груп транспортних засобів на магістральних ділянках ВДМ / Ю. Я. Ройко, О. М. Грицунь / Сборник научных трудов SWorld. – Одеса, 2014. – Выпуск 4(37). Том 1. – С. 3 – 7.

Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

12. 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.

13. Грицунь О. М. 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.

14. Грицунь О. М. 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». – Сєверодонецьк–Кременчук, 2015 – С. 26 – 28.

15. 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.

16. 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. – Львів, 2016. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 356 – 357

17. 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.

18. 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.

19. Грицунь О. М. Дослідження ефективності роботи систем координованого регулювання / О. М. Грицунь // Збірник тез доповідей НУ «Львівська політехніка». – Львів, 2014 – С. 131 – 133.

20. 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.

21. Грицунь О. М. Керування ввімкненням зелених сигналів на координованих регульованих перехрестях / Є. Ю. Форнальчик, О. М. Грицунь / Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання». – Львів, 2015. – С. 24 – 26.

22. Грицунь О. М. Мінімізація затримок транспорту на координованих регульованих перехрестях / О. М. Грицунь / Дванадцятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: Тези доповідей КІНПАТРИ ЛТД. – Львів, 2015. – С. 138 – 139.

23. 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. – Львів, 2016. – С. 109 – 112.

24. Грицунь О. М. Взаємодія зустрічних пішохідних потоків на регульованих переходах / О. М. Грицунь / II Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання». – Львів, 2017. – С. 58 – 60.

25. 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. – Львів, 2017. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 277 – 278.

26. Грицунь О. М. Аналіз транспортних затримок на регульованих перехрестях з використанням імітаційного моделювання / О. М. Грицунь, В. А. Давосир / Третя всеукраїнська науково-практична конференція

«Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: Тези доповідей. – Львів, 2018. – С. 195 – 196.

27. 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.

28. 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.

29. 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. – Запоріжжя, 2018. – С. 29 – 31.

SUMMARY

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.

Practical importance of work results is supported by received certificates of implementation of developed methods for determination the rational control regimes of fixed-time type on intersections in LME “Lvivavtodor” and in SE SIDC “Mistoproekt”.

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

AUTHOR'S PUBLICATIONS ON THE SUBJECT OF THE THESIS:*Articles in scientific and professional journals*

1. Hrytsun O. 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. – Lviv, 2018. – Vol. 4, No. 1, P. 145 – 160.
2. Hrytsun O. M. Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia dilianok vulychno-dorozhnoi merezhi v umovakh koordynovanoho rehuliuвання / Yu. Ya. Roiko, O. M. Hrytsun // Naukovi notatky. – Lutsk, 2014. – Vypusk 45. – S. 472 – 476.
3. Hrytsun O. M. Analiz povedinky pishokhodiv na rehulovanykh perekhrestia / O. M. Hrytsun // Mizhvuzivskyi zbirnyk «Naukovi notatky» – Lutsk, 2016. – Vypusk 55. – S. 90 – 95.
4. Hrytsun O. M. Doslidzhennia transportnykh zatrymok na pidkhodakh do rehulovanykh pishokhidnykh perekhodiv za riznykh rezhymiv koordynatsii / O. M. Hrytsun // Visnyk Skhidnoukrajinskoho natsionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalia. – Sievierodonetsk, 2016. – №1 (225) – S. 55 – 59.
5. Hrytsun O. M. Vplyv pishokhodiv na vtraty chasu u transportnomu pototsi / O. S. Lanets, Yu. Ya. Roiko, O. M. Hrytsun // Naukovyi zhurnal «Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti». – Lutsk, 2017. – №2(9) 2017. – S. 93 – 101.
6. Hrytsun O. M. Zmina shvydkosti rukhu pishokhidnykh potokiv u zoni rehulovanykh perekhrest / O. S. Lanets, O. M. Hrytsun // Dynamika ta mitsnist mashyn. – Lviv, 2017. – №2(9) – S. 139 – 143.
7. Hrytsun O. Determination of transport delay before the traffic light on two-lane streets with tram movement / O. Hrytsun, Yu. Royko // Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti. – Lutsk, 2018. – S. 18 – 23.

8. Hrytsun O. M. Analiz DTP ta prohozuvannia avariinosti z pishokhodamy. / O. M. Hrytsun, V. A. Davosyr, R. B. Ostrovskiy // Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti. – Lutsk, 2018. – S. 58 – 62.

Publications, which additionally reflect the results of research

9. Hrytsun O. M. Doslidzhennia hranychnykh chasovykh intervaliv na nerehulovanykh perekhrestiakh / O. M. Hrytsun, M. Yu. Yevchuk / Naukovyi elektronnyi fakhovyi zhurnal Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu «Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii». – Kharkiv, 2013. – Vypusk 4/2013. – S. 45 – 47.

10. Hrytsun O. The study of park'ing influence on the passing capacity of the arterial road / Yu. Roiko, M. Evchuk, O. Hrytsun//Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Science and Education – Our Future (November 24-26, 2014) Abu Dhabi”. – P. 141 – 145.

11. Hrytsun O. Doslidzhennia myttievkykh shvydkosti ta rozradu hrup transportnykh zasobiv na mahistralnykh diliankakh VDM / Yu. Ya. Roiko, O. M. Hrytsun / Sbornik nauchnykh trudov SWorld. – Odesa, 2014. – Vyipusk 4(37). Tom 1. – S. 3 – 7.

Abstracts of the conferences

12. Hrytsun O. M. Shchodo formuvannia hrup avtomobiliv u transportnykh potokakh ta umov yikh stiikosti / O. M. Hrytsun / Materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu». – Vinnytsia, 2013. – S. 43 – 45.

13. Hrytsun O. M. Vplyv shvydkosti rukhu na efektyvnist roboty systemy koordynovanoho upravlinnia / Yu. Ya. Roiko, O. M. Hrytsun // Materialy XXI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh «Aktualni problemy zhyttiedialnosti suspilstva». – Kremenchuk, 2014. – S. 112–114.

14. Hrytsun O. M. Osoblyvosti vplyvu skladu rukhu na potik nasychennia/ Yu. Ya. Roiko, O. M. Hrytsun / Materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy rozvytku transportnykh system i lohistyky». – Sieverodonetsk–Kremenchuk, 2015 – S. 26 – 28.

15. Hrytsun O. M. Matematychni zalezhnosti vyznachennia transportnykh zatrymok na rehulovanykh perekhrestiakh / O. M. Hrytsun // Innovatsii infrastruktury transportno-lohistrychnykh system. Problemy, dosvid, perspektyvy: zbirnyk tez konferentsii, 11 – 17 kvitnia m. Truskavets (Ukraina). – Sievierodonetsk: SNU im. V. Dalia, 2016 – S. 47 – 49.

16. Hrytsun O. Evaluation of Pedestrian Motion Safety on Regulated Crossroads. / O. Hrytsun // VI Mizhnarodnyi molodizhnyi naukovyi forum “Litteris et Artibus” / Materialy. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky. – Lviv, 2016. – 1 elektron. opt. dysk (CD-ROM). – S. 356 – 357

17. Hrytsun O. M. Analiz zakonimirnostei formuvannia transportnykh ta pishokhidnykh potokiv na perekhrestiakh v odnomu rivni / O. M. Hrytsun / Problemy rozvytku transportu i lohistyky: Zbirnyk naukovykh prats za materialamy VII-yi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. – Odesa, 2017. – S. 17 – 19.

18. Hrytsun O. M. Chynnyky, yaki vplyvaiut na propusknu zdattist vulychno-dorozhnoi merezhi / O. M. Hrytsun / XXIV mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh «Aktualni problemy zhyttiediiialnosti suspilstva. – Kremenchuk, 2017. – S. 114 – 115.

19. Hrytsun O. M. Doslidzhennia efektyvnosti roboty system koordynovanoho rehuliuвання / O. M. Hrytsun // Zbirnyk tez dopovidei NU «Lvivska politekhnika». – Lviv, 2014 – S. 131 – 133.

20. Hrytsun O. M. Doslidzhennia myttievkykh shvydkostei rukhu na mahistralnykh diliankakh VDM / O. M. Hrytsun / LXXI naukova konferentsiia profesorsko-vykladatskoho skladu, aspirantiv, studentiv ta spivrobotnykiv vidokremlyenykh strukturykh pidrozdiliv universytetu. – K: NTU, 2015. – S. 534.

21. Hrytsun O. M. Keruvannia vvimknenniam zelenykh syhnaliv na koordynovanykh rehulovanykh perekhrestiakh / Ye. Yu. Fornalchyk, O. M. Hrytsun / Vseukrainska naukovo-teoretychna konferentsiia «Problemy z transportnymy potokamy i napriamy yikh rozviazannia». – Lviv, 2015. – S. 24 – 26.

22. Hrytsun O. M. Minimizatsiia zatrymok transportu na koordynovanykh rehulovanykh perekhrestiakh / O. M. Hrytsun / Dvanadtsiatyi mizhnarodnyi sympozium ukrainskykh inzheneriv-mekhanikov u Lvovi: Tezy dopovidei KINPATRI LTD. – Lviv, 2015. – S. 138 – 139.

23. Hrytsun O. M. Otsinka bezpeky rukhu pishokhodiv na rehulovanykh perekhrestiakh / O. M. Hrytsun, Yu. Yu. Chekh // Modernizatsiia ta suchasni tekhnolohii transportnoho budivnytstva: Materialy I Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi onlain-konferentsii. – Lviv, 2016. – S. 109 – 112.

24. Hrytsun O. M. Vzaiemodiia zustrichnykh pishokhidnykh potokiv na rehulovanykh perekhodakh / O. M. Hrytsun / II Vseukrainska naukovo-teoretychna konferentsiia «Problemy z transportnymy potokamy i napriamy yikh rozviazannia». – Lviv, 2017. – S. 58 – 60.

25. Hrytsun O. Impact Of Unregulated Pedestrian Crossings On Road Network Capacity. / O. Hrytsun, V. Davosyr // VII Mizhnarodnyi molodizhnyi naukovyi forum “Litteris et Artibus” // Materialy. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky. – Lviv, 2017. – 1 elektron. opt. dysk (CD-ROM).– S. 277 – 278.

26. Hrytsun O. M. Analiz transportnykh zatrymok na rehulovanykh perekhrestiakh z vykorystanniam imitatsiinoho modeliuвання / O. M. Hrytsun, V. A. Davosyr / Tretia vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia «Avtobusobuduvannia ta pasazhyrski perevezennia v Ukraini: Tezy dopovidei. – Lviv, 2018. – S. 195 – 196.

27. Hrytsun O. M. Planuvalni ta rehuliatorni chynnyky, yaki zumovliuiut zatrymky rukhu / O. M. Hrytsun / Problemy orhanizatsii aviatsiinykh perevezen i zastosuvannia aviatsii v haluziakh ekonomiky: Materialy V Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – m. Kyiv, 24 lystopada 2017 roku: zbirnyk

naukovykh prats / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Natsionalnyi aviatsiinyi universytet. – K.: NAU, 2017. – S. 162 – 166.

28. Hrytsun O. M. Vzaiemozviazok osnovnykh pokaznykiv pishokhidnykh potokiv/ O. M. Hrytsun, S. A. Maksymiuk / Avtomobilnyi transport ta infrastruktura: I Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia, m. Kyiv, Ukraina, 26–28 kvitnia 2018 roku: tezy konferentsii. – Kyiv, 2018. – S. 104 – 106.

29. Hrytsun O. M. Analiz povedinky pishokhodiv ta chynnykiv avariinosti z nymy / O. M. Hrytsun, S. M. Serediuk / Transportni systemy ta tekhnolohii : problemy ta perspektyvy rozvytku. Tezy dopovidei Rehionalnoi naukovo-praktychnoi konferentsii sered studentiv, vykladachiv, naukovtsiv, molodykh uchenykh, aspirantiv i uchniv 12 kvitnia 2018 roku. – Zaporizhzhia, 2018. – S. 29 – 31.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	18
ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА СТАНУ НАУКОВОЇ ДУМКИ ЩОДО СИСТЕМ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	25
1.1. Аналіз ефективності обслуговування транспортних і пішохідних потоків в умовах світлофорного регулювання	47
1.2. Оцінка критеріїв застосування різних режимів регулювання.....	25
1.3. Вплив планувальних особливостей ВДМ на можливості застосування примусового регулювання.....	33
1.4. Роль людського чинника під час забезпечення безпеки за різних режимів регулювання	37
1.5. Проблематика взаємодії транспортних та пішохідних потоків за різних методів світлофорного регулювання	43
1.6. Висновки до розділу	45
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РЕГУЛЮВАННЯ.....	46
2.1. Обґрунтування напрямку досліджень.....	46
2.2. Методи визначення раціональних режимів регулювання	60
2.3. Формування теоретичної моделі для дослідження затримок за різних режимів регулювання	104
2.4. Висновки до розділу	77
РОЗДІЛ 3. ЗМІНА ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ І ПІШОХІДНИХ ПОТОКІВ.....	79
3.1. Методика експериментального визначення закономірностей зміни часу терпеливого очікування пішохода за різних режимів регулювання та параметрів проїзної частини.....	79

	17
3.2. Методика експериментального дослідження затримок у транспортних потоках залежно від параметрів регулювання	88
3.3. Методика виконання теоретичних досліджень з використанням моделювання в середовищі PTV VISSIM.....	100
3.4. Висновки до розділу	103
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РЕГУЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПОВЕДІНКИ ПІШОХОДА	104
4.1. Результати дослідження зміни часу терпеливого очікування пішоходів залежно від інтенсивності руху та довжини переходу	104
4.2. Визначення раціональних параметрів регулювання	113
4.3. Вибір раціональних режимів світлофорного регулювання з урахуванням поведінки пішохода	119
4.4. Висновки до розділу	128
ВИСНОВКИ.....	131
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	133
ДОДАТКИ.....	144
Додаток А... Результати дослідження поведінки пішоходів.....	144
Додаток Б.. Результати вимірювання транспортної затримки.....	149
Додаток В.. Результати дослідів під час моделювання.....	154
Додаток Г1. Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи у Львівському комунальному підприємстві «Львівавтодор».....	159
Додаток Г2. Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи у Державному інституті проектування міст «Містопроект».....	160
Додаток Г3. Акт про використання результатів дисертаційної роботи у навчальному процесі кафедри «Транспортні технології»	159
Додаток Д.... Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	162

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВДМ – вулично-дорожня мережа;
ОДР – організація дорожнього руху;
ТЗ – транспортний засіб;
ТП – транспортний потік;
ПЧ – проїзна частина;
СФР – світлофорне регулювання;
СФЦ – світлофорний цикл;
ПП – пішохідний потік;
ПЗ – пропускна здатність;
БДР – безпека дорожнього руху;
АСУДР – автоматизована система управління дорожнім рухом;
ТПП – транспортні та пішохідні потоки;
УДР – учасники дорожнього руху;
РП – регульоване перехрестя;

$T_{\text{ц}}$ – тривалість світлофорного циклу, с;

d – транспортна затримка, с/авт;

$d_{\text{піш.}}$ – пішохідна затримка, с/піш.;

N_T – зведена інтенсивність руху транспортних засобів, зв.од./год;

x – ступінь насичення напрямку руху;

$t_{\text{з}}$ – тривалість заборонного сигналу світлофора для транспортного потоку, с;

$t_{\text{зел.піш.}}$ – тривалість дозвільного сигналу світлофора для пішохідного потоку, с;

$t_{\text{ж}}$ – тривалість проміжного такту, с;

t_3 – тривалість дозвільного такту для транспортного потоку, с;

- M_{nij} – потік насичення i -ої смуги під час фази регулювання, зв.од./год;
- T_n – сума проміжних тактів, с;
- y_i – фазовий коефіцієнт в i -ій фазі регулювання;
- $B_{пч}$ – ширина проїзної частини, м;
- $V_{п}$ – швидкість руху пішоходів, м/с;
- $N_{п}$ – інтенсивність пішохідного потоку, чол./год;
- $B_{пш}$ – ширина пішохідного переходу, м;
- N_{ϕ} – фактична інтенсивність руху транспортних засобів, авт./год;
- $t_{\Delta p}$ – середня затримка одного транспортного засобу, с;
- t_e – ефективна тривалість фази регулювання, с;
- N_{dil} – зведена інтенсивність руху транспортних засобів на ділянці перед перехрестям, зв.од./с;
- $t_{оч}$ – час терпеливого очікування пішохода на дозвільний сигнал світлофора, с;
- N_{T1}, N_{T2} – інтенсивність руху транспортних засобів на конфліктуючих напрямках, зв.од./год.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. 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 дослідження. 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 ДПМ «Містопроект» 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. Автором опубліковано особисто та у співавторстві 7 наукових статей у фахових виданнях України та 1 стаття у виданні, яке входить до наукометричної бази Index Copernicus, 3 статті в

інших виданнях, а також 18 тез доповідей на Всеукраїнських та міжнародних конференціях. Автору належать усі наукові результати, що виносяться на захист. У працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: визначено чинники, які впливають на поведінку пішоходів в умовах ризику під час світлофорного регулювання [40]; проаналізовано чинники, які впливають на транспортну затримку на підходах до регульованих пішохідних переходів [22]; запропоновано методика до визначення максимальної довжини черги транспортних засобів перед стоп-лінією; визначено оптимальний режим регулювання, за якого спостерігається мінімальна транспортна затримка [89].

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 напрямки їх розв'язання» (м. Львів, НУ «ЛП», 2015 р.); Дванадцятому міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові «Тези доповідей» (м. Львів, КІНПАТРІ ЛТД, 2015 р.); Науково-Практичній конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» (м. Северодонецьк, 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 напрямки 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 і 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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА СТАНУ НАУКОВОЇ ДУМКИ ЩОДО
СИСТЕМ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

1.1. Оцінка критеріїв застосування різних режимів регулювання

Накопичення черг транспортних засобів (ТЗ) на стоп-лініях перед регульованими пішохідними переходами на ділянках вулиць між регульованими перехрестями (РП) залежить від великої кількості чинників: дорожньо-планувальних (рельєфу місцевості, кількості та ширини смуг руху, наявності кривих у плані та профілі, міської забудови тощо), транспортних (інтенсивності та швидкості руху, складу транспортного потоку (ТП) тощо), навколишнього середовища, регуляторних (тривалості дозвільного сигналу світлофора, наявності (або відсутності) зон стоянки тощо), психофізіологічних особливостей водіїв. Ці чинники істотно впливають на коливання пропускну здатності (ПЗ) протягом доби, місяця, сезону та року [13, 20, 25, 28, 41, 51].

Проблему ефективності організації транспортних та пішохідних потоків на регульованих перехрестях досліджували низка вітчизняних та закордонних вчених, зокрема з містобудівних питань (Лобанов Е. М. [44], Фішельсон М. С. [66], Безлюбченко О. С. [4], Черепанов В. А. [69], Шештокас В. В. [72]), питань організації дорожнього руху (Лобашов О. О. [46], Бабков В. Ф. [3], Буга П. Г. [7], Врубель Ю. А. [13–15], Живоглядов В. Г. [28], Іносе Х. [29], Клеббельсберг Д. [34], Клінковштейн Г. И. [35, 36], Кременец Ю. А. [38, 39], Поліщук В. П. [51, 56]), питань моделювання транспортних та пішохідних потоків (Левашов А. Г. [41], Капітанова В. Т. [31], Печерській М. П. [54], Кісляков В. М. [33], Андронов Р. В. [2], Гаваєв А. С. [17]). Велике значення у цих дослідженнях мають роботи закордонних дослідників – Вебстера Ф. [96–98], Іносе Х. [29],

Дрю Д. [25], Бренстона Д. [76, 77], Брауна Р. [78], Петрі Р. [87, 88], Віклера М. [94, 95], Теплі С. [91] та інші.

Вся сукупність технічних засобів, форм організації та методів управління дорожнім рухом має бути єдиною системою, спрямованою на вирішення загальної задачі – забезпечення зручності і безпеки учасників дорожнього руху (УДР) [20, 35, 43, 51, 72].

У нормативних документах [26] світлофорного регулювання (СФР) недоцільно застосовувати на вулицях нижчих категорій, ніж на швидкісних дорогах або магістральних вулицях регульованого руху. Для регулювання ТП обґрунтування введення примусового світлофорного регулювання чітко регламентується у [26], а щодо пішохідних потоків (ПП), то є така умова: якщо інтенсивність ТП становить більше 600 авт./год, а для вулиць з розділовою смугою більше 1000 авт./год – за кількості пішоходів на переході більше 150 чел./год або високої аварійності на переході (3 ДТП і більше за участю пішоходів у рік) необхідне будівництво позавуличного переходу. У випадку, коли інтенсивність ТП збільшується і досягає значень, наведених у [26], організація руху на перехресті в одному рівні стає можливою лише за використання світлофорного регулювання (рис 1.1) [41, 81].

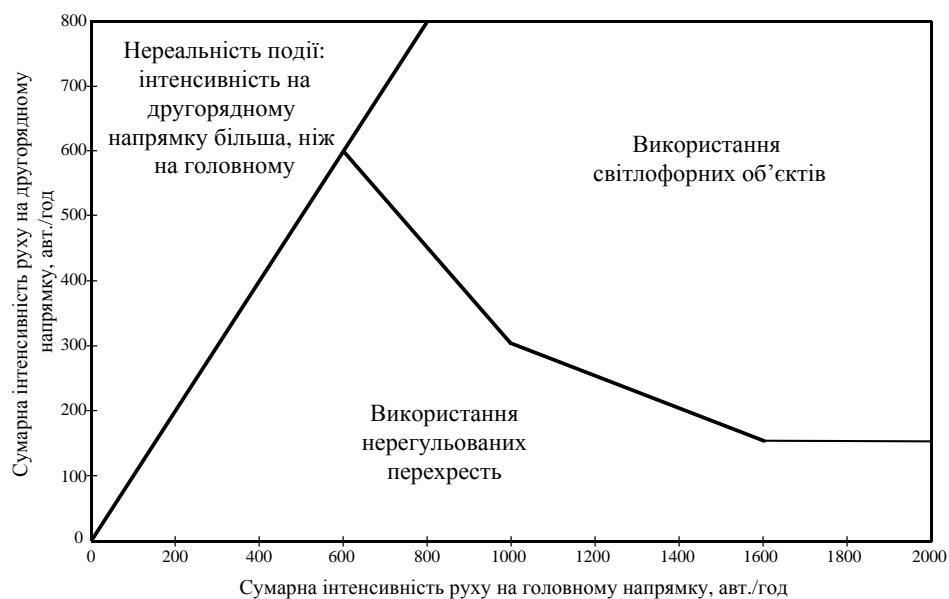


Рис. 1.1. Умови застосування різних способів регулювання на перехрестях [41, 81]

У роботах [28, 32] рекомендують вводити СФР, якщо інтенсивність ТП на однорядних напрямках є не меншою за 250 – 375 зв.од./год та 75 – 150 зв.од./год відповідно на головному і другорядному підходах до перехресть, та не меншою за 300 – 450 зв.од./год і 100 – 200 зв.од./год для вулиць з дворядним рухом в одному напрямку. Також є автори [30, 51], які вважають, що необхідно не менше 350 – 450 зв.од./год в одному напрямку за інтенсивності пішоходів більше 150 чел./год на кожному переході для всіх перелічених вище випадків з трьома (чотирма) під'їздами до перехрестя. За меншої кількості підходів світлофорний цикл (СФЦ) доцільно вводити при інтенсивності руху 250 – 375 зв.од./год на кожному підході головного напрямку і 75 – 150 зв.од./год другорядного напрямку. Рекомендації, які діють у США [81], пропонують, крім інтенсивності ТП, враховувати ще й повторюваність ДТП (3 – 4 рази на рік), яких могло б не трапитися за наявності СФР (у національних стандартах – не менше 3 ДТП).

Науковцями [92] пропонувалося вводити СФР за сумарної інтенсивності конфлікуючих ТП не менше 750 зв.од./год, і в той же час [91] вказувалося на необхідність порівняльного розрахунку ПЗ вулиці (дороги) під час регулювання та за його відсутності, а також аналізу нещасних випадків і подальшої експериментальної перевірки.

Водночас твердження російських дослідників часто різні. Вони пропонують вводити СФР за сумарної інтенсивності руху ТП в усіх напрямках від 800 до 3000 зв.од./год. Так, В. А. Черепанов [69] пропонує вводити СФР з інтенсивністю руху ТП на кожному напрямку більше 500 – 600 зв.од./год. М. С. Фішельсон [66] під час оцінки критеріїв застосування режиму регулювання враховує умову безпечного переходу пішоходами проїзної частини (ПЧ) та рекомендує вводити СФР за інтенсивності руху 100 – 250 зв.од./год на кожному смугу.

В. Г. Сосянц, Д. С. Самойлов, В. А. Юдін [62] вважають, що вводити СФР необхідно за інтенсивності руху понад 800 зв.од./год в усіх напрямках або виходячи з умов забезпечення безпеки руху ПП, інтенсивність яких

становить не менее 300 чел./год протягом 8 годин, при цьому інтенсивність руху ТЗ має становити не менше 600 зв.од./год.

В. А. Владіміров [11, 12] підставою для застосування світлофорної сигналізації вважає забезпечення безпечних умов для переходу пішоходів, а також мінімізацію затримок ТЗ перед перехрестями (рис. 1.2). Рекомендації В. А. Владімірова і Д. С. Самойлова щодо безпечного переходу пішоходами через ПЧ збігаються, але вони мають широкий діапазон розкиду у порівнянні із рекомендаціями М. С. Фішельсона. Так, для прикладу, при ширині ПЧ 12 м критична інтенсивність руху ТЗ, за даними В. А. Владімірова, дорівнює 400 зв.од./год, а за М. С. Фішельсоном – 220 зв.од./год.



Рис. 1.2. Доцільність застосування світлофорної сигналізації за умови забезпечення безпечного переходу пішоходами ПЧ та мінімальної затримки ТЗ: 1 – за даними В. А. Владімірова; 2 – за даними М. С. Фішельсона

Під час розгляду питання визначення тривалості циклу СФР необхідно обрати відповідний критерій світлофорного регулювання, який визначає його ефективність [39, 41, 51, 81, 92]. Швидкий розрахунок світлофорних параметрів дозволяє визначити тривалість транспортної затримки, час проїзду перехресть, кількість зупинок ТЗ, середню швидкість, довжину

черги, ПЗ, ефективність використання вулично-дорожньої мережі (ВДМ) тощо.

Існуючі методи визначення тривалості СФЦ ґрунтуються лише на основі оцінки транспортних затримок або довжини черги ТЗ, що утворилася перед стоп-лінією (основні затримки) [8, 30, 39, 41, 54, 81, 92].

Якщо звернутися до зарубіжного досвіду, то, мабуть, необхідно почати з роботи американських учених Т. М. Метсона та У. С. Сміта [47], які запропонували формулу визначення тривалості циклу, виходячи із критерію затримки:

$$T_{\text{ц}} = \frac{3600 \sum_{k=1}^i K_k}{3600 - \sum_{k=1}^i (N_{T1} + N_{T2}) D_k}, \quad (1.1)$$

де K_k – додаткова транспортна затримка кожного ТЗ в черзі, с/авт.;

i – кількість фаз у циклі регулювання,

N_{T1}, N_{T2} – інтенсивність руху ТЗ на конфліктуючих напрямках, зв.од./год.

Ця формула на практиці не знайшла застосування, оскільки в ній не беруться до уваги початкові параметри руху на перехресті, а величина K_k характеризує величину додаткових затримок без урахування основних [47]. Такі чинники, як геометричні розміри перехрестя, конфліктуючі потоки і ряд інших, авторами не враховано.

Англійським фахівцем Ф. В. Вебстером [96 – 98] запропонований метод розрахунку тривалості СФЦ, який ґрунтується на мінімізації транспортних затримок та враховує випадкове прибуття ТЗ до стоп-лінії:

$$T_u = \frac{1,5 \cdot T_n + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}, \quad (1.2)$$

де T_n – сума проміжних тактів, с;

y_i – фазовий коефіцієнт в i -ій фазі регулювання (максимальне із співвідношень інтенсивності руху ТЗ за досліджуваний період до потоку насичення в певному напрямку i -ої фази регулювання);

n – кількість фаз у циклі регулювання.

Іншими англійськими фахівцями [81] на базі фазового коефіцієнта розроблено метод визначення тривалості СФЦ:

$$T_u = \frac{T_n + 2\sqrt{IT_n/M_n}}{1 - (y_i / \pi)}, \quad (1.3)$$

де I – відношення середнього квадратичного відхилення кількості автомобілів, які прибувають до перехрестя за цикл регулювання (σ) до середньої кількості цих автомобілів ($\lambda_{сер}$), $I = \sigma / \lambda_{сер}$.

Пропонований метод під час розрахунку тривалості СФЦ неприйнятний на практиці, оскільки ефективно працює лише за невисокої інтенсивності руху ТЗ (до 600 зв.од./год).

У працях російських авторів Л. В. Гуревича [23], М. С. Фішельсона [67], В. А. Владімірова [10, 12] наводиться формула визначення тривалості циклу, яка ґрунтується на тривалості роз'їзду черги ТЗ, що утворилася перед стоп-лінією:

$$T_u = \frac{2(t_p + t_{жс} - q)}{1 - q(N_{T1} + N_{T2})}, \quad (1.4)$$

3600

де t_p – час реакції водія, с;

$t_{жс}$ – тривалість проміжного такту, с;

q – інтервал між ТЗ, які проїжджають через перехрестя, с.

Цикли світлофора, отримані за цією формулою, забезпечують пропуск ТП, але, при цьому, зелені такти в більшості випадків використовуються неефективно. Пропуск ненасичених потоків знижує ПЗ перехрестя за цикл регулювання, а також збільшує затримки перед стоп-лінією [12, 28, 67]. Наведена у працях В. А. Владімірова і М. С. Фішельсона емпірична лінійна залежність визначення тривалості СФЦ не враховує геометричних параметрів перехрестя, умов руху та склад ТП.

Т. В. Москальова [50] виражає тривалість СФЦ через так званий коефіцієнт корисної дії циклу h відповідно для дво- і трифазного регулювання:

$$T_{ц} = \frac{2t_{жс}}{1-h}; \quad T_{ц} = \frac{3t_{жс}}{1-h} \quad (1.5)$$

$$h = \frac{T_{ц} - 2t_{жс}}{T_{ц}} \quad (1.6)$$

Тут у розрахунках рекомендується приймати $h = 0,90 - 0,92$. Водночас не враховуються інтервали між ввімкненням зеленого сигналу і початком руху з місця першого автомобіля черги [50].

Основними обмеженнями під час розрахунку режиму СФР є мінімальна і максимальна допустима тривалість циклу регулювання, мінімальна тривалість зеленого сигналу для ТП та максимальна тривалість червоного сигналу для ПП [9, 15, 24, 30, 39, 41, 51, 68, 81]. Так, наприклад, для випадку, коли на всіх підходах до перехрестя є не більше двох смуг руху, рекомендується максимальне значення циклу приймати рівним 90 с; для випадку великого перехрестя цей параметр може досягати 120 с [15, 41].

Багато дослідників емпіричним шляхом встановлюють значення часових меж тривалості СФЦ. Так, Ю. А. Врубель [15] стверджує, що тривалість циклу для двофазного регулювання має становити не менше 70 с; для трифазного – не менше 90 с; для чотирифазного – не менше 110 с.

В. Г. Боцманов [6] на основі матеріалів моделювання запропонував верхні і нижні межі екстремального СФЦ зеленої фази 76 і 35 с відповідно. За інтенсивності руху по одній ПЧ більше 1000 зв.од./год бажаним є, на його думку, поділ ТП в просторі, оскільки світлофорне регулювання є неефективним.

Обмеження, яке накладається на значення мінімальної тривалості СФЦ (у рекомендаціях не менше 25 с), пояснюється тим, що за короткої тривалості циклу у ТП спостерігається невисока ПЗ, збільшуються затримки та великі витрати палива [39].

Мінімальний час, який необхідний пішоходу для переходу через ПЧ, розраховують за формулою [9, 15, 25, 28–31, 39, 41, 43, 51, 54, 55, 57, 58, 65, 68, 70, 72, 81]:

$$t_{nu} = \frac{B_{ПЧ}}{V_{П}} + 5, \quad (1.7)$$

де $B_{ПЧ}$ – ширина ПЧ, м;

$V_{П}$ – швидкість руху пішоходів, м/с;

Час, необхідний для перетину ПЧ групою пішоходів, В. Е. Трушевський [65] визначає за формулою:

$$t_{nu} = \frac{B_{ПЧ}}{V_{П}} + t_{zn} + \frac{l_{nu}(n-1)}{V_{П}} + 5, \quad (1.8)$$

де t_{zn} – час реакції і затримки першого ряду пішоходів, с;

l_{nu} – дистанція між рядами пішоходів, м;

n – кількість рядів пішоходів.

Його дослідження ґрунтуються на визначенні числа пішоходів у групі та кількості рядів пішоходів на переході [63, 64].

Доведено, що інтенсивність руху ТЗ і пішоходів змінюється не лише протягом дня, години, але і в більш короткі інтервали часу [9, 15, 25, 30, 51, 54, 55, 68, 72]. Не врахування цього чинника спричиняє виникнення затримок в русі (коли тривалість циклу менше оптимальної) або до невиправданих затримок (тривалість циклу більше оптимальної величини). Розуміючи умовність цих обмежень, все ж рекомендується їх дотримання в тій або іншій мірі, оскільки вони містять раціональне обґрунтування з точки зору затримок транспорту та пішоходів [25, 28, 29, 31, 65, 72].

1.2. Вплив планувальних особливостей ВДМ на можливості застосування примусового регулювання

Важливим напрямком розв'язання транспортних проблем має стати формування ВДМ міст із збільшеною ПЗ, покращення та забезпечення умов для руху громадського транспорту (виділення окремих смуг та забезпечення пріоритетного пропуску) [4, 31, 43, 48, 49]. Очевидно, що врахувати ці чинники одночасно дуже важко, особливо для міст з ВДМ, яка сформувалася історично. Частково розв'язати цю проблему можна шляхом виявлення закономірностей впливу інтенсивності транспортних і пішохідних потоків на величину ПЗ в зонах розміщення перехресть, пішохідних переходів, зупинок громадського транспорту тощо. Наявність таких методів дозволить науково обґрунтувати області ефективного застосування пішохідних переходів і, тим самим, підвищити якість організації дорожнього руху (ОДР) [45].

Дорожня поведінка пішоходів, які переходять ПЧ, дуже часто є недостатньо прогнозованою, оскільки пішоходи керуються прагненням до мети (перетинають ПЧ за найкоротшою відстанню до об'єктів тяжіння, які

його цікавлять). Недотримання пішоходами встановлених правил перетину ПЧ пояснюється не лише недостатньою їх дисциплінованістю, але і помилками у виборі місць розміщення регульованих пішохідних переходів [7, 21, 71].

Розміщення пішохідних переходів визначається комплексом містобудівних вимог, таких, як: характер забудови і її розміщення відносно магістральних та районних вулиць регульованого руху, схеми розміщення вулиць на ВДМ у системі міста, схеми руху громадського пасажирського транспорту тощо [7, 31, 49]. Крім містобудівних вимог, на розміщення пішохідних переходів також впливають економічні чинники, які враховують витрати на впровадження світлофорної сигналізації, втрати часу пішоходами під час руху з одного пункту в інший із необхідністю перетинати регульовані пішохідні переходи, затримки транспортних засобів і пішоходів в зонах їх контактів [1, 7, 13, 29, 34]. Всі ці показники зводяться до одної залежності – частоти розташування регульованих пішохідних переходів із урахуванням відстані між ними.

За частотою розміщення РП та регульованих пішохідних переходів рух ТП відбувається групами, інтервали між якими наближаються до максимального значення. Особливе значення це має на магістральних вулицях, де час, який необхідний пішоходу для переходу ПЧ, різко зростає, що спричиняє таке ж збільшення затримки ТП, яке, у свою чергу, зменшує ПЗ. Орієнтовно відстань між пішохідними переходами рекомендується приймати не менше: для магістральних вулиць загальноміського значення – 300 м, районного значення – 250 м і для вулиць місцевого руху – 150 – 200 м [7, 14, 43, 49, 71].

Не менш важливим чинником, який впливає на проектування регульованих переходів, є кількість пішоходів та щільність ПП, тобто кількість пішоходів на одиницю площі пішохідного переходу [24, 51, 60]. Для забезпечення найкращих умов руху пішоходів, які перетинають ПЧ, ширину пішохідного переходу визначають із урахуванням інтенсивності

пішохідного руху з розрахунку 1 м на кожних 500 пішоходів за годину. При цьому ширина переходу має бути не менше ніж 4 м [5, 56].

Під час визначення необхідної площі тротуару перед пішохідним переходом також необхідно враховувати умови комфортності, тобто показник щільності [7, 28, 74].

У працях П. Г. Буги [7] та Ю. А. Врубеля [15] залежно від щільності пішохідного потоку запропоновано різні класифікації умов руху (рис. 1.3).

Незважаючи на різноманітність чинників у пішохідному русі, отримання надійних статистичних даних і їх наступне опрацювання за одночасного врахування основних положень, що визначають рух пішоходів, дозволяє визначити характерні особливості ПП на тротуарах та пішохідних переходах [7].

За результатами досліджень, які проводились раніше, можна стверджувати, що нормативні підходи щодо облаштування пішохідних переходів, проектування режимів примусового регулювання руху на них мають бути відмінними для різних функціональних зон міста. Визначаються ці відмінності найперше поведінкою пішоходів, яка залежить від психофізіологічних особливостей пішоходів та мети переміщення.

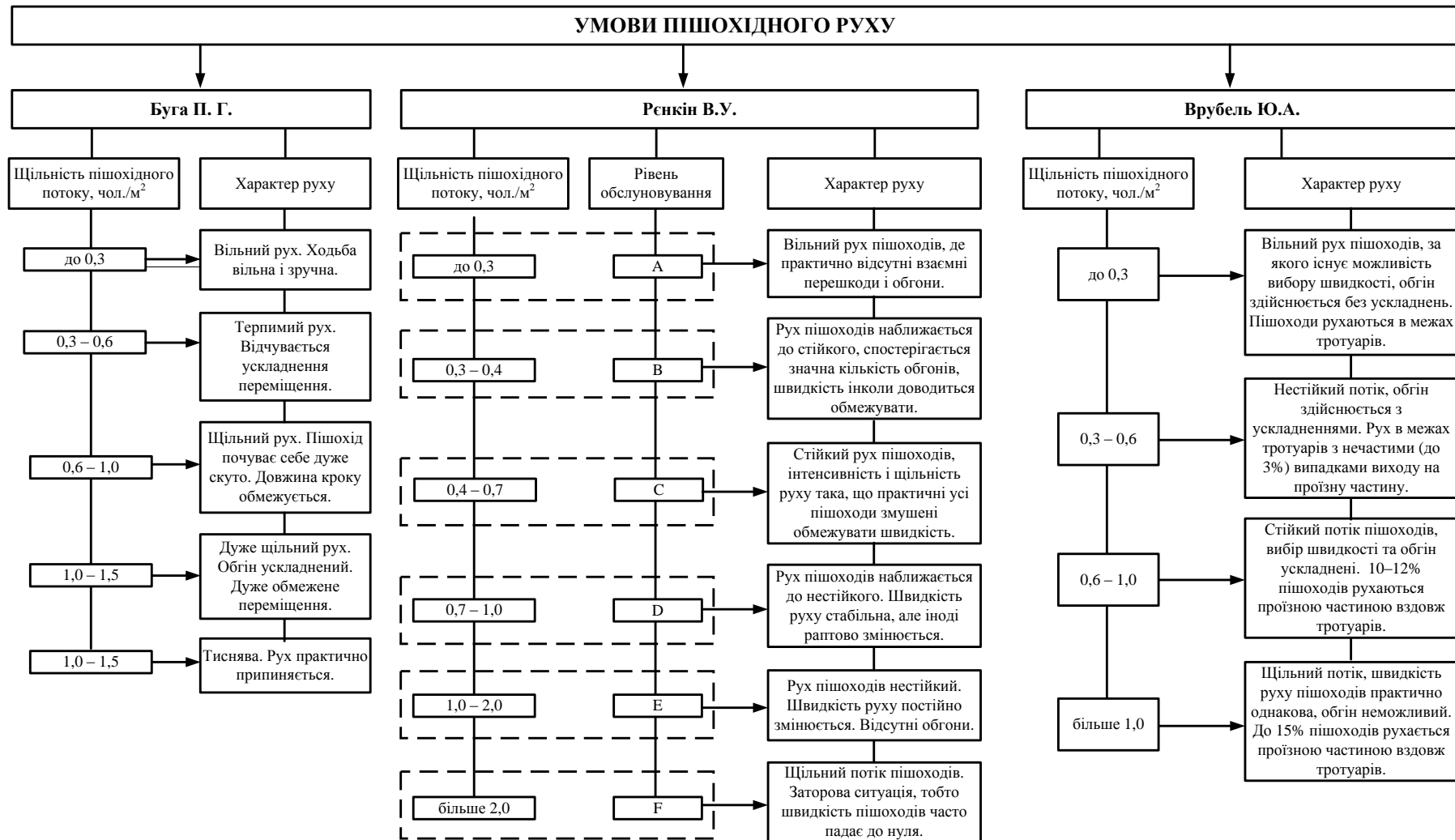


Рис. 1.3. Класифікація умов руху ПП залежно від його щільності

1.3. Роль людського чинника під час забезпечення безпеки за різних режимів регулювання

Кількість ДТП за участі пішоходів з кожним роком зростає, причому досить часто винними є самі пішоходи. Це відбувається головним чином через зростання рівня автомобілізації, збільшення кількості регульованих пішохідних переходів, а також у результаті проведення спеціальних заходів (мітинги, акції протесту, масові святкування тощо). Однак проблема забезпечення зручності і безпеки руху пішоходів є однією із найбільш вагомих і, разом з тим, недостатньо розроблених розділів організації руху на даний час. Складність цього завдання, зокрема, обумовлена тим, що поведінка пішоходів важче піддається регламентації, ніж поведінка водіїв, а в розрахунках режимів регулювання важко врахувати психофізіологічні чинники з усіма відхиленнями, властивими окремим групам пішоходів [17, 21].

Виявлено, що в середньому близько 20% пішоходів порушують ПДР, здійснюючи перехід ПЧ на заборонний сигнал світлофора, тобто в умовах ризику. Тому необхідно навести визначення різних термінів, які застосовуються під час опису ризику, як стадії дії в поведінці пішохода. На цей час відомо такі [7, 17, 21, 34]:

- ризик, як умова поведінки пішоходів. Під цим розуміють певні внутрішньо-індивідуальні чинники небезпеки (темперамент пішоходів, особистісні чинники, незнання місцевості);
- ризик, як готовність до поведінки. Переважають випадки, які пов'язані з небезпекою та мають значний вплив на поведінку пішоходів (емоційно-вольова реакція, увага, відчуття, втома);
- ризик, як наслідок поведінки. Суб'єктивно-негативний ефект індивідуальної поведінки в умовах ризику, наприклад, у вигляді втрат або матеріального збитку (поспіх, агресивність).

Поведінка пішоходів все ще залишається найнебезпечнішим видом дорожньої поведінки, оскільки кожний із них виступає у ролі беззахисного пішохода. Безпека руху на регульованих переходах залежить від дисциплінованості пішоходів. За тривалого очікування дозвільного сигналу імовірність скупчення групи пішоходів збільшується. Пішохід, опинившись у такій ситуації, спочатку сприймає навколишнє середовище таким, яким воно є, звикає до нього, а потім вже ставить перед собою певні цілі і формує інтереси. Наступним етапом прийняття рішення є те, що пішохід починає рухатися у потрібному напрямку, що спричиняє перехід ПЧ з підвищеним ризиком на заборонний сигнал світлофора [7, 17, 34].

Дослідники П. Г. Буга та Ю. Д. Шелков стверджують, що критичний час очікування (час терпеливого очікування) залежить від ряду суб'єктивних чинників: фізичного і психофізіологічного стану пішохода, цільового призначення і терміновості його пересування, адаптації пішохода до умов руху, часу доби, року, інтенсивності ТП, довжини пішохідного переходу тощо. Для середніх умов розподіл часу терпеливого очікування показано на рис. 1.4 [7].

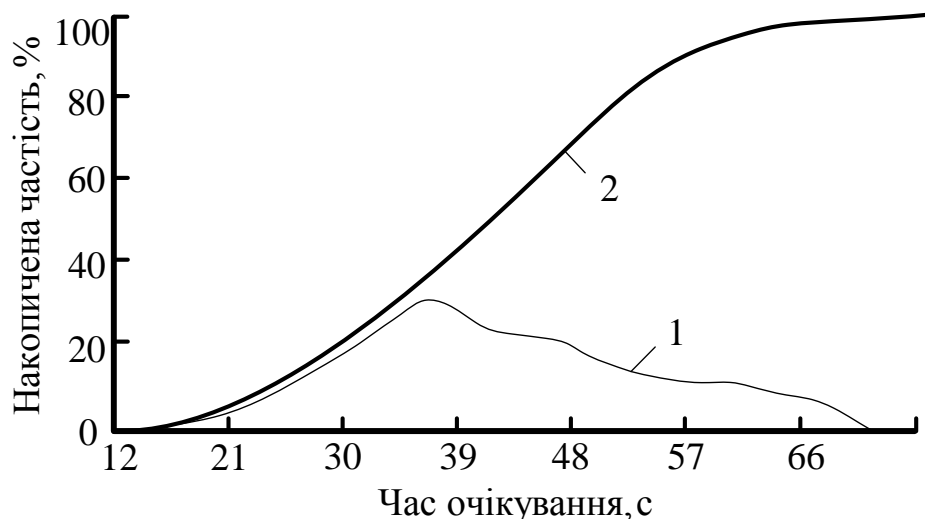


Рис. 1.4. Розподіл часу терпеливого очікування можливості перейти ПЧ
1 – функція щільності розподілу; 2 – інтегральна функція розподілу

Досвід експлуатації регульованих пішохідних переходів показує, що в якості розрахункового значення часу терпеливого очікування може бути прийнятий інтервал 30 – 90 с [7, 15, 17, 34]. За такої тривалості заборонного сигналу порушників у складі ПП буває не більше 15%.

Число порушників збільшується зі зростанням тривалості заборонного сигналу світлофора і зменшенням інтенсивності ТП (рис. 1.5).

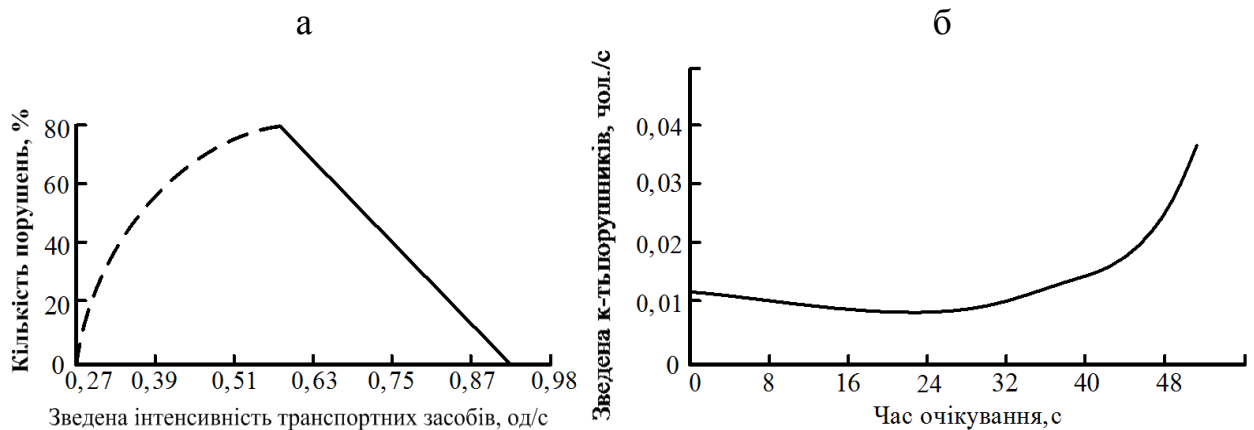


Рис. 1.5. Кількість порушень пішоходами вимог світлофора залежно від: а – інтенсивності руху; б – тривалості заборонного сигналу [7]

За результатами такого дослідження можна визначити частку осіб, які практично за будь-яких умов переходять ПЧ, незважаючи на сигнали світлофора. Це важлива інформація для обґрунтування облаштування різних обмежуючих пристроїв під час проектування пішохідних переходів в одному рівні [17, 21].

Час, за який пішохід переходить ПЧ, в основному залежить від довжини пішохідного переходу та швидкості руху. Однак при збільшенні щільності ПП тривалість переходу ПЧ збільшується за рахунок взаємодії конфліктуючих пішохідних потоків. Багато методик розроблено для дослідження швидкості руху пішоходів у межах наземних переходів, проте більшість з них не враховували вплив зустрічного ПП [40].

Існуючі методології оцінки часу перетину ПЧ ґрунтуються на припущеннях, які передбачають затримку пішоходів і перехід з певною

швидкістю руху. Спробу врахувати зміну швидкості руху ПП у зоні РП наведено у роботі [74], де запропоновано формулу для оцінки загального часу перетину пішохідним потоком регульованого переходу:

$$T = d_{пш} + \frac{B_{ПЧ}}{V_{П}} + t_{з.оч.} \cdot \frac{N_{П}}{B_{пш}}, \quad (1.9)$$

де T – загальний час, необхідний пішохідному потоку для переходу через ПЧ, с;

$t_{з.оч.}$ – час, необхідний для пішохідного потоку, щоб перейти від зони очікування до початку переходу, с/піш./м;

$N_{П}$ – інтенсивність ПП, чол./год;

$B_{пш}$ – ширина пішохідного переходу, м.

Незважаючи на те, що модель (1.9) має ряд переваг, які дають можливість дослідити вплив зміни режимів руху залежно від геометричних розмірів пішохідних переходів на РП, немає жодних згадок про оптимізацію геометрії цих переходів з метою мінімізації пішохідних затримок з урахуванням швидкості руху пішохідних потоків у різних функціональних зонах міста.

Розглянемо докладніше графічні залежності зміни швидкості руху пішоходів під час переходу через ПЧ на регульованих пішохідних переходах, запропоновані П. Г. Бугою та Ю. Д. Шелковим. Вони у роботах [7, 71] провели дослідження на ділянках ВДМ, під час яких визначали такі показники: довжина пішохідних переходів (ширина вулиці), тривалість СФЦ, а також його складові (час заборонного та дозвільного сигналів), швидкість руху пішоходів, які пройшли на дозвільний та заборонний сигнали світлофора, час переходу пішоходами ПЧ в умовах конфліктуючої інтенсивності ПП.

Аналіз руху пішоходів показує наявність значної зміни швидкості за довжиною переходу (рис. 1.6), причому коливання швидкості проявляються у більшій мірі на переходах через ПЧ з двостороннім транспортним рухом та у пішоходів, які не орієнтуються на сигнали світлофора [7].

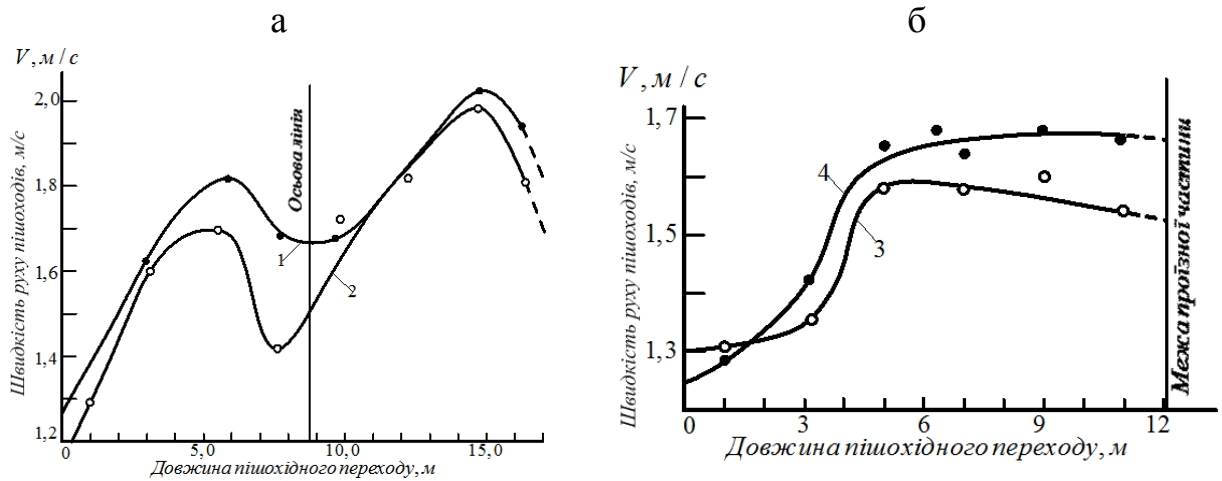


Рис. 1.6. Зміна швидкості руху пішоходів на пішохідному переході: а – за двостороннього руху ТЗ; б – за одностороннього руху ТЗ; 1 – рух під час дозвільного сигналу світлофора; 2 – рух незалежно від сигналів світлофора; 3 – рух в прямому напрямку; 4 – рух у зворотному напрямку [7]

З графіків видно, що швидкість у міру віддалення від тротуару зростає від 1,3 – 1,4 м/с до 1,7 – 1,8 м/с, оскільки пішоходи прискорюють рух, бажаючи швидше покинути найбільш небезпечну ділянку переходу. На середині ПЧ спостерігається зниження швидкості. Це пониження найбільш різко проявляється у пішоходів, які почали рух під час заборонного сигналу світлофора [7, 40]. Припускається, що це пов'язано з необхідністю для пішоходів знову оцінити транспортну ситуацію (уже на другій половині ПЧ) і здійснити вибір прийняттого інтервалу у ТП.

Експериментальні дані засвідчують, що незалежно від наявності або відсутності острівця безпеки, пішоходи здійснюють оцінку транспортної ситуації лише на найближчій половині ПЧ, а після її перетину знову проводять оцінку транспортної ситуації для другої половини ПЧ. У

пішоходів, які перетинають проїзну частину на дозвільний сигнал світлофора, падіння швидкості в середній частині переходу значно менша. На другій половині ПЧ знову відбувається збільшення швидкості руху, причому вона досягає більших значень, ніж на першій половині [7, 40].

Проте оцінка часу, який затрачається пішоходами під час їх переходу через ПЧ, а також визначення особливостей їх поведінки не в повній мірі відображає всю модель поведінки УДР в умовах взаємодії [7, 28, 33, 72]. Тому необхідною є також оцінка поведінки учасників іншої групи – водіїв ТЗ.

Процес впливу людського чинника під час забезпечення безпеки за різних режимів регулювання намагаються оптимізувати з використанням програм імітаційного моделювання, таких, як: VISSIM, PARAMICS, TRANSYT тощо. Перелічені програми здатні враховувати не лише дорожню ситуацію на розглянутому перерізі дороги, а й вплив локального та координованого регулювання на роботу суміжних перехресть [2, 22, 45, 58, 59].

У вказаних програмах використовуються моделі затримок, які описуються детерміновано і стохастично, щоб відобразити як сталість, так і випадковість особливостей ТП (невчасне гальмування та ранній старт на сигнали світлофора; пропуск пішоходів, які ідуть у тому ж напрямку під час здійснення поворотних маневрів). Перевагою таких моделей є точність визначення затримки перед РП та пішохідними переходами, оскільки програма враховує динамічний габарит, час необхідний для приведення автомобіля в рух тощо. Крім цього, вони враховують автомобілі, які покидають перехрестя на заборонний сигнал світлофора. Недоліком цих моделей є те, що автомобілі, які проїхали стоп-лінію і якийсь час залишаються нерухомими в зоні перехрестя, очікуючи дозвільного сигналу наступної фази регулювання для того, щоб виконати маневр повороту (ліворуч або праворуч), не підлягають обліку [2, 22, 53, 92].

Отже, якщо інтенсивність ТП не дозволяє змінити режим роботи світлофорної сигналізації на користь пішоходів, то необхідно розробити імітаційну модель, яка дозволяє моделювати транспортні і пішохідні потоки на РП та пішохідних переходах таким чином, щоб задовольнити потреби у безпечному переміщенні пішоходів та мінімізації затримки ТП у системах регулювання [22].

1.4. Проблематика взаємодії транспортних та пішохідних потоків за різних методів світлофорного регулювання

Організація руху транспортних та пішохідних потоків (ТПП), а також забезпечення їх безпеки – багатопланова задача. Складність вирішення цієї проблеми пояснюється впливом багатьох чинників, зокрема психофізіологічних, які ускладнюють застосування математичних і механічних методів опису закономірностей формування ТПП за різних методів світлофорного регулювання [82].

Конфліктні ситуації, які виникають між ТПП на РП можуть бути чотирьох типів [34]:

- з правоповоротними потоками на виїзді із перехрестя;
- з лівоповоротними потоками на виїзді із перехрестя;
- з право- і лівоповоротними ТП, що використовують на виїзді із перехрестя різні смуги ПЧ;
- з правоповоротним ТП під час в'їзду на перехрестя.

Мета досліджень із визначення параметрів ТПП на РП полягає в отриманні розрахункових значень величин, які використовуються для проектування світлофорного об'єкта [25, 28, 72]. Режим роботи СФР в даному випадку залежить від розташування пішохідного переходу; інтенсивності транспортного та пішохідного руху; швидкості руху пішоходів; наявності достатньої площі для накопичення пішоходів, які очікують дозвільного сигналу світлофора. Чітке розуміння поведінки

пішоходів на регульованих переходах за змішаних дорожніх умов необхідне під час облаштування інфраструктури для обслуговування ПП, а також для підвищення безпеки їх руху [7, 17, 21, 82].

Ґрунтуючись на цьому, необхідні дослідження для встановлення моделі поведінки водіїв ТЗ під час проїзду через перехрестя та пішоходів під час переходу через ПЧ. Результатом такого моделювання буде відтворено реальну поведінку водіїв та пішоходів за існуючих дорожніх умов, а також можливість її (поведінки зміни) залежно від чинників впливу у системі «Транспортні потоки – Дорожні умови» [21].

У зв'язку з цим методом натурних досліджень необхідно оцінити існуючий стан ТПП, його склад, величину затримок та чинники, які їх обумовлюють, визначити закономірності формування ТПП за різних методів СФР. Вимірювання показників доцільно проводити у міжпіковий період, що дає можливість визначити тенденції їх зміни за зміни інших початкових параметрів, оскільки у піковий період на обраних ділянках спостерігаються великі черги та нерухомий стан потоку, що робить подальше моделювання його стану неефективним.

Отже, подальші натурні дослідження показників ТПП дають можливість:

1. Визначити характер поведінки пішоходів відповідно до погоднокліматичних умов, часу доби, місця розташування переходу.
2. Визначити пониження ПЗ ділянки ВДМ у результаті облаштування пішохідних переходів.
3. Обґрунтувати раціональні відстані між пішохідними переходами з метою підвищення ефективності функціонування транспортної системи шляхом мінімізації затримок УДР.
4. Підвищити безпеку руху в місцях взаємодії ТПП.

1.5. Висновки до розділу

1. Аналіз ефективності обслуговування ТПП в умовах СФР показав, що основними чинниками, які впливають на ПЗ є геометричні параметри ПЧ, показники ТП, кількість дозволених маневрів тощо. Проте не повністю враховується поведінка пішоходів, зумовлена їх психофізіологічними особливостями та вплив на неї дорожніх умов, а також соціальних та економічних чинників.

2. Як стверджують вітчизняні та закордонні дослідники, безпека руху пішоходів на РП та пішохідних переходах залежить від дисципліни пішоходів. За дуже тривалого очікування дозволяючого сигналу пішоходи можуть, втративши терпіння, почати перехід на заборонний сигнал. У своїх працях, розрахункове значення часу терпеливого очікування приймають від 30 до 90 с. Тому необхідно провести додаткові дослідження для визначення чинників, які впливають на зміну цього показника. Теоретичні дослідження підтверджують, що число порушників збільшується зі зростанням тривалості заборонного сигналу світлофора і зі зменшенням інтенсивності ТП, однак вони не враховують такі умови, як місце розміщення перехрестя на території міста, наявність центру генерації потоків.

3. Аналіз зміни швидкості руху пішоходів на РП та пішохідних переходах показав, що вона змінюється у міру віддалення від тротуару, зростає від 1,3 – 1,4 м/с до 1,7 – 1,8 м/с. На середині ПЧ спостерігається зниження швидкості, при чому це пониження набуває більших значень для пішоходів, які почали рух на заборонний сигнал світлофора.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РЕГУЛЮВАННЯ

2.1. Обґрунтування напрямку досліджень

Проведення наукових досліджень необхідне для визначення предмету з метою розкриття закономірностей його виникнення, розвитку та перетворення, тобто вироблення нових наукових завдань [61]. Під час проведення наукових досліджень використовувалися такі загальні методи [61]:

- універсального зв'язку (необхідно враховувати всі показники, щоб уникнути однобічності в дослідженні);
- діалектичного протиріччя (полягає в тому, що між досліджуваними об'єктами існує не лише протилежність, але і єдність);
- єдності якості та кількості (полягає в тому, що зв'язки між досліджуваними об'єктами мають бути вивчені не тільки якісно, але і кількісно, тобто математично);
- діалектичного заперечення (складаються послідовності, суть яких полягає у необхідності дотримання наступності під час переходу від відомого до нового).

До загальнонаукових методів належать [61]: спостереження, порівняння, розрахунок, вимірювання, узагальнення, абстрагування, формалізація, аналіз і синтез, індукція та дедукція, аналогія, моделювання, ідеалізація, конкретизація.

Використовують такі рівні для визначення напрямку досліджень [61]: емпіричний, експериментально-теоретичний, теоретичний, мета-теоретичний.

Виходячи із цього, першим етапом є визначення існуючих методів дослідження основних показників ТП і ПП (інтенсивність, швидкість та щільність), оцінки планувальних параметрів ВДМ, вивчення поведінки пішохідних потоків тощо. Це дасть змогу обґрунтувати дослідження невіршених завдань.

Наступним етапом є визначення характеристик ТПП для формування мети та завдання дослідження. Тому формуються гіпотези, які необхідно перевірити під час проведення натурних досліджень.

Останнім етапом є застосування спеціалізованих програмних середовищ, які дають змогу оцінити ефективність обслуговування ТПП (змінюючи вторинні показники) в умовах світлофорного регулювання.

Кінцевим результатом проведених досліджень є розроблення рекомендації щодо вибору раціональних режимів СФР залежно від затримки транспорту та поведінки пішоходів, а також їх подальше застосування.

2.2. Аналіз ефективності обслуговування транспортних і пішохідних потоків в умовах світлофорного регулювання

ПЗ ВДМ безпосередньо залежить від ПЗ складових її елементів. При цьому найчастіше ПЗ вулиць визначається ПЗ однієї з її ділянок, де вона є найменшою (регульовані та нерегульовані перехрестя, пішохідні переходи, місця стоянок ТЗ, зона зупинки міського пасажирського транспорту, звуження ПЧ, шляхопроводи, мости, підйоми тощо) [14, 35, 41, 43, 51, 56, 68].

Наприклад, у роботі [85] В. Макшан визначає ПЗ підходу до перехрестя як максимальну інтенсивність руху ТП на розглянутому підході за умов регулювання, які найчастіше переважають.

У рекомендаціях Highway Capacity Manual 2000 [81] під ПЗ розуміється максимальна кількість ТЗ, які перетинають ділянку дороги за проміжок

(одиницю) часу при певних геометричних параметрах ВДМ (перехрестя) та дорожніх умов руху.

ПЗ руху на РП вимірюється у фізичних (абсолютних) величинах (авт./год.) та у зведених (зв.од./год.) і визначається за формулою [41]:

$$P_{ij} = \frac{M_{nij} \cdot t_e}{T_u}, \quad (2.1)$$

де P_{ij} – ПЗ i -ої смуги під час фази регулювання, зв.од./год;

M_{nij} – потік насичення (максимальна інтенсивність ТЗ з черги перед стоп-лінією, які здійснюють рух впровадж дозвільного сигналу світлофора) i -ої смуги у фазі регулювання, зв.од./год;

t_e – ефективна тривалість фази регулювання, с;

T_u – тривалість циклу регулювання, с.

Відповідно до формули (2.1), крім геометричних параметрів, зміна яких відповідно до транспортної ситуації неможлива, на ПЗ РП впливають потоки насичення M_{nij} , ефективна тривалість фази t_e і тривалість циклу регулювання T_u [41].

Прибуття ТЗ до РП (пішохідного переходу) залежить в основному від режиму роботи системи СФР (відношення циклів регулювання світлофорів та роботи кожного з них окремо), оскільки заборонний сигнал формує ТЗ в окремі групи під час руху [14, 29, 30, 37, 41, 51].

Зв'язок між транспортною затримкою в зоні дії РП (пішохідних переходів) і рівнем обслуговування (якісна величина, яка характеризує ситуацію, що склалася у ТП, ґрунтуючись на таких показниках, як швидкість, тривалість руху, можливість маневрування на ПЧ, зручність використання ділянки ВДМ (наведено в табл. 2.1) [25, 29, 41, 81, 91, 92].

Таблиця 2.1

Зв'язок між транспортною затримкою в зоні дії РП (пішохідних переходів) і рівнем обслуговування [81]

Рівень обслуговування	Затримка регулювання*, с/зв.од.	Характер руху
А	до 10	Невелика затримка регулювання, більшість автомобілів проїжджає на зелений сигнал. Мала тривалість циклу регулювання часто є причиною низької затримки регулювання.
В	10 – 20	Спостерігається за високої інтенсивності руху або короткому циклі регулювання. Кількість зупинених автомобілів зростає у порівнянні з рівнем обслуговування А.
С	20 – 35	Спостерігається при тривалому циклі регулювання. Число зупинених автомобілів значне, але, тим не менше, достатня кількість автомобілів проїжджає перехрестя без зупинок.
D	35 – 55	Майже всі автомобілі зупиняються. Інтенсивність руху транспортного потоку прямує до пропускної здатності. Більшість циклів з перенасиченими фазами.
Е	55 – 80	Перенасичення в циклі регулювання збільшується.
F	більше 80	Такий рівень обслуговування розглядається як неприйнятний для більшості водіїв.

*величина цієї затримки визначається як різниця в часі під час порівняння руху автомобіля через розглянуте РП і вільного руху на цій же ділянці без урахування впливу світлофорного регулювання .

Транспортна затримка включає в себе сповільнення, прискорення та зупинки ТЗ на підходах до РП. Формула, запропонована Ф. В. Вебстером, найчастіше застосовується для визначення транспортної затримки за умови випадкового прибуття ТЗ до перехрестя [1, 9, 13, 15, 22, 41, 46, 51, 98]:

$$d = \frac{T_y(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2N_T(1-x)} - 0,65 \left(\frac{T_y}{N_T^2} \right)^{1/3} x^{2+5\lambda}, \quad (2.2)$$

де λ – відношення тривалості зеленого сигналу до тривалості циклу;

x – ступінь насичення напрямку руху;

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

Сучасні дослідження показують, що модель (2.2) має деякі похибки, оскільки необхідно враховувати не лише характер руху на окремому ізольованому перехресті, але й вплив на його роботу інших перехресть, які знаходяться перед ними, а також можливість застосування адаптивного регулювання [25, 41].

Ще однією математичною моделлю для визначення транспортної затримки на перехресті є рівність, яка представлена у канадських рекомендаціях з визначення ПЗ РП (CCG – Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections) [91]:

$$d = d_1 k_f + d_2, \quad (2.3)$$

$$d_1 = 0,5 T_u \frac{\left(1 - \frac{g}{T_u}\right)}{1 - \frac{g}{T_u} \min(Z; 1, 0)}, \quad (2.4)$$

$$k_f = \frac{\left(1 - \frac{N_{зел}}{N_T}\right) f_p}{1 - \frac{g}{T_u}}, \quad (2.5)$$

$$d_2 = 15 t_e \left[(Z - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{240}{T_u t_e}} \right], \quad (2.6)$$

де d_1 – стандартна затримка, яка відповідає рівномірному прибуттю ТЗ до перехрестя, с/зв.од.;

k_f – коефіцієнт, який враховує якість прогресії;

d_2 – додаткова затримка, яка враховує випадковість прибуття ТЗ. При цьому передбачається, що величина початкової черги дорівнює нулю, с/зв.од.

g – ефективне значення зеленого сигналу світлофора для певної групи ТЗ, с;

Z – рівень завантаження смуги;

$N_{зел}$ – інтенсивність прибуття ТЗ протягом зеленого сигналу світлофора, зв.од./год;

f_p – коефіцієнт, який враховує тип прибуття і групу автомобілів у ТП.

У праці [47] стверджується, що затримка одного ТЗ залежить від тривалості червоного сигналу світлофора (t_q), величини інтервалу тимчасового прибуття ТЗ до стоп-лінії (A) та інтервалу між ТЗ, які проїжджають через перехрестя (D_x):

$$d_i = t_q - A(2i - 1) / 2 + \sum_{x=1}^i D_x, \quad (2.7)$$

де $i = 1, 2, \dots, n$ – порядковий номер ТЗ.

Результати розрахунку середньої затримки одного ТЗ за методикою Т. М. Метсона наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Середня затримка одного ТЗ за методикою Т. М. Метсона [47]

Інтенсивність прибуття на j -му напрямку, зв.од./год.	200	400	600	800	850
1	2	3	4	5	6
Середня величина інтервалу тимчасового прибуття автомобілів до стоп-лінії, A , с	18	9	6	4,5	4,24
Інтервал між автомобілями, які проїжджають через перехрестя, D_x , с	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	
Тривалість циклу регулювання, $T_u, \text{с}$	12,4	17,8	31,7	412,5	1140	
Частка червоного такту $\beta = 0,5$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Тривалість червоного сигналу світлофора, $t_u, \text{с}$	6,2	8,9	15,85	71,25	570	
Тривалість зеленого сигналу світлофора, $t_3, \text{с}$	6,2	8,9	15,85	71,25	570	
Затримки ТЗ, с	1	1	8,2	16,65	72,8	571,6
	2	1	2	13,7	71,4	574,5
	3	0	0	10,4	69,6	569
	4	0	0	0	67,5	∞
	5	0	0	0	65,2	∞
Середня затримка одного ТЗ, с/цикл	1	5	13,6	69,3	571	

Середня тривалість затримки окремого ТЗ за жорсткого СФЦ на ділянках перед перехрестями визначається за формулою [29, 81]:

$$t_{\Delta p} = \left(T_u \cdot f_1 + \frac{f_2}{t_e} \right) \cdot \frac{100 - f_3}{100}, \quad (2.8)$$

де $t_{\Delta p}$ – середня тривалість затримки окремого ТЗ за жорсткого СФЦ на перехресті, с;

f_1, f_2, f_3 – сталі, які визначаються зі співвідношення ступеня насичення та частки зеленого сигналу в циклі регулювання;

$$f_1 = \frac{\left(1 - \frac{t_e}{T_u} \right)}{2 \cdot \left(1 - \frac{N_{\text{дил}}}{P_{\text{дил}}} \right)}, \quad (2.9)$$

де $N_{\text{дил}}$ – інтенсивність руху на ділянці перед перехрестям, зв.од./с;

P_{dil} – ПЗ ділянки біля перехрестя, зв.од./с.

$$f_2 = \frac{x^2}{2 \cdot (1 - x)}, \quad (2.10)$$

$$x = \frac{T_u \cdot N_{\text{dil}}}{t_e \cdot P_{\text{dil}}}, \quad (2.11)$$

$$f_3 = \frac{0,65 \cdot (T_u / N_{\text{dil}}^2)^{1/3} \cdot x^{2+5 \cdot (g)}}{T_u \cdot f_1 + \frac{f_2}{N_{\text{dil}}}}, \quad (2.12)$$

Результати дослідження функціонування перехресть показують, що за певних ідеальних умов інтервал між автомобілями, які виїжджають неперервним потоком на перехрестя, стабілізується на рівні 2,1 – 2,0 с за P_{dil} рівної 0,48 – 0,50 від максимальної інтенсивності [29, 81]. Ефективна тривалість фази регулювання t_e дорівнює сумі тривалості тактів зеленого і жовтого сигналів без врахування втрат часу на розгін і часу проїзду через перехрестя останнього ТЗ, який потрапив у фазу зеленого сигналу [29].

Ще один показник оцінки якості функціонування РП – довжина черг. Під довжиною черги розуміється кількість ТЗ на одній смузі руху або її протяжність в лінійних одиницях [15]. Довжина черги пов'язана із величиною середньої і максимальної затримки, інтенсивністю руху, параметрами СФР та впливає на такі показники, як тривалість руху, рівень шуму і викидів в атмосферу відпрацьованих газів у розрахунку на одиницю довжини [2, 29, 30, 33, 41, 45, 60, 91].

Метод розрахунку довжини черги ТЗ на стоп-лініях перед перехрестям за період дії заборонного сигналу світлофора запропонований Т. М. Метсоном [47]:

$$n = \frac{t_u + k}{A - D_k} = \frac{t_u + 4,75}{A - 2,1}, \quad (2.13)$$

де $k = 4,75$ – додаткова затримка кожного ТЗ, пов’язана із початком руху, с;

A – середня величина інтервалу прибуття автомобілів до перехрестя ($A = 3600 / N$), с;

$D_k = 2,1$ – інтервал між автомобілями, які розпочинають рух з місця, с.

У праці [29] Іносе Х. визначав середню довжину черги як найбільшу з двох величин, отриманих за формулами:

$$l_{\Delta p} = N_{\text{дил}} \cdot t_u, \quad (2.14)$$

$$l_{\Delta p} = N_{\text{дил}} \cdot \left(\frac{t_u}{2} + t_{\Delta p} \right), \quad (2.15)$$

де $l_{\Delta p}$ – середня довжина черги ТЗ, м.

Втрати часу ТП загалом можуть бути визначені виразом [13, 35, 46]:

$$T_{\Delta} = N_{\text{дил}} \cdot t_{\Delta p} \cdot T \quad (2.16)$$

де T – час спостереження, год.

Величина затримок ТЗ на перехрестях може виражатися коефіцієнтом затримки K_z , характеризуючи вплив «конфліктних» поворотів. Коефіцієнт затримки визначається за формулою [29]:

$$K_z = \frac{T_u}{f_{\text{зустр}} \cdot \frac{N_{\text{зустр}} \cdot t_e - N_{\text{дил}} \cdot T_u}{(N_{\text{зустр}} - N_{\text{дил}})} + \frac{4,5}{t_e}}, \quad (2.17)$$

де K_3 – коефіцієнт затримки, який враховує кількість ТЗ, які здійснюють маневр повороту, відображаючи зниження інтенсивності виїзду на перехрестя з причини «конфліктних» поворотів;

$f_{зустр.}$ – функція потоку зустрічного напрямку, рівна 1 за інтенсивності руху до 800 зв.од./год. і рівна 0,85 за інтенсивності руху більше 800 зв.од./год.;

$N_{зустр.}$ – інтенсивність виїзду на перехрестя потоку зустрічного напрямку, зв.од./с.

Досить часто проблему підвищення ефективності транспортного обслуговування неможливо розв'язати без урахування особливостей пішохідного руху на регульованих переходах [7, 17, 21, 25, 28, 34, 72].

Під ПП на регульованих переходах розуміють сукупність людей, що рухаються через ПЧ в одному (або зустрічному) напрямку [7, 28, 34, 72]. Залежно від конкретних обставин в місці розташування того або іншого об'єкту тяжіння пішоходів утворюються ПП різної інтенсивності.

Регулювання ПП передбачає комплексне використання містобудівних, дорожньо-планувальних, соціальних та економічних чинників, які ґрунтуються на дослідженні умов і характеристик руху пішоходів (табл. 2.3) [7, 28, 34].

Таблиця 2.3

Характеристика чинників, які впливають на формування ПП [7, 28, 34]

Назва чинника	Характеристика чинника
1	2
Містобудівні	Характеризують планувальну особливість схем шляхів сполучення, розташування в плані міста пунктів тяжіння пішоходів, типу забудови вулиць, розвитку комплексності забудови мікрорайонів;
Дорожньо-планувальні	Включають обриси ВДМ, інтенсивність і швидкості пішохідних та транспортних потоків, режим регулювання руху, планувальні характеристики вулиць;
Соціальні	Охоплюють склад ПП за ознаками віку, статі, цільового призначення переміщення, дисципліни пішоходів, ефективності дорожнього нагляду;

Продовження табл. 2.3

1	2
Економічні	Пов'язані з оцінкою капітальних витрат на будівництво та утримання пішохідних шляхів і споруд, забезпечення ПЗ, зручності і безпеки пішохідного руху, а також з оцінкою затримок ТЗ і пішоходів у зонах їх контактів.

ПП характеризуються розподілом у часі, залежністю між щільністю потоку і швидкістю переміщення, способом ОДР і транспортною дисципліною потоку. Безпека руху пішоходів на РП (пішохідних переходах) залежить від режиму роботи світлофорної сигналізації, який визначає пішохідні затримки [7, 25, 28, 29, 81].

Під пішохідною затримкою на регульованому переході розуміють втрати часу, які виникають в результаті зниження швидкості пішоходів (або їх повної зупинки) залежно від режиму регулювання. Пішохідна затримка – це один із основних показників рівня обслуговування на РП (регульованому переході) [7, 25, 28, 34, 80, 81, 83, 95].

На основі досліджень, проведених в Україні та за кордоном, розроблено кілька моделей для оцінки пішохідних затримок на РП [79, 80, 83, 86, 94]. У рекомендаціях Highway Capacity Manual (HCM) [81] вперше проведено градацію рівнів обслуговування ПП для регульованого перехрестя (табл. 2.4), де враховано геометричні параметри ВДМ, а також швидкість потоку.

Таблиця 2.4

Рівні обслуговування пішохідного потоку для РП [81, 86]

Рівень обслуговування	Затримка регулювання, с/піш.	Характер руху
1	2	3
А	до 10	Дуже мала затримка. Відсутня кількість осіб, які порушують режим світлофорного регулювання.

Продовження табл. 2.4

1	2	3
B	10 – 20	Мала затримка. Майже ніхто не переходить ПЧ на заборонний сигнал світлофора.
C	20 – 30	Мала затримка. Кілька пішоходів порушують режим світлофорного регулювання.
D	30 – 40	Велика затримка. Пішоходи починають переходити ПЧ в умовах ризику.
E	40 – 60	Дуже велика затримка. Значна частка пішоходів переходять ПЧ на заборонний сигнал світлофора.
F	більше 60	Дуже велика затримка. Майже кожен пішохід переходить ПЧ в умовах ризику.

Інші дослідники [88] отримали модель оцінки пішохідних затримок, яка ґрунтується на припущеннях випадкового прибуття пішоходів, фіксованої тривалості циклу регулювання та відсутності порушень пішоходами вимог світлофорної сигналізації:

$$d_{niu} = \frac{(T_{\psi} - t_{зел.niu.})^2}{2T_{\psi}}, \quad (2.18)$$

де d_{niu} – середня затримка на одного пішохода, с/піш;

$t_{зел.niu.}$ – тривалість дозвільного сигналу світлофора для ПП, с.

За наявності порушень пішоходами вимог світлофора Браун модифікував модель (2.18) за допомогою коефіцієнта F [78]:

$$d_{niu} = (1 - F) \cdot \frac{(T_{\psi} - t_{зел.niu.})^2}{2T_{\psi}} \quad (2.19)$$

де F – частка пішоходів, які порушують режим світлофорного регулювання.

Графічні залежності між моделями (2.18) та (2.19) наведено відповідно на рисунках 2.1 та 2.2.

Аналізуючи графічну залежність, зображену на рис. 2.2, спостерігаємо зниження загальної пішохідної затримки (заштрихована область) у порівнянні із залежністю, зображеною на рис. 2.1. Це пояснюється і тим, що для пішоходів, які здійснюють рух на заборонний сигнал світлофора, не враховується затримка, що є нереалістичним.

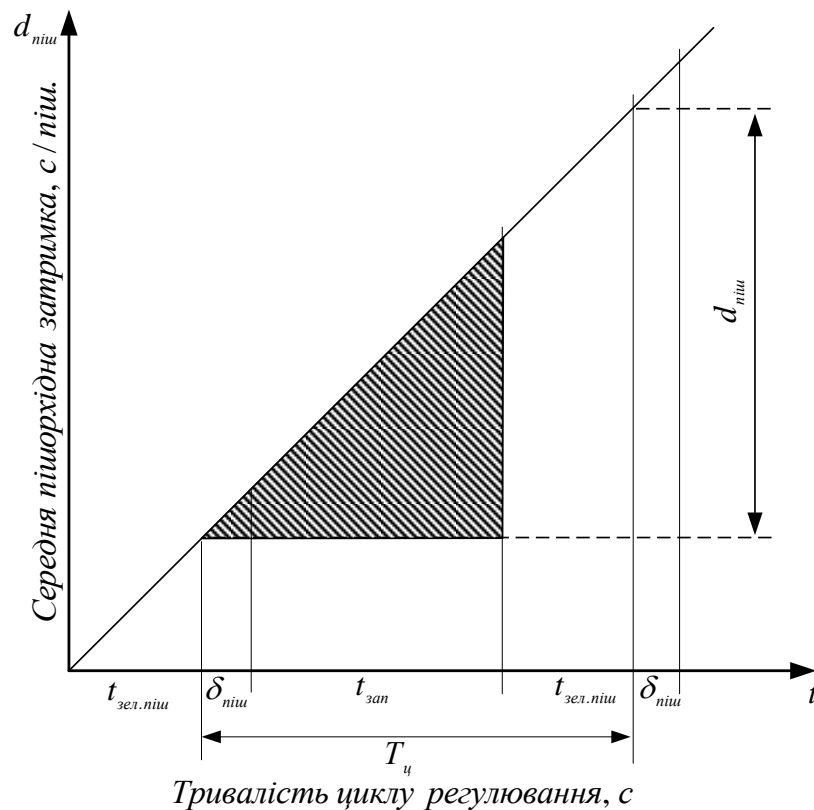


Рис. 2.1. Зміна кількості пішоходів на регульованому переході залежно від середньої пішохідної затримки за моделлю Петрі [87, 88]:

δ_{niu} – інтервал між пішоходами на тротуарі, с; $t_{зан}$ – час, необхідний для ПП, щоб перейти від зони очікування до початку переходу, с; d_{niu} – середня пішохідна затримка за тривалість циклу регулювання, с

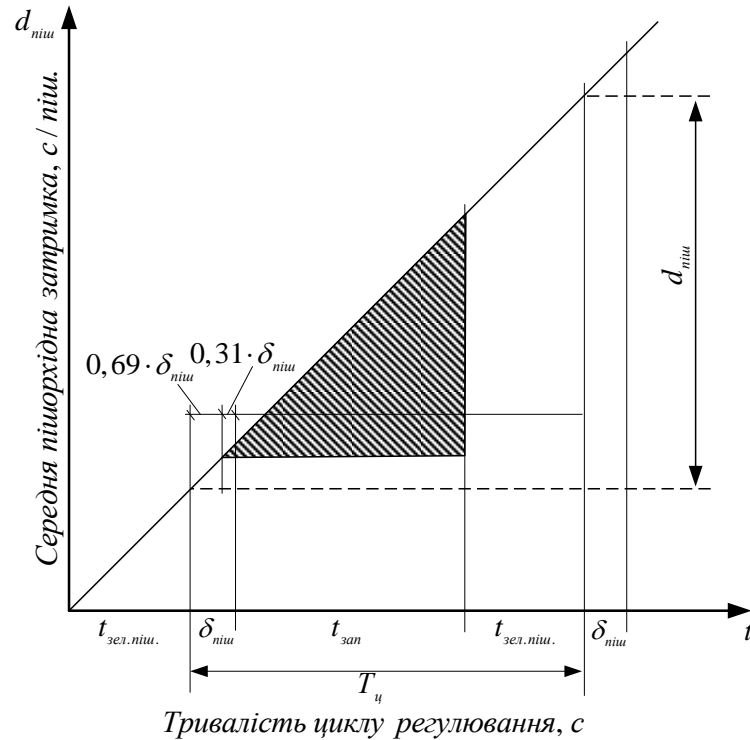


Рис. 2.3. Зміна кількості пішоходів на перехідів залежно від середньої пішоїдної затримки за моделлю Вірклера [95]

Отже, затримка пішоходів є кількісною мірою для визначення рівня обслуговування, а також одним із критеріїв оцінки ефективності функціонування перехрестя в цілому [82].

2.3. Методи визначення раціональних режимів регулювання

Конфліктні ситуації між ТПП на вулицях міст стали більш частими. Цьому сприяє зростання завантаження вулиць транспортом, зміна систем регулювання руху, завантаження тротуарів запаркованими автомобілями тощо. До того ж багато елементів ВДМ спроектовано без врахування компромісного рішення для ТПП загалом, з метою мінімізації затримки під час введення нового або адаптації існуючого режиму СФР [28, 33].

Одним із основних критеріїв визначення раціонального режиму регулювання під час проектування тривалості СФЦ є мінімальний час, який необхідний пішоходам для перетину ПЧ. В існуючих рекомендаціях та інструкціях наведено методологію для оцінки часу перетину пішоходами ПЧ. Більшість з цих методологій базуються на припущеннях про середню швидкість пішоходів. Так, у рекомендаціях Highway Capacity Manual 2000 [81] передбачається швидкість руху 1,2 м/с; у японському посібнику Manual of Traffic Signal Control [84] передбачено швидкість 1,0 м/с; у працях українських дослідників – 1,3 – 1,4 м/с. Такі припущення можуть не завжди відповідати зазначеним межам, оскільки при збільшенні щільності ПП тривалість переходу через ПЧ збільшується за рахунок взаємодії конфліктуючих ПП та навпаки – за малоінтенсивного ПП зменшується час переходу пішоходами ПЧ.

Також розроблено низку методик для дослідження швидкості руху пішоходів у межах наземних переходів, проте більшість з них не враховували вплив зустрічного ПП. М. Алхаджайза та інші зарубіжні дослідники у роботі [74] провели моделювання тривалості перетину пішоходами ПЧ залежно від щільності конфліктуючого ПП, довжини та ширини переходу, використовуючи метод, що враховує затримки, які відбуваються у ПП під впливом інтенсивного зустрічного ПП у місцях їх скупчення (регульовані пішохідні переходи, де світлофорною сигналізацією сформовано групи пішоходів з максимальною щільністю). Було виявлено, що за щільного ПП із приблизно рівною інтенсивністю з кожної сторони переходу середня швидкість пішоходів через ПЧ може зменшитися до однієї третьої у порівнянні із однонаправленим потоком, що спричинить великі затримки. Тому було зроблено висновок, що вплив взаємодії конфліктуючих ПП є значним і має розглядатися під час оцінки руху ПП на РП та пішохідних переходах з метою знаходження оптимального часу, який затрачається групою пішоходів для переходу через ПЧ залежно від величини цієї групи, довжини та ширини переходу [40].

У роботі [75] запропонована методика, з допомогою якої можна визначити тривалість СФЦ з урахуванням ширини пішохідного переходу, що дозволяє оптимізувати роботу РП з точки зору руху ТПП. Ця методика враховує інтенсивність, щільність та швидкість ТЗ та пішоходів, а також геометричні параметри перехрестя. Під час визначення тривалості СФЦ існує два основних обмеження: оптимальна тривалість зеленого сигналу світлофора для ТП та мінімальна тривалість дозвільного сигналу світлофора для ПП.

Оскільки зі збільшенням інтенсивності ПП ширина пішохідного переходу мала б збільшуватися, виходячи з рекомендацій, наведених у [5], то час перетину пішоходами ПЧ скоротиться через зменшення взаємодії між конфліктуючими ПП. У результаті цього зменшиться і тривалість дозвільного сигналу для пішоходів. Водночас зі збільшенням ширини пішохідного переходу збільшується проміжний такт та тривалість СФЦ. Таким чином, між шириною пішохідного переходу та тривалістю СФЦ існує взаємозв'язок, який зображено на рис. 2.4.

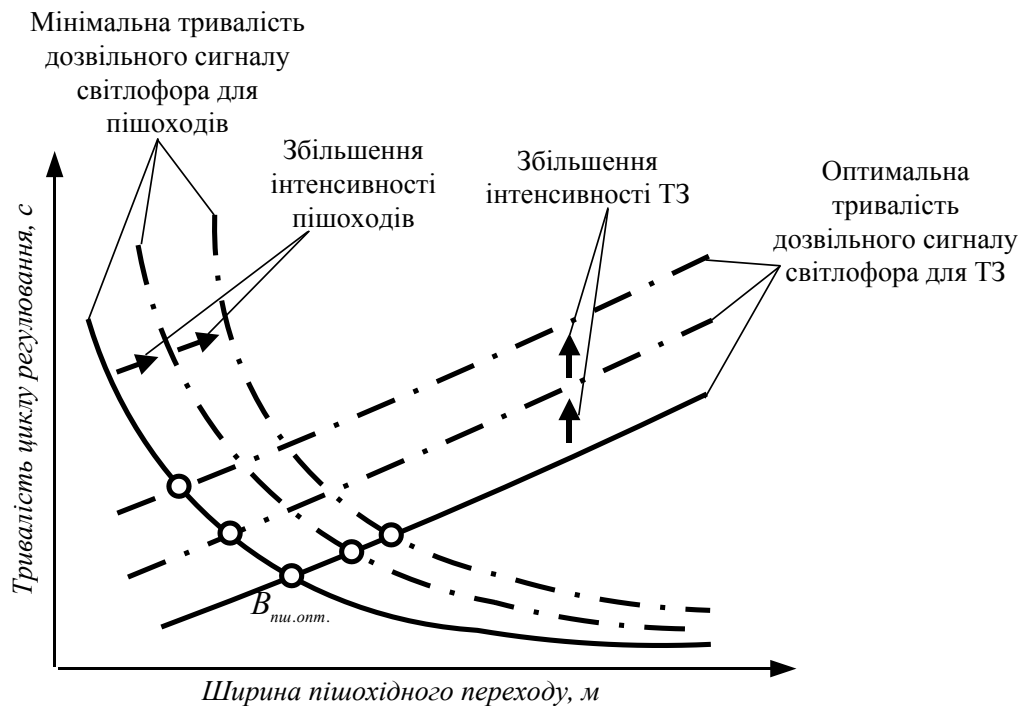


Рис. 2.4. Взаємозв'язок між шириною пішохідного переходу та тривалістю СФЦ [75]

Мінімальна ширина пішохідного переходу ($B_{\text{ми.онт.}}$), за якої забезпечується оптимальна тривалість СФЦ, залежить від геометричних параметрів перехрестя, кількості фаз регулювання, інтенсивності ТЗ та пішоходів тощо. Таким чином, для зменшення тривалості дозвільного сигналу для пішоходів та тривалості СФЦ необхідні більш широкі пішохідні переходи. Мінімізація тривалості СФЦ є дуже важливим завданням, не лише зі сторони водіїв, а й зі сторони пішоходів, оскільки час очікування дозвільного сигналу світлофора є основним критерієм затримки пішоходів [75].

У перелічених вище дослідженнях враховується достатньо велика кількість чинників, серед яких визначальні: тривалість дозвільного та заборонного сигналу світлофора, мінімальний час, який необхідний пішоходам для перетину ПЧ, геометричні параметри перехрестя (переходу), інтенсивність і швидкість ТПП [7, 25, 28, 29, 31]. Однак не враховуються такі чинники, як дисципліна пішоходів, цільове призначення переміщення пішоходів, місце розміщення пішохідного переходу відносно території міста, стану атмосфери та визначення раціональної відстані між пішохідними переходами.

Виходячи з аналізу досліджень, актуальною залишається проблема підвищення ефективності функціонування СФР шляхом вибору раціональних режимів з урахуванням поведінки пішоходів, мінімізації затримки УДР залежно від параметрів ВДМ та місця розміщення пішохідного переходу. Розв'язання задач із визначення раціональних режимів регулювання з урахуванням сукупності дії усіх перелічених чинників має розпочинатися з магістральних вулиць регульованого руху. Початковим етапом вивчення пішохідного руху загалом та поведінки пішоходів зокрема є проведення:

- натурних досліджень з визначення первинних показників із застосуванням відеомоніторингу;

- документальне вивчення даних про місце знаходження об'єктів притягання та генерації;
- даних про аварійність з пішоходами; моделювання руху ПП та його вплив на закономірності у ТП [82].

З метою формування достатніх масивів даних з високим рівнем репрезентативності вибірки слід визначити необхідну кількість вимірювань. Виходячи з того, що завданням цього дослідження є визначення затримки ТЗ, необхідно обрати один із показників ПП (оскільки він, виходячи з пріоритетності, визначає цю затримку), який розподіляється за нормальним законом при однакових умовах руху. Такою величиною є швидкість руху пішохода [15]. Для більшості завдань закони розподілу випадкових величин яких описують нормальним законом або близьким за формою до нормального (Релея, Коші), обсяг вибірки визначають за такою залежністю [18, 82]:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\varepsilon^2}, \quad (2.21)$$

де t – показник достовірності для заданої довірчої ймовірності p одержуваного виведення;

σ – середнє відхилення множини;

ε – дозволена помилка вибіркової середньої.

Щоб використати формулу (2.21) необхідно визначити σ . Для цього пронумеруємо вибірку значень $V_{П}$ від 1 до $n=500$ (n – обсяг вибірки під час вимірювання швидкості пішоходів). Для цих значень параметр σ визначають за формулою [18, 82]:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{i=n} t_i^2 - \bar{t}^2, \quad (2.22)$$

де $\bar{t} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{t=n} t_i$ – середнє значення.

Виходячи із сформульованого завдання дослідження, проведено ряд вимірювань на ВДМ у місті Львові за допомогою технічних засобів ОДР міського комунального підприємства ЛКП «Львівавтодор».

На першому етапі таких вимірювань визначено ряд об'єктів – РП та регульований пішохідний перехід поза перехрестям (рис. 2.5).

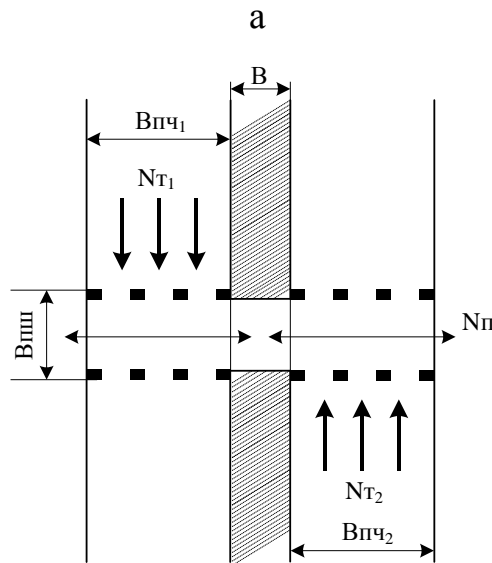
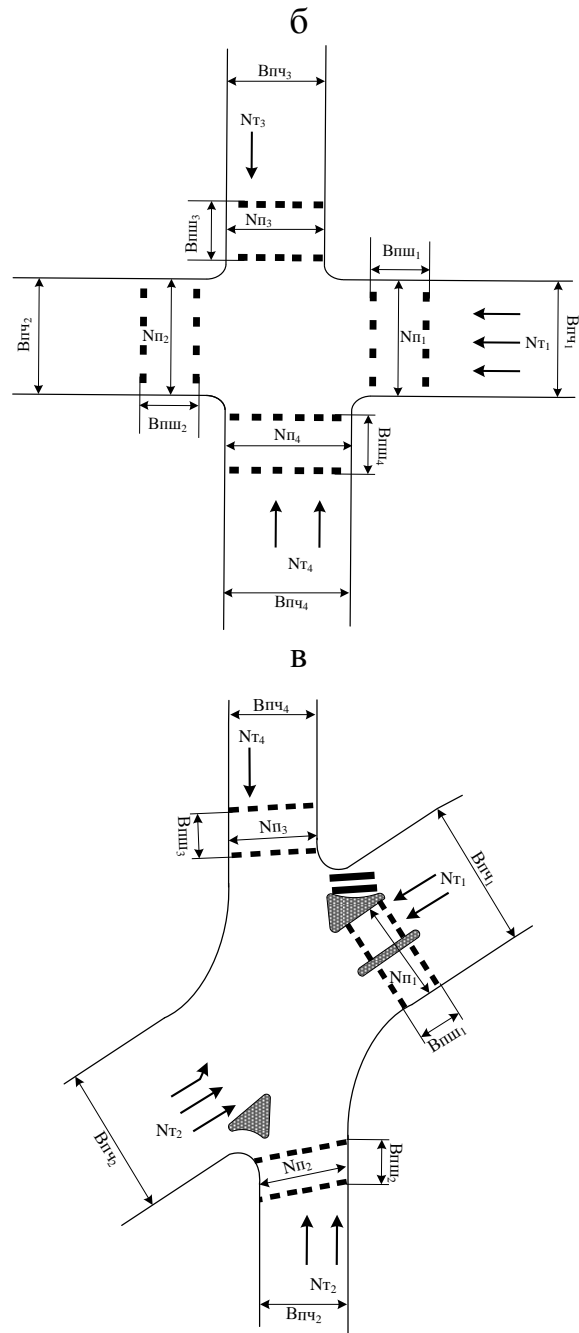


Рис. 2.5. Ситуаційні схеми формування ТПП, де проводились експериментальні вимірювання:

а – регульований перехід типу I (регульований пішохідний перехід з розділовою смугою руху); б – регульовані переходи типу II (чотиристороннє перехрестя з чотирма пішохідними переходами); в – регульовані переходи типу III (суміщене чотиристороннє перехрестя з трьома пішохідними переходами)



Продовження рис. 2.5

Усі ці переходи можна умовно поділити на три типи, з точки зору їх розміщення на території міста (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Типи перехресть та пішохідних переходів 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 пікові періоди; цілеспрямований у напрямку до та від центрів генерації	Велика неоднорідність ТП (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 ТП (до 95% легкових автомобілів)	Чіткий центр відсутній, розподіл ПП 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

Під час проведення досліджень обрано два періоди – суха сонячна погода та дощ. 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;

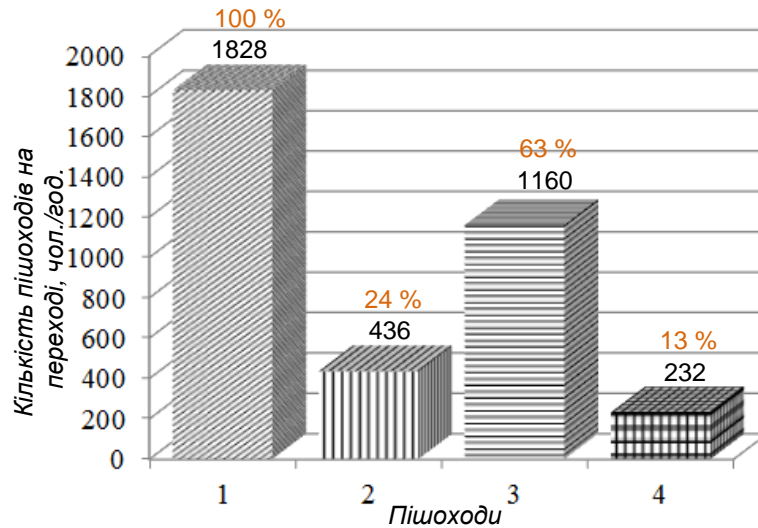
2. зі зменшенням інтенсивності ТП та довжини переходу пішохід частіше здійснює перехід на заборонний сигнал під час руху регульованим пішохідним переходом;

3. мета переміщення пішоходів впливає на їх поведінку;

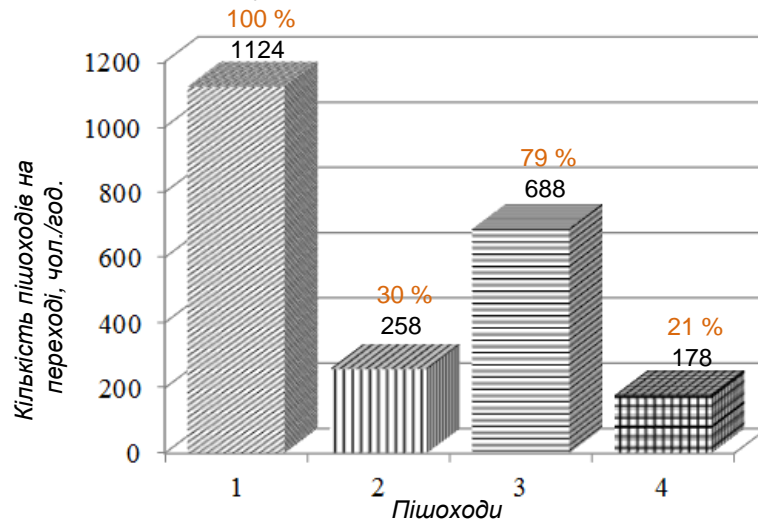
4. зі зміною погодних умов змінюється тривалість терпеливого очікування пішоходів для досягнення мети переміщення.

Під час вимірювань вдалось визначити такі показники: довжину пішохідних переходів (ширину вулиці, $B_{пч}$); тривалість циклу регулювання на РП та пішохідних переходах, а також його складових (час заборонного та дозвільного сигналів); кількість накопичених пішоходів перед переходом; кількість осіб, які пройшли на дозвільний ($t_{зел}$) та заборонний ($t_ч$) сигнал світлофора; час переходу пішоходами ПЧ; фактична інтенсивність руху ТП ($N_ф$) через перехід.

Графічні результати досліджень поведінки пішоходів на регульованих переходах наведено на рисунку 2.6 – 2.13.



Суха сонячна погода



Дощова погода

$$t_3 = 25 \text{ с}; t_4 = 47 \text{ с}; B_{\text{пч}} = 24 \text{ м}; N_{\phi} = 1695 \text{ авт./год.}$$

Рис. 2.6. Результати досліджень ПП на регульованому переході через вул. Городоцьку (тип І); 1 – загальна кількість пішоходів, які пройшли через перехід (на заборонний та дозвільний сигнал світлофора), а також ті, які очікували дозвільного сигналу світлофора; 2 – пішоходи, які очікували дозвільного сигналу; 3 – пішоходи, які пройшли через перехід на дозвільний сигнал; 4 – пішоходи, які пройшли через перехід на заборонний сигнал

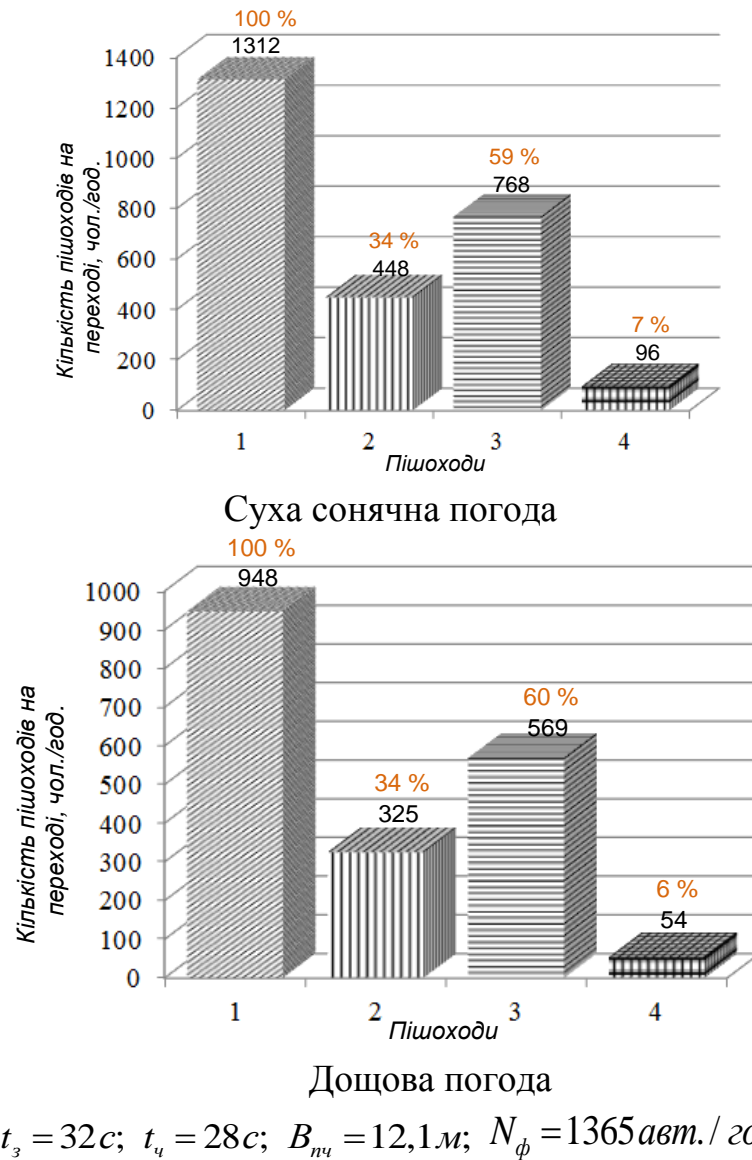
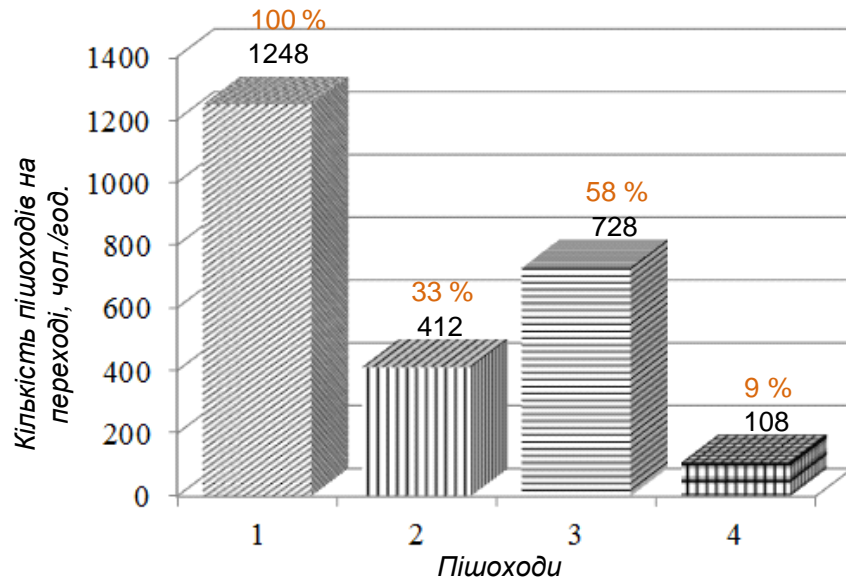
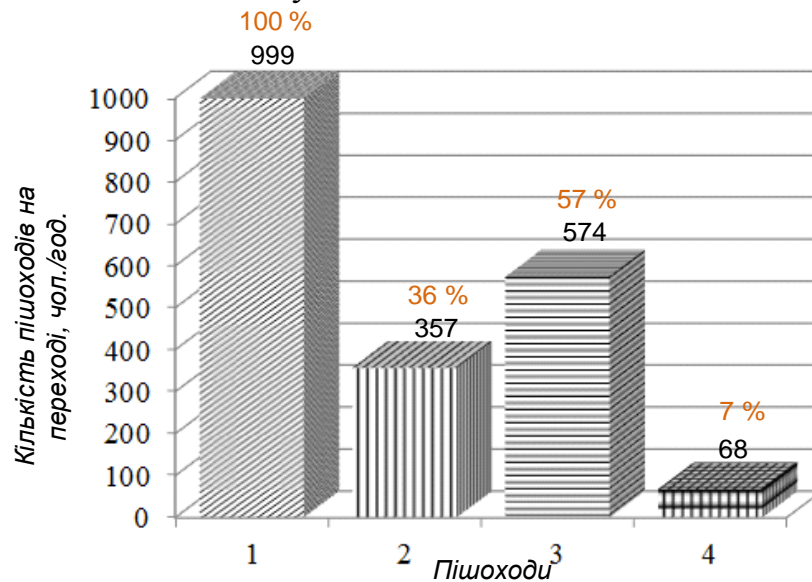


Рис. 2.7. Результати досліджень ПП на регульованому переході через пр. Свободи (на підході до перехрестя пр. Свободи – вул. Гнатюка) (тип II); 1 – загальна кількість пішоходів, які пройшли через перехід (на заборонний та дозвільний сигнал світлофора), а також ті, які очікували дозвільного сигналу світлофора; 2 – пішоходи, які очікували дозвільного сигналу; 3 – пішоходи, які пройшли через перехід на дозвільний сигнал; 4 – пішоходи, які пройшли через перехід на заборонний сигнал



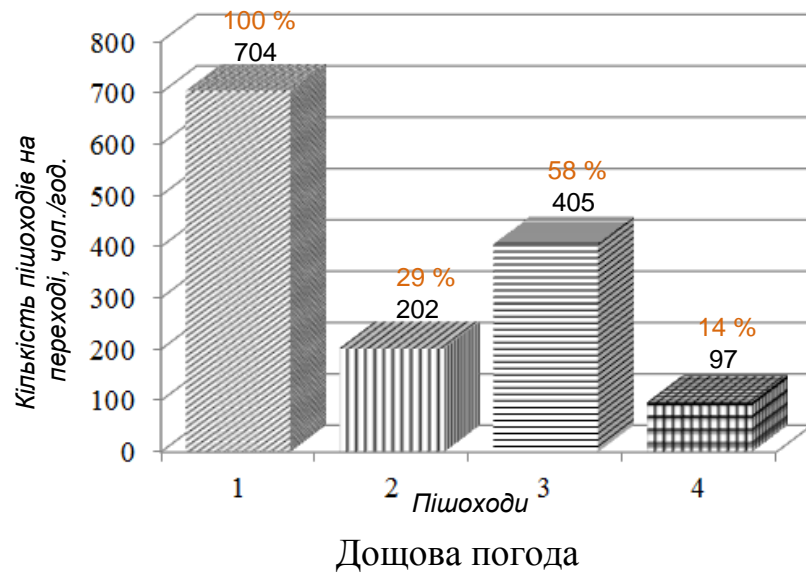
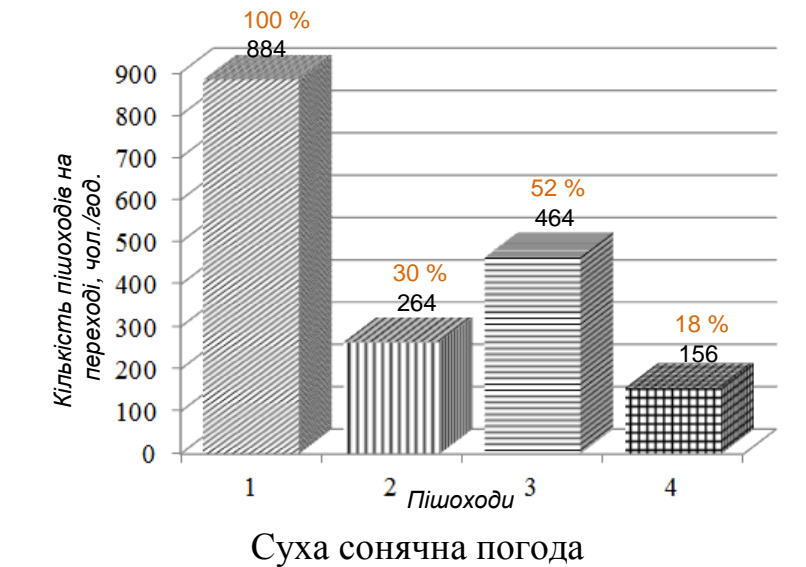
Суха сонячна погода



Дощова погода

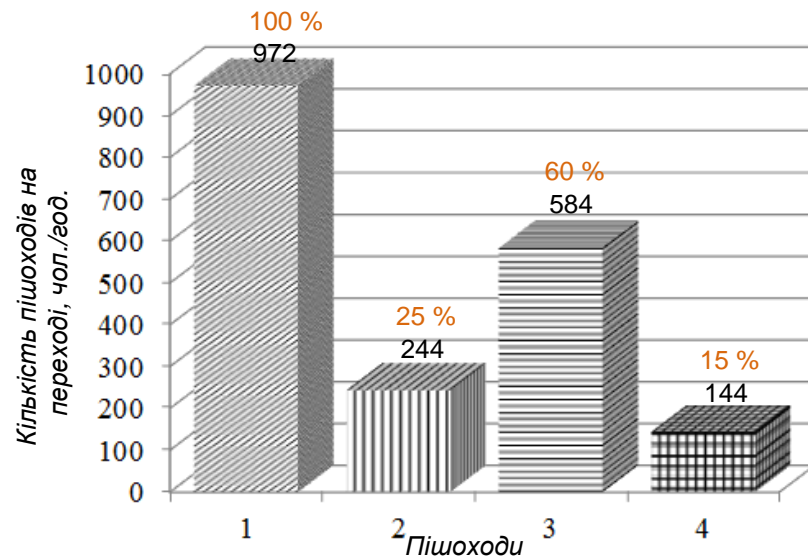
$$t_s = 32c; t_y = 28c; B_{nc} = 12,1m; N_{\phi} = 1254 \text{ авт./ год.}$$

Рис. 2.8. Результати досліджень ПП на регульованому переході через пр. Свободи (на виході з перехрестя пр. Свободи – вул. Гнатюка) (тип II); 1 – загальна кількість пішоходів, які пройшли через перехід (на заборонний та дозвільний сигнал світлофора), а також ті, які очікували дозвільного сигналу світлофора; 2 – пішоходи, які очікували дозвільного сигналу; 3 – пішоходи, які пройшли через перехід на дозвільний сигнал; 4 – пішоходи, які пройшли через перехід на заборонний сигнал

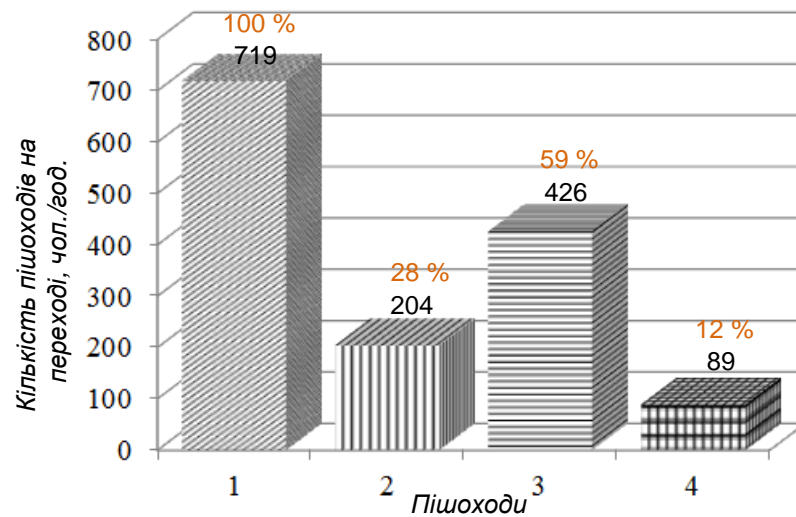


$$t_3 = 28 \text{ с}; t_4 = 32 \text{ с}; B_{nc} = 7,3 \text{ м}; N_{\phi} = 584 \text{ авт./год.}$$

Рис. 2.9. Результати досліджень ПП на регульованому переході через вул. Гнатюка (до центру) (тип II); 1 – загальна кількість пішоходів, які пройшли через перехід (на заборонний та дозвільний сигнал світлофора), а також ті, які очікували дозвільного сигналу світлофора; 2 – пішоходи, які очікували дозвільного сигналу; 3 – пішоходи, які пройшли через перехід на дозвільний сигнал; 4 – пішоходи, які пройшли через перехід на заборонний сигнал



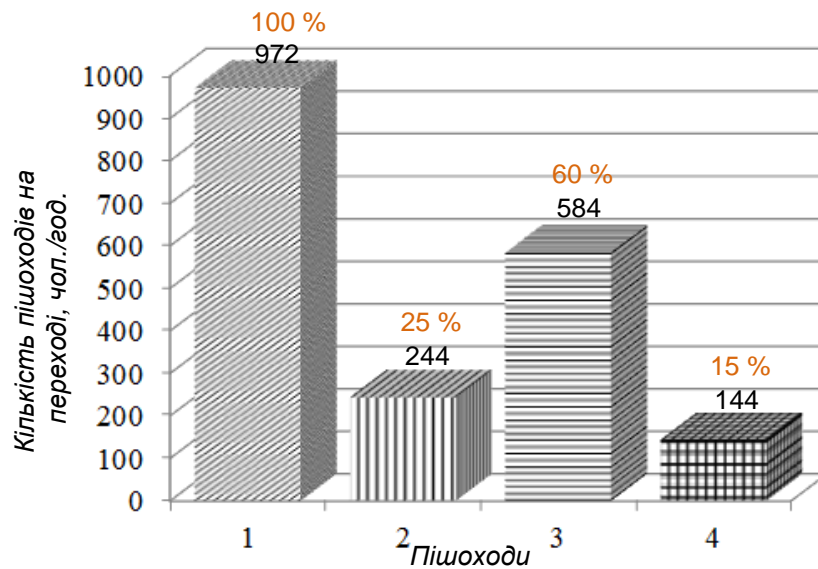
Суха сонячна погода



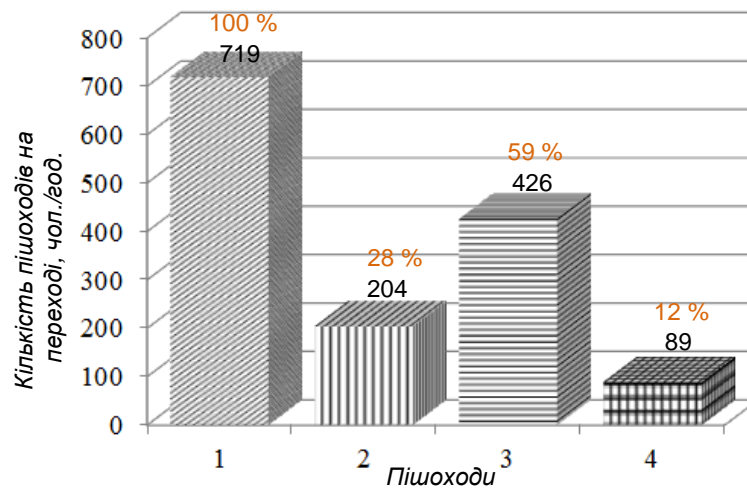
Дощова погода

$$t_z = 28c; t_u = 32c; B_{nc} = 12m; N_\phi = 985 \text{ авт./год.}$$

Рис. 2.10. Результати досліджень ПП на регульованому переході через вул. Гнатюка (з центру) (тип II); 1 – загальна кількість пішоходів, які пройшли через перехід (на заборонний та дозвільний сигнал світлофора), а також ті, які очікували дозвільного сигналу світлофора; 2 – пішоходи, які очікували дозвільного сигналу; 3 – пішоходи, які пройшли через перехід на дозвільний сигнал; 4 – пішоходи, які пройшли через перехід на заборонний сигнал



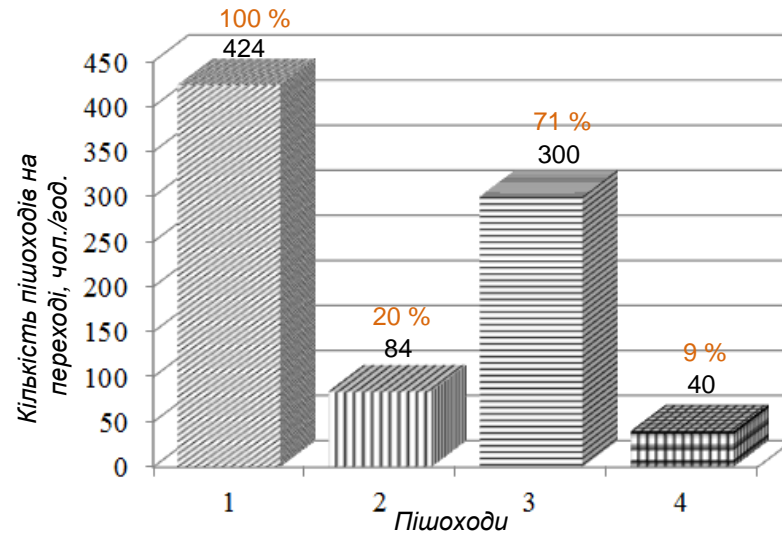
Суха сонячна погода



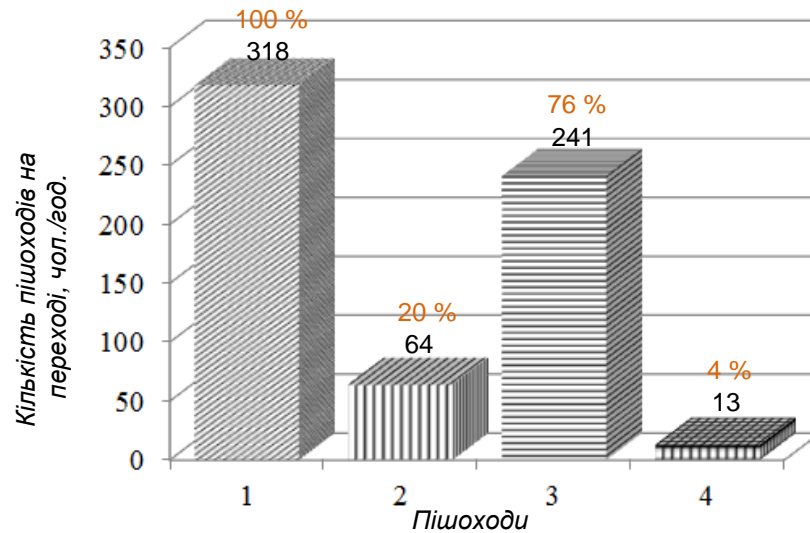
Дощова погода

$$t_z = 47 \text{ с}; t_{\text{ч}} = 19 \text{ с}; B_{\text{нч}} = 15 \text{ м}; N_{\text{ф}} = 2156 \text{ авт./год.}$$

Рис. 2.11. Результати досліджень ГПП на регульованому переході через вул. Миколайчука (на підході до перехрестя вул. Миколайчука – Замарстинівська) (тип III); 1 – загальна кількість пішоходів, які пройшли через перехід (на заборонний та дозвільний сигнал світлофора), а також ті, які очікували дозвільного сигналу світлофора; 2 – пішоходи, які очікували дозвільного сигналу; 3 – пішоходи, які пройшли через перехід на дозвільний сигнал; 4 – пішоходи, які пройшли через перехід на заборонний сигнал



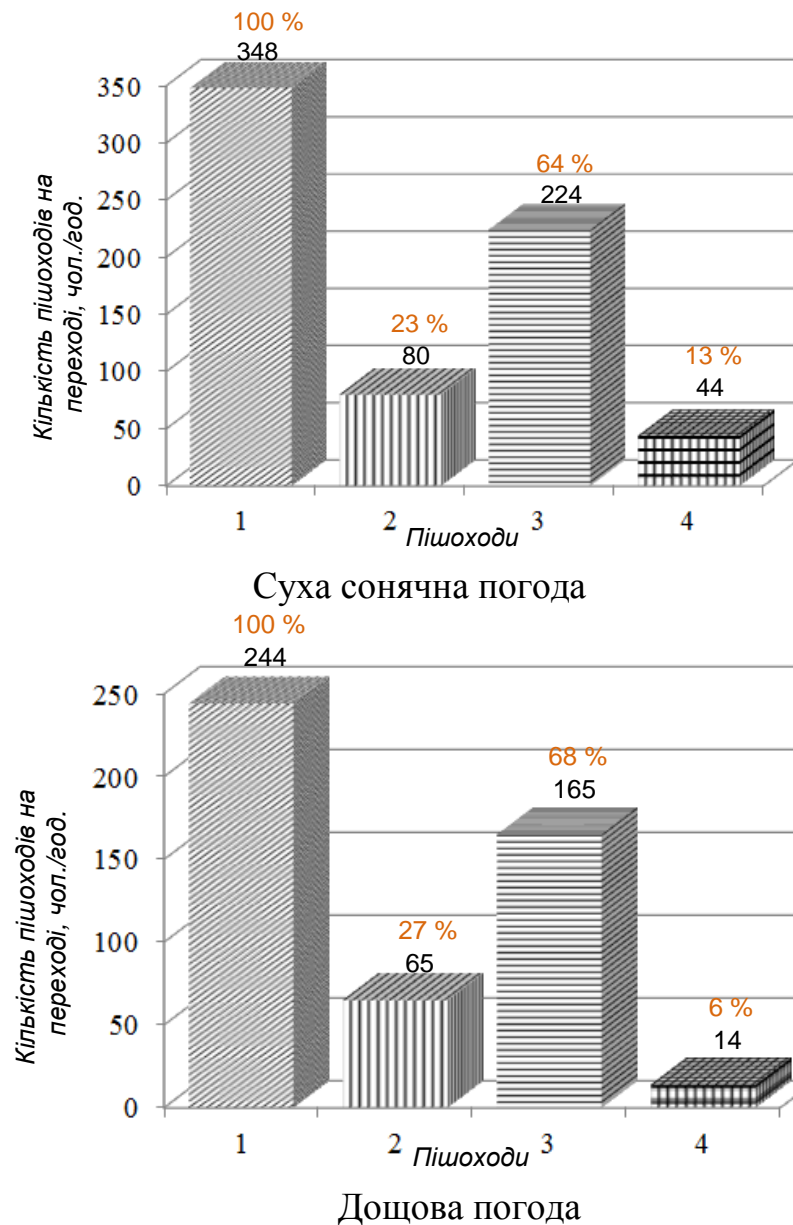
Суха сонячна погода



Дощова погода

$$t_z = 19 \text{ с}; t_u = 47 \text{ с}; B_{nc} = 11,25 \text{ м}; N_{\phi} = 1354 \text{ авт./ год.}$$

Рис. 2.12. Результати досліджень ПП на регульованому переході через вул. Замарстинівську (з центру) (тип III); 1 – загальна кількість пішоходів, які пройшли через перехід (на заборонний та дозвільний сигнал світлофора), а також ті, які очікували дозвільного сигналу світлофора; 2 – пішоходи, які очікували дозвільного сигналу; 3 – пішоходи, які пройшли через перехід на дозвільний сигнал; 4 – пішоходи, які пройшли через перехід на заборонний сигнал



$$t_3 = 19 \text{ с}; t_4 = 47 \text{ с}; B_{nc} = 11,25 \text{ м}; N_{\phi} = 1184 \text{ авт./ год.}$$

Рис. 2.13. Результати досліджень ПП на регульованому переході через вул. Замарстинівську (до центру) (тип ІІІ); 1 – загальна кількість пішоходів, які пройшли через перехід (на заборонний та дозвільний сигнал світлофора), а також ті, які очікували дозвільного сигналу світлофора; 2 – пішоходи, які очікували дозвільного сигналу; 3 – пішоходи, які пройшли через перехід на дозвільний сигнал; 4 – пішоходи, які пройшли через перехід на заборонний сигнал

В основному, за результатами аналізу рис. 2.6 – 2.13, вдалось наблизитись до підтвердження робочої гіпотези 2: у житлових районах 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 [34,82].

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 (рис. 2.6 – 2.13), за винятком того ж регульованого переходу (тип I), що не підтверджує гіпотезу 4, сформульовану під час виконання цього дослідження.

За результатами цих досліджень, а також досліджень, які проводились раніше, можна стверджувати, що нормативні підходи щодо облаштування пішохідних переходів, проектування режимів примусового регулювання руху на них мають бути відмінними для різних типів перехресть та умов пішохідного руху. Визначаються ці розбіжності найперше поведінкою пішоходів, яка залежить від їх психофізіологічних особливостей, мети переміщення та погодних умов.

2.4. Висновки до розділу

1. Досліджувані регульовані переходи умовно поділи на три типи з точки зору місця розміщення на території міста: I тип – поблизу

транспортних вузлів, II тип – центральна зона, III тип – житлова зона. Розподіл відбувався виходячи з таких критеріїв: місця розміщення на території міста, особливостей руху ПП, особливостей руху ТП, наявності центру генерації потоків.

2. Обраними методами досліджень є: натурні (для вимірювання первинних показників учасників дорожнього руху), системний аналіз (для визначення основних показників та обсягу вибірки під час їх дослідження), імітаційне моделювання (для встановлення тенденцій зміни вторинних показників).

3. За результатами натурних досліджень визначено, що зі збільшенням довжини пішохідного переходу з 4 м до 22,5 м середня швидкість пішоходів на ньому зменшується з 1,41 м/с до 1,03 м/с, тобто на 37 %. Отже, отримані результати матимуть прямий вплив на пониження ПЗ ВДМ, і як наслідок – на значення максимальної довжини черги ТЗ перед стоп-лінією та кількості пішоходів, які переходять ПЧ на заборонний сигнал світлофора.

РОЗДІЛ 3

ЗМІНА ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ І ПІШОХІДНИХ ПОТОКІВ

3.1. Методика експериментального визначення закономірностей зміни часу терпеливого очікування пішохода за різних режимів регулювання та параметрів проїзної частини

Якщо затримка пішоходів може бути визначена експериментально шляхом прямих вимірювань, то для кількісного вираження часу терпеливого очікування необхідно провести численні дослідження за процесом перетину пішоходами ПЧ. Це дозволить диференціювати чинники, які безпосередньо в тій або іншій мірі впливають на визначення часу терпеливого очікування пішохода [7]. Проте не можна нехтувати такими чинниками, як: режим СФР (адаптивний, жорсткий), інтенсивність та склад ТП, тип району, в якому розташоване перехрестя (житловий, центральний та приміський район міста), геометричні параметри ПЧ, погодно-кліматичні умови тощо.

Як зазначалось у пункті 1.3 розрахункове значення часу терпеливого очікування пішоходів приймають близько 30 – 90 с. Саме у цьому проявляється певна наукова задача для диференціації умов, які визначають цей показник, оскільки розмах його значення надзвичайно великий. Однак необхідно зважати на те, що зміна тривалості очікування інколи може суттєво впливати як на пішохідні, так і транспортні затримки.

Вітчизняна методика розрахунку часу терпеливого очікування пішоходів є достатньо простою. За цією методикою базове значення часу терпеливого очікування визначається з урахуванням тривалості заборонного сигналу для пішоходів, інтенсивності ТП (N_T) та ширини ПЧ ($B_{ПЧ}$).

Чинники, які впливають на значення часу терпеливого очікування пішоходів, впливають також і на зміну режиму СФР. Проте жодна з методик розрахунку часу терпеливого очікування пішоходів не враховує тип перехрестя та умови пішохідного руху відносно об'єктів притягання та погодно-кліматичних умов, які визначають рівень дотримання ними регламентованих правил і вірогідність їх переходу на заборонний сигнал. Хоча максимальна кількість пішоходів, які можуть пройти переходом за один цикл при заданій тривалості заборонного сигналу світлофора залежить від швидкості пішоходів та часових інтервалів між автомобілями.

Розглянемо методику поведінки пішоходів під час переходу ними ПЧ, яка використовується для вимірювання часу терпеливого очікування пішоходів.

На першому етапі роботи, використовуючи методику натурних досліджень, необхідно визначити геометричні параметри переходу та тривалість основного і заборонного сигналів світлофора; кількість пішоходів, які переходять ПЧ безпосередньо через перехід у такій послідовності: при ввімкненні дозвільного сигналу реєструвати кількість пішоходів, які переходять на одному із підходів до перехрестя; зафіксувати момент переходу останнього пішохода; реєструвати кількість накопичених пішоходів під час заборонного сигналу світлофора; реєструвати кількість осіб, які пройшли на заборонний сигнал світлофора; при ввімкненні дозвільного сигналу реєструвати ТЗ, що перетинають стоп-лінію на підході до перехрестя.

На другому етапі необхідно визначити тип регулювання (жорстке або адаптивне) та погодно-кліматичні умови руху під час дослідження.

На наступному етапі необхідно визначити швидкість, з якою пішоходи переходять через ПЧ. Для цього вимірюють ширину ПЧ та за допомогою секундоміра фіксують час, який пішоходи витрачають, щоб здійснити перехід через ПЧ. Дослід необхідно повторити не менше 20-ти разів для різних вікових категорій пішоходів (молодшого, середнього і старшого віку)

на кожному із досліджуваних переходів та визначити середню швидкість ПП.
Для вимірювань застосовується бланк, який зображено на рис. 3.1

БЛАНК ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ТЕРПЕЛИВОГО ОЧІКУВАННЯ ПІШОХОДІВ					
Загальна інформація			Додаткова інформація		
Дослідник	_____		Перехрестя	_____	
Організація	_____		Тип регулювання	_____	
Дата	_____		Тип району	_____	
Період дослідження	_____				
Схема перехрестя (переходу) та пішохідні потоки, які досліджуються					
			Ширина переходу, м	_____	
			Кількість фаз регулювання	_____	
			Тривалість циклу, с	_____	
			Час заборонного сигналу для пішоходів, с	_____	
			Час дозвільного сигналу для пішоходів, с	_____	
Номер циклу	Кількість накопичених пішоходів, осіб	Кількість осіб, які пройшли на дозвільний сигнал, осіб	Кількість осіб, які пройшли на заборонний сигнал, осіб	Середня швидкість пішоходів, м/с	Інтенсивність руху ПП, од./год.
1					
2					
3					
-					
-					
-					
n					

Рис. 3.1. Бланк для визначення часу терпеливого очікування пішоходів

Виходячи з цього, проведено ряд досліджень, які дадуть змогу об'єктивно оцінити використання сигналів світлофора під час перетину пішоходами ПЧ для різних типів перехресть в умовах ризику. З результатів теоретичних досліджень відомо, що час, необхідний для цього пішоходом, залежить від двох чинників – інтенсивності ПП і довжини пішохідного переходу. Комплексне порівняння отриманих результатів дасть можливість адекватно оцінити поведінку пішоходів під час переходу на заборонний сигнал світлофора залежно від режиму СФР та геометричних параметрів ВДМ.

Реєструвалася кількість пішоходів, які накопичувалися під час заборонного сигналу світлофора, а також ті, які здійснювали перехід під час дозвільного сигналу, та в умовах ризику. Результати дослідження часу терпеливого очікування наведені відповідно у табл. 3.1 для одного дня (робочий день тижня, з 14:30 до 15:30).

Таблиця 3.1

Результати дослідження часу терпеливого очікування пішоходів

Тип перехрестя	Перехрестя	Вулиця	Ширина переходу, м	Тривалість циклу	Час дозвільного сигналу, с	Час заборонного сигналу, с	Номер циклу	Кількість накопичених пішоходів, осіб	Кількість осіб, які пройшли на дозвільного сигнал, осіб	Кількість осіб, які пройшли на заборонний сигнал, осіб	Середня швидкість пішоходів, м/с	Сумарна інтенсивність руху ТП на переході, зв.од./год.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тип I	Перехід через вул. Городоцьку (вихід з Привокзального ринку)	Городоцька	24	78	47	25	1	9	12	5	1,36	1695
							2	5	12	6		
							3	13	13	3		
							4	2	36	9		
							5	11	19	2		
							6	1	18	1		
							7	5	35	5		
							8	11	15	5		
							9	13	31	2		
							10	8	25	3		
							11	9	27	4		
							12	3	14	2		
							13	9	11	1		
							14	8	13	6		
							15	2	9	4		

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Тип II	пр. Свободи – Гнагюка	пр. Свободи (на підході до перехрестя)	12,1	66	32	28	1	10	15	1	1,35	1365	
							2	4	10				
							3	8	15	2			
							4	8	16	3			
							5	5	11				
							6	5	14	3			
							7	6	11	2			
							8	9	8	3			
							9	7	9				
							10	9	13	2			
							11	9	16	1			
							12	10	11	1			
							13	10	12	2			
							14	4	15				
							15	8	16	4			
	пр. Свободи (на виході з перехрестя)	12,1		28	66	28	32	1	4	11	1	1,34	1254
								2	4	12	4		
								3	8	14			
								4	8	15	3		
								5	11	8	4		
								6	4	18	1		
								7	7	19			
								8	3	14	1		
								9	4	11	2		

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
							10	9	9	4		
							11	4	10	2		
							12	12	11			
							13	8	7	3		
							14	9	8	1		
							15	8	15	1		
		Гнатюка (до центру)	7,3		28	32	1	4	9	2	1,33	584
							2	4	6			
							3	4	7	3		
							4	7	7	5		
							5	8	8	1		
							6	6	8			
							7	6	5	2		
							8	2	8	3		
							9	5	13	7		
							10	2	11	2		
							11		5			
							12	2	9	5		
							13	4	6	2		
							14	5	7	6		
15	7	7	1									

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		Гнагюка (з центру)	12		28	32	1	1	11		1,36	985
							2	4	8	2		
							3	2	11	8		
							4	9	7	1		
							5	4	8	5		
							6	8	8			
							7		6	1		
							8	5	12	5		
							9	4	16	3		
							10	3	16	5		
							11	1	9			
							12	9	16	1		
							13	8	2	2		
							14	2	9	3		
							15	1	7			
Тип III	Липинського – Замарстинівська	Липинського	15	72	47	19	1	2	8	1	1,31	2156
							2	2	6	2		
							3		1			
							4	3	6	1		
							5	2	7			
							6		5			
							7	3	9			
							8	3	1	1		
							9	3				

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
							10	1	8				
							11	3	6				
							12	3	9	2			
							13	1	6	1			
							14	2	7				
							15	2	9				
	Замарстинівська (з центру)		11,3			19	47	1		8		1,29	1354
								2	2	6			
								3	1	8	1		
								4	3	1			
								5	3	7			
								6		8	2		
								7	3	5	2		
								8	1	6			
								9	2				
								10	1	7	2		
								11		1			
								12	3	1	2		
								13	1	7			
								14	1	4			
								15		6	1		

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		Замарстинівська (до центру)	11,3		19	47	1	3	4		1,3	1184
							2	1	4	2		
							3					
							4	3	7	1		
							5	1	5	2		
							6	1	5			
							7		4			
							8	2	5			
							9	5	4	2		
							10	1		1		
							11	1				
							12		6			
							13		4			
							14	2	1	3		
							15		7			

З метою дослідження поведінки пішоходів за різних режимів регулювання проаналізовано роботу регульованих перехресть (переходів) на предмет визначення тривалості терпеливого очікування пішоходів для різних типів перехресть (Додаток А). До уваги бралися перехрестя з жорстким СФР, оскільки на них сталі параметри регулювання для ТП і ПП, незважаючи на зміну їх інтенсивності.

3.2. Методика експериментального дослідження затримок у ТП залежно від параметрів регулювання

Незважаючи на те, що аналітичні та експериментальні дослідження затримок ТЗ на РП та пішохідних переходах проводилися протягом тривалого періоду часу, досі не отримано таких точних результатів, як і в інших розділах теорії масового обслуговування. Причиною є той факт, що мікроскопічні моделі опису руху автомобілів не завжди розглядалися як стаціонарний процес, оскільки в ньому спостерігаються періодичні зміни. Отже, ми можемо прогнозувати лише наближений аналіз ситуацій. Іншою причиною є те, що автомобілі, які прибувають до стоп-лінії, вже піддалися дії ряду РП та пішохідних переходів, через які вони пройшли. Тому все зводиться до багатофазної системи масового обслуговування, в якій важко визначати навіть характеристики прибуття автомобілів [22].

З цієї причини опишемо наближені методи дослідження затримок у ТП залежно від параметрів СФР. Затримка ТП тісно пов'язана з такими показниками, як: довжина черги, інтенсивність руху, ПЗ, параметри режиму регулювання.

Існує ряд різних методик вимірювання величини транспортної затримки на РП та пішохідних переходах. Транспортна затримка може бути визначена за допомогою [41]:

- спостереження за поведінкою ТЗ в потоці;
- дослідження траєкторії руху ТЗ;

– підрахунку ТЗ, що прибувають та відбувають з перехрестя кожного циклу.

У цих методиках використовуються чинники, що коректують похибки, пов'язані з прискоренням і сповільненням руху. Чинник, який враховує прискорення і сповільнення, є функцією середнього значення ТЗ в черзі у кожному циклі від швидкості вільного руху ТЗ (при русі безперешкодно).

На рис. 3.2 наведено бланк вимірювання транспортної затримки на РП пішохідних переходах, який використовується під час дослідження. Перед початком проведення дослідження необхідно натурним способом визначити швидкість вільного руху ТЗ на РП та пішохідних переходах.

БЛАНК ВИМІРЮВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАТРИМКИ НА РЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ										
Загальна інформація					Додаткова інформація					
Дослідник _____					Перехрестя _____					
Організація _____					Тип регулювання _____					
Дата _____					Тип району _____					
Період дослідження _____					Погодні умови _____					
Схема перехрестя (переходу) та транспортні потоки, які досліджуються										
Кількість смуг руху з одного напрямку, N _____										
Швидкість вільного руху, $V_{в}$, м/с _____										
Інтервал вимірювання, δt , с _____										
Загальна кількість ТЗ, що прибули, $V_{заг}$, авт. _____										
Кількість ТЗ, що зупинилися, $V_{зп}$, авт. _____										
Тривалість циклу регулювання, $T_{ц}$, с _____										
Номер циклу	Кількість ТЗ в черзі									
	Інтервал спостереження (від 10 до 20 с)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
-										
-										
-										
n										
Загальне значення										

Рис. 3.2. Бланк для дослідження транспортної затримки на регульованому перехресті

Швидкість вільного руху – це швидкість ТЗ, який прибув до перехрестя на зелений сигнал світлофора (за відсутності черги) та проїхав його безперешкодно. Для того, щоб визначити цю швидкість, необхідно знати параметри перехрестя та час, за який ТЗ проїжджає його. При цьому заміри необхідно проводити в тій частині перехрестя, де забезпечується найбільш зручний рух. Як правило, така ділянка вибирається в середній частині перехрестя [41].

Перший дослідник повинен виконувати наступні дії [41]:

1) Необхідно постійно стежити за останніми зупиненим автомобілем в черзі в кожній смузі протягом усього періоду обстеження для кожного циклу регулювання. Тут, також необхідно враховувати ті ТЗ, які прибули протягом зеленого сигналу, але змушені були зупинитися через те, що попереду стоїть ТЗ, який не встиг проїхати перехрестя.

2) Через постійні інтервали від 10 до 20 с необхідно записувати кількість ТЗ у черзі (використовуючи цифровий таймер) та вносити їх у відповідну комірку бланку (рис. 3.2). При цьому в чергу включаються всі автомобілі, що не встигли проїхати стоп-лінію, враховуючи останній автомобіль в черзі, визначення якого описано в пункті 1.

3) Наприкінці періоду обстеження необхідно продовжувати підрахунок автомобілів в черзі до тих пір, поки вибрані в якості останніх автомобілів не проїдуть стоп-лінію.

Наступний дослідник має виконувати такі дії. Протягом всього періоду обстеження необхідно підраховувати окремо загальну кількість тих ТЗ, які прибувають і, які не мали транспортної затримки, та тих, у яких вона відбувалась один і більше разів [41].

Після цього необхідно підсумувати всі результати в стовпцях, з подальшим отриманням загальних значень. Результатом цієї суми буде загальна кількість ТЗ у черзі протягом періоду обстеження. Тривалість проведення заміру для кожної смуги руху на перехресті – мінімум 10 циклів регулювання.

За результатами експериментальних вимірювань проводять розрахунок показників транспортних затримок на перехресті у такій послідовності:

а) визначається частка ТЗ, що зупинились перед стоп-лінією на перехресті [41]:

$$p_{зуп} = \frac{N_{зуп}}{N_{приб}} \quad (3.1)$$

де $N_{зуп}$ – кількість ТЗ, що зупинились перед стоп-лінією, авт.;

$N_{приб}$ – загальна кількість ТЗ, що прибули, авт.

б) кількість ТЗ, які зупинилися за 1 цикл регулювання [41]:

$$n_{ТЗ} = \frac{N_{зуп}}{n_c \cdot n_\psi} \quad (3.2)$$

де n_c – кількість смуг руху з даного напрямку;

n_ψ – кількість досліджуваних циклів регулювання.

в) розраховується тривалість перебування одного ТЗ в черзі (с/авт.) [41]:

$$d_1 = \delta t \cdot \frac{N_{дослід.}}{N_{приб}} \cdot 0,9 \quad (3.3)$$

де δt – інтервал вимірювання, с;

$N_{дослід.}$ – загальна кількість ТЗ в черзі протягом періоду дослідження, авт.;

0,9 – коефіцієнт коректування (емпіричний).

г) затримка ТЗ від прискорення та сповільнення визначається за формулою (с/авт.) [41]

$$d_2 = p_{зуп} \cdot k_1 \quad (3.4)$$

де k_1 – показник, що враховує прискорення та сповільнення ТЗ (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Поправочний коефіцієнт для визначення транспортної затримки на перехресті [41]

Вільна швидкість ТЗ, км/год	Кількість ТЗ в черзі, зв.од.		
	≤ 7 ТЗ	8 – 19 ТЗ	20 – 30 ТЗ
≤ 60	+5	+2	+1
$> 60 - 71$	+7	+4	+2
> 71	+9	+7	+5

Використовуючи дані із табл. 3.2, необхідно визначити поправочний коефіцієнт відповідно до швидкості вільного руху в даній області і кількістю зупинок автомобілів на смузі за один цикл регулювання. Цей коефіцієнт враховує затримку, пов'язану з прискоренням і сповільненням автомобілів, яку неможливо врахувати під час проведення вимірювань вручну.

д) загальна транспортна затримка на один автомобіль становитиме (с/авт.) [41]:

$$d = d_1 + d_2 \quad (3.5)$$

Обстеження на місцевості має закінчуватися в тому разі, коли в кінці інтервалу спостереження черга все ще залишається. При цьому до уваги беруться лише автомобілі, які під'їхали до перехрестя протягом даного інтервалу.

Під час виконання експериментальних досліджень у цій роботі спочатку визначалися показники (режим СФР, параметри перехрестя), які впливають на величину транспортної затримки. Зведений розрахунок результатів транспортної затримки з інтервалом спостереження 10 с протягом 10 циклів наведено у табл. 3.3.

Використовуючи формули (3.1 – 3.5), проведемо розрахунок показників транспортних затримок на всіх типах РП та пішохідних переходів (наведених на рис. 2.6 – 2.13.), а їх остаточні результати наведемо у табл. 3.4.

Таблиця 3.3

Результати вимірювання транспортної затримки

Тип перехрестя	Перехрестя	Вулиця	Кількість смуг руху	Тривалість циклу, с	Час дозвільного сигналу, с	Час заборонного сигналу, с	Загальна кількість ТЗ, що прибули	Кількість ТЗ, що зупинились	Номер циклу	Кількість ТЗ в черзі							
										Інтервал спостереження – 10 с							
										1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Тип I Перехід через вул. Городоцьку (вихід з Привокзального ринку) Городоцька (до вокзалу)	3	78	47	25	958	841	1	3	2	5	4	9	5	3	3		
							2	2	5	6	9	9	4	2	1		
							3	3	2	4	8	9	4	5	2		
							4	2	4	3	9	7	2	2			
							5	4	3	6	3	7	2	4	2		
							6	2	3	2	2	8	3	2	1		
							7	4	2	6	2	6	2	3			
							8	4	3	7	10	5	6	4	2		
							9	4	3	2	9	2	7	4	3		
							10	4	2	5	10	9	3	4	3		
							Загальне значення	32	29	46	66	71	38	33	17		

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		Городоцька (від вокзалу)	3		47	25	737	578	1	4	3	7	3	5	6	3	
									2	2	2	5	9	3	7	3	1
									3	3	4	3	10	8	4	4	3
									4	4	5	2	6	2	5	2	1
									5	3	5	3	5	8	3	3	1
									6	3	2	7	4	4	2	2	2
									7	3	3	5	9	2	4	2	3
									8	3	5	4	8	3	5	2	
									9	3	5	7	4	2	4	4	3
									10	3	4	4	2	6	6	3	1
									Загальне значення								
Тип II	пр.Свободи – Гнатюка	пр. Свободи	3	66	32	28	1365	958	1	3	1	7	2	2	4	1	
									2	3	2	4	3	3	2		
									3	1	2	5	4	6	3	2	
									4	3	5	4	5	6	5	2	
									5	2	1	4	8	6	4	3	
									6	3	1	5	2	2	1	2	
									7	2	5	5	8	5	5		
									8	3	5	4	5	4	2	1	
									9	1	4	8	4	7	2	1	
									10	3	1	3	7	3	1	1	
									Загальне значення								

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		Гнатюка (до центру)	1		28	32	485	247	1	3	3	5	2	3	1	2	
									2	1	4	5	2	2	4	1	
									3	2	1	2	7	3	1	3	
									4	3	3	4	2	4	3	2	
									5	1	2	2	2	5	1	3	
									6	2	1	3	6	3	3	3	
									7	3	2	4	2	5	4	2	
									8	2	1	3	8	5	3	2	
									9	3	1	3	4	4	3	3	
									10	1	2	5	3	5	2	1	
		Загальне значення	21	20	36	38	39	25	22								
		Гнатюка (з центру)	2		28	32	647	378	1	5	4	4	4	2	4	3	
									2	3	2	4	4	5	3	2	
									3	2	1	5	3	6	4	2	
									4	1	4	2	2	3	2	1	
									5	3	4	2	3	5	3	1	
									6	1	1	3	5	2	1	2	
									7	2	3	4	8	3	3	2	
									8	1	4	2	5	3	1	3	
									9	1	1	5	7	6	4	1	
10	3								1	5	4	2	3	3			
Загальне значення	22	25	36	45	37	28	20										

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Тип III	Липинського – Замарстинівська	Липинського (до центру)	2	72	47	19	1123	756	1	2	2	1	3	4	1	3	
									2	1	4	3	5	6	2	2	2
									3	3	3	5	5	6	2	2	
									4	3	3	1	4	1	2	3	2
									5	3	3	2	1	4	1	3	1
									6	3	2	1	6	1	1	2	
									7	1	3	4	2	5	1	2	1
									8	1	3	3	5	6	1	3	
									9	3	1	3	3	4	3	1	
									10	1	4	5	7	4	3	1	1
		Загальне значення	21	28	28	41	41	17	22	7							
		Липинського (від центру)	2	47	19	988	608	1	2	2	6	3	6	2	1	2	
								2	3	3	6	3	4	1	3		
								3	2	2	5	2	5	4	1	2	
								4	2	3	1	4	5	1	2		
								5	1	1	5	8	7	4	3	2	
								6	2	4	5	1	2	4	2		
								7	1	1	3	2	2	4	2	1	
								8	1	2	5	3	4	2	2	2	
								9	3	3	4	1	6	1	1		
10	1							2	2	3	3	1	2	1			
Загальне значення	18	23	42	30	44	24	19	10									

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		Замарстинівська (від центру)	1		19	47	547	344	1	2	5	2	3	4	3	3	2
									2	1	2	5	3	5	2	3	
									3	1	2	1	9	6	2	3	2
									4	2	2	5	4	2	2	2	
									5	1	3	1	1	4	3	3	1
									6	1	2	4	7	4	3	1	1
									7	1	5	2	8	2	2	1	
									8	1	3	5	4	2	2	3	1
									9	2	5	3	9	6	2	2	
									10	1	2	2	5	2	2	3	1
		Загальне значення	13		31	30	53	37	23	24	8						
		Замарстинівська (до центру)	2		19	47	681	471	1	1	1	5	8	2	1	2	
									2	2	1	3	8	5	2	3	2
									3	1	3	3	1	1	1	3	
									4	1	3	5	4	6	1	1	1
									5	1	2	5	2	4	2	3	2
									6	2	1	1	2	2	4	3	
									7	1	2	5	3	1	5	3	1
									8	2	2	1	10	1	4	3	
									9	2	2	3	5	5	1	2	2
10	2			3					6	4	3	2					
Загальне значення	15	20	37	47	30	23	23	8									

Таблиця 3.4

Результати вимірювань показників транспортних затримок

Тип перехрестя	Перехрестя	Вулиця	Частка ТЗ, що зупинилася перед стоп-лінією	Кількість ТЗ, що зупинились за 1 цикл регулювання	Тривалість перебування одного ТЗ в черзі, с/авт.	Затримка ТЗ від прискорення та сповільнення	Загальна транспортна затримка на один автомобіль, с/авт.
Тип I	Перехід через вул. Городоцьку (вихід з Привокзального ринку)	Городоцька (до вокзалу)	0,88	28	3,1	0,88	1,76
		Городоцька (від вокзалу)	0,78	19	3,8	1,57	2,35
Тип II	пр. Свободи – Гнатюка	пр. Свободи	0,70	32	1,5	0,70	1,40
		Гнатюка (до центру)	0,51	12	3,7	1,02	1,53
		Гнатюка (з центру)	0,58	19	3,0	1,17	1,75
Тип III	Липинського – Замарстинівська	Липинського (до центру)	0,67	38	1,6	0,67	1,35
		Липинського (від центру)	0,62	30	1,9	0,62	1,23
		Замарстинівська (від центру)	0,63	34	3,6	0,63	1,26
		Замарстинівська (до центру)	0,69	24	2,7	0,69	1,38

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.).

Якщо враховувати, що на регульованому пішохідному переході на вул. Городоцькій (тип I) тривалість світлофорного циклу становить 78 с, зведена інтенсивність ТП на вулиці Городоцькій (до вокзалу) складає – 958 зв.од./год., в протилежному напрямку – 737 зв.од./год., кількість ТЗ в черзі, яка сформувалася за час заборонного сигналу світлофора ($t_{заб} = 25 \text{ с}$), дорівнюватиме відповідно 33 та 31 авт. Упродовж години, яка має 46 циклів, кількість ТЗ в черзі, які мали зупинку, становить 1518 автомобілів до вокзалу та 1426 автомобілів від вокзалу. Черга ТЗ перевищує інтенсивність руху ТП на розглянутому напрямку, оскільки протягом періоду обстеження фіксувалася кількість ТЗ, у яких відбулася транспортна затримка один і більше разів. Схожу тенденцію спостерігаємо і у центральній та житловій зоні, де кількість ТЗ з черги перевищує інтенсивність ТП.

Отримані результати свідчать про потребу у подальших дослідженнях вимірювання транспортної затримки з урахуванням різних типів перехресть (Додаток Б). За даною методикою вимірювання транспортної затримки, проаналізовано 30 РП (пішохідних переходів).

Отримані результати вимірювання транспортної затримки на РП та пішохідних переходах для різних типів свідчать про те, що, користуючись в сучасних умовах традиційними методами визначення кількості ТЗ, які зупинились за 1 год (довжина черги), можна отримати значні похибки, оскільки вони враховують ТЗ, у яких відбулася транспортна затримка один і більше разів. Отже, для визначення довжини черги ТЗ перед стоп-лінією необхідне проведення моделювання ТП з урахуванням зведеної інтенсивності ТП та тривалості СФЦ.

3.3. Методика виконання теоретичних досліджень з використанням моделювання в середовищі PTV VISSIM

Інструментарієм в оцінці режимів роботи ТП та ПП є багато існуючих вітчизняних та закордонних програм і проектів, у рамках яких відбувається дослідження, моделювання й аналіз стану ВДМ міст. Серед них як потужні комплекси, рівня програмних продуктів компанії PTV VISSIM, так і прості математичні моделі в кілька формул [52].

Створення моделі в середовищі PTV VISSIM проводилось в певній послідовності, зокрема, калібрується карта досліджуваних перехресть, будуються вулиці, що підходять до перехресть, задається їхня ширина та кількість смуг. За результатами натурних досліджень (Додаток Б) створено ТП на кожному підході до перехрестя, задано їхній склад, дозволені напрямки та маршрути руху. Для кожного типу ТЗ задається швидкість руху та її обмеження на поворотах. Враховуючи, що рух на перехрестях регулюється СФР, були створені сигнальні групи для кожної фази, задано тривалості дозвільних та забороняючих сигналів (Додаток Б). Для підвищення безпеки руху задано відповідні пріоритети для певних ТП під час проїзду перехрестя в одній фазі регулювання: пріоритет надано прямоїдучим над лівоповоротними потоками, також створено зони конфлікту правоповоротних та лівоповоротних потоків з прямоїдучими в одній смузі.

Встановлено вимірювальні пункти на кожному з підходів для визначення довжини черги ТЗ (в метрах) та затримок ТП на перехресті в цілому (с/авт.).

Моделювання пішохідного руху на РП та пішохідних переходах проведено за аналогією до того, як і руху ТЗ. Для цього необхідно задати вхідний ПП, пізніше при необхідності задати маршрути руху пішоходів. Основними параметрами пішохідного руху в межах переходів в одному рівні є наявність і кількість переходів, інтенсивність та швидкість пішохідного руху, наявність точок тяжіння для пішоходів в межах або поблизу розглянутого перехрестя (тип I, II та III). Для більшої наочності розглянемо експериментальний приклад, емпіричні дані для якого з Додатку А. Зважаючи на велику кількість параметрів, зазначимо лише найважливіші – швидкість та кількість порушень пішоходів.

Отже, виникає необхідність вивчити особливості формування й перерозподілу як транспортних, так і ПП в умовах специфічних інженерно-планувальних рішень перехресть міських магістралей [52].

Для порівняння показників, отриманих на різних типах перехресть, використано моделювання у програмному середовищі PTV VISSIM початковими даними отриманими у натурних дослідженнях. В результаті визначено довжину черги ТЗ з метою оцінки оптимальних відстаней між перехрестями і з урахуванням поведінки пішоходів та обгурнтування раціонального режиму регулювання. У цьому дослідженні обмежилися 3-ма РП (пішохідними переходами) – тип I, II та III. (табл. 3.5).

Результати моделювання максимальної довжини черги ТЗ відносно стоп-лінії перед регульованим пішохідним переходом з урахуванням зведеної інтенсивності ТП та тривалості заборонного сигналу наведено у Додатку В. Метою моделювання стало, крім цього, удосконалення в проектуванні режимів роботи СФР у міських районах зі щільною забудовою і, відповідно, невеликою протяжністю ділянок вулиць між регульованими перехрестями. Це дає можливість враховувати інтенсивність ПП та ТП, а також особливості їх поведінки, мінімізувати затримки на переміщення людей територією міста.

Таблиця 3.5

Результати дослідів під час моделювання

Тип перехрестя	Перехрестя	Вулиця	Середня транспортна затримка на один автомобіль, с·авт./год		Кількість ТЗ, що зупинились за 1 год (на основі програмного продукту PTV VISSIM)	Максимальна довжина черги, м (на основі програмного продукту PTV VISSIM)
			Результати натурних досліджень	На основі програмного продукту PTV VISSIM		
Тип I	Перехід через вул. Городоцьку (вихід з Привокзального ринку)	Городоцька (до вокзалу)	4,11	8,98	595	84,5
		Городоцька (від вокзалу)			331	55,1
Тип II	пр. Свободи – Гнатюка	пр. Свободи	4,68	7,41	280	47,6
		Гнатюка (до центру)			170	37,2
		Гнатюка (з центру)			269	42,3
Тип III	Липинського – Замарстинівська	Липинського (до центру)	5,22	6,54	388	47,9
		Липинського (від центру)			310	53,6
		Замарстинівська (від центру)			359	65,3
		Замарстинівська (до центру)			286	54,8

3.4. Висновки до розділу

1. Вітчизняна методика розрахунку часу терпеливого очікування пішоходів враховує лише тривалість заборонного сигналу для пішоходів, інтенсивність ТП та ширину ПЧ. Проте не враховано тип перехрестя та умови пішохідного руху відносно об'єктів притягання та погодно-кліматичні умови, які визначають рівень дотримання ними регламентованих правил і вірогідність їх переходу на заборонний сигнал світлофора.

2. Розроблено бланк для дослідження поведінки пішоходів на РП та пішохідних переходах, де враховуються геометричні параметри перехрестя, тривалість основного і заборонного сигналів світлофора, кількість пішоходів, які переходять ПЧ безпосередньо через перехід.

3. За результатами дослідження затримок ТП перед стоп-лінією можна стверджувати, що найбільша транспортна затримка спостерігається на перехрестях типу I – 2,35 – 1,76 с./авт. Якщо порівнювати РП при однаковій інтенсивності руху ТП (900 – 1100 зв.од./год.) для перехресть типу I та III, то транспортна затримка на перехрестях типу I збільшується приблизно на 20%. Також варто зазначити, що перехрестя типу II мають більшу інтенсивність ТП, ніж перехрестя типу I, а значення транспортної затримки – менше (1,4 – 1,75 с/авт.).

4. Дослідження максимальної довжини черги ТЗ перед стоп-лінією розроблено у програмному середовищі PTV VISSIM на прикладі перехресть 3-х типів. Результати моделювання довжини черги ТЗ відносно стоп-лінії перед регульованим пішохідним переходом з урахуванням зведеної інтенсивності ТП та тривалості заборонного сигналу наведено з метою визначення параметрів циклу, виходячи із відстані між суміжними перехрестями з урахуванням їх типу, який ґрунтується на особливостях руху.

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РЕГУЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПОВЕДІНКИ ПІШОХОДА

4.1. Формування теоретичної моделі для дослідження затримок за різних режимів регулювання

Одними з основних показників і явищ, які впливають на значення тривалості циклу СФР, є утворення і прискорення груп автомобілів під час проїзду РП та пішохідних переходів. Неправильно визначені параметри керування роботою світлофорів спричиняють накопичення черг автомобілів перед перехрестями.

Розглянемо процес утворення груп автомобілів у ТП. В умовах СФР ТЗ формуються в окремі групи, в яких накопичуються ТЗ перед «стоп-лінією» в період увімкненого заборонного сигналу. Після увімкнення дозвільного сигналу ТЗ залишають перехрестя із затримкою. Наприклад, якщо на досліджуваному напрямку перед стоп-лінією відводиться дозвільний сигнал світлофора 30 с, то час ефективного зеленого сигналу зазвичай визначається як дійсне значення основного такту, мінус сума стартової затримки (2 – 3 с) і кінцевої затримки, необхідної для звільнення перехрестя (2 – 4 с) залежно від тривалості жовтого сигналу.

Для визначення довжини черги ТЗ обрано спеціалізований програмний продукт PTV VISSIM, в основу якого закладено модель Відермана. Основна ідея моделі полягає в тому, що водій ТЗ, який рухається з більш високою швидкістю, починає гальмувати при досягненні своєї індивідуальної межі відчуття відносно віддаленості від переднього ТЗ, який рухається за ним, коли дистанція до нього починає сприйматися як недостатня. Водій не може точно оцінити швидкість автомобіля, який рухається попереду, тому він буде сповільнюватись до моменту, поки відстань між ТЗ не буде сприйматись

занадто великою. Результатом таких дій стає періодичне прискорення чи сповільнення. З допомогою функцій розподілу для швидкості та дистанції імітується різна поведінка водіїв.

Недоліком PTV VISSIM є неможливість відтворення руху ТЗ з урахуванням фізичного впливу на автомобіль багатьох зовнішніх чинників (коефіцієнт зчеплення з поверхнею, опір повітря, рух вгору або вниз, рух нерівною поверхнею, рух у різний час доби/року тощо), проте в цьому напрямку на такому рівні не працює жодна з відомих імітаційних моделей.

Як зазначалося раніше, черга ТЗ утворюється під час заборонного сигналу світлофора, довжину якої визначають за останнім зупиненим автомобілем у кожній смузі протягом усього періоду обстеження. Для визначення довжини черги ТЗ перед стоп-лінією 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 проводиться за таким алгоритмом:

а) створення моделі заданого типу ТЗ (легковий автомобіль, вантажний, автобус) та їх відсоткового співвідношення у складі ТП (табл. 4.1);

Таблиця 4.1

Початкові дані для моделювання руху ТЗ

Тип ТЗ	швидкість заданого типу ТЗ (за конкретного випадку визначається методами натурних досліджень), 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;

На рис. 4.1 зображено типовий інтерфейс процесу моделювання (створення візуалізації).

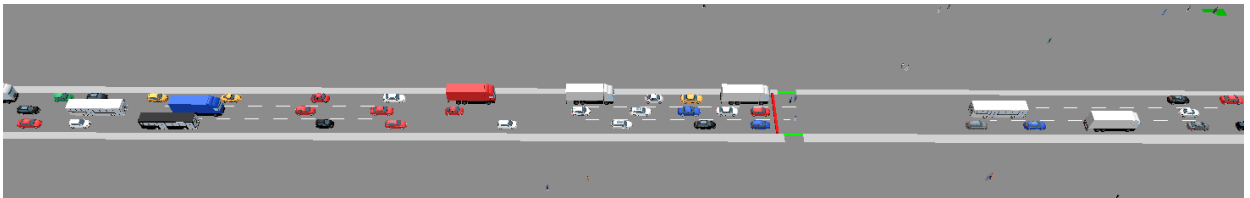


Рис. 4.1. Типовий інтерфейс процесу моделювання (створення візуалізації)

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

Після впровадження усіх заходів, що зазначені в алгоритмі моделювання, отримано значення довжини черги ТЗ залежно від значення інтенсивності ТП та часу 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):

$$L_M(t_3, N_\phi) = 110,2606 - 5,0874 \cdot t_3 - 0,02271 \cdot N_T \quad (4.1)$$

Для оцінки адекватності моделі (4.1), виведеної у програмному середовищі MATLAB, використовують коефіцієнт детермінації R^2 , який становить – $R^2 = 0,71$. 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. 4.2.

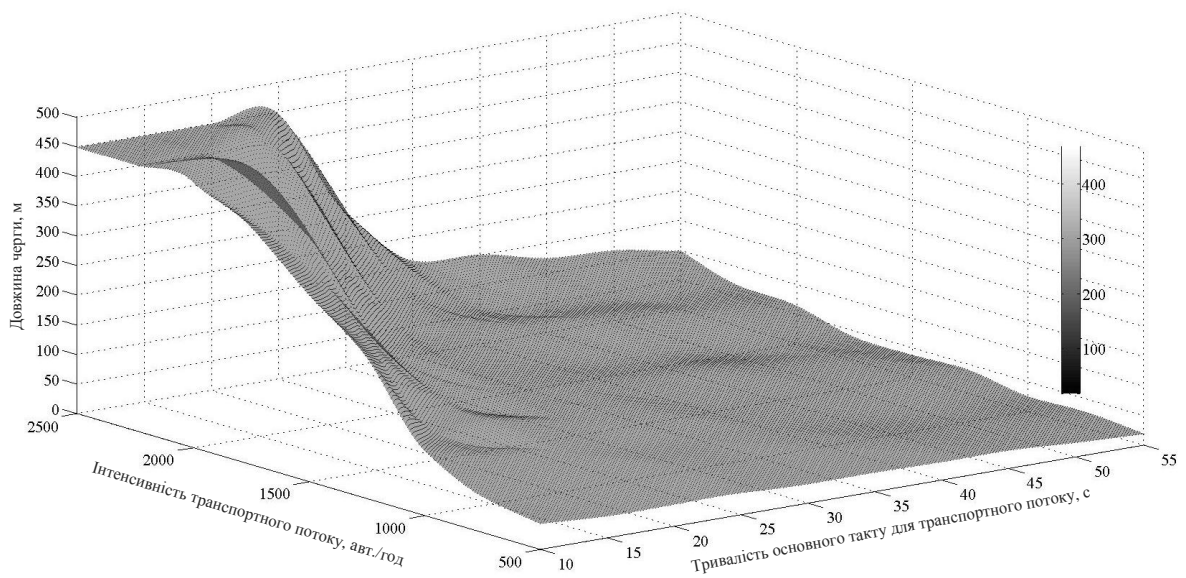


Рис. 4.2. Результати дослідження зміни довжини черги залежно від інтенсивності ТП та тривалості основного такту

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).

Отримана залежність зміни довжини черги залежно від інтенсивності ТП та тривалості основного такту є адекватною та може використовуватись у подальших дослідженнях. Однак не враховано вплив таких чинників, як місце розміщення перехрестя відносно території міста (тип I – III), геометрично-планувальні характеристики перехрестя та пішохідного переходу, умови руху, погодно-кліматичні умови тощо.

Дослідження ТП за ненасиченого стану дадуть можливість під час подальшого моделювання збільшувати інтенсивність ТП та його неоднорідність з метою оцінки динаміки зміни інших показників, а також визначення ступеня їх впливу.

4.2. Модель поведінки пішоходів залежно від інтенсивності руху та довжини переходу

У попередньому розділі викладено методику дослідження часу терпеливого очікування пішоходів (кількість порушень) за різних режимів регулювання, параметрів ПЧ для різних типів перехресть та пішохідних переходів. Для дослідження поведінки пішоходів залежно від інтенсивності їх руху та довжини переходу проаналізовано роботу перехресть та пішохідних переходів з різними жорсткими тривалостями заборонного сигналу для пішоходів (від 26 до 115 с). Опрацювання результатів цього дослідження виконано з 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. 4.3). 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. 4.3 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 погодно-кліматичних умов з метою отримання достовірніших моделей.

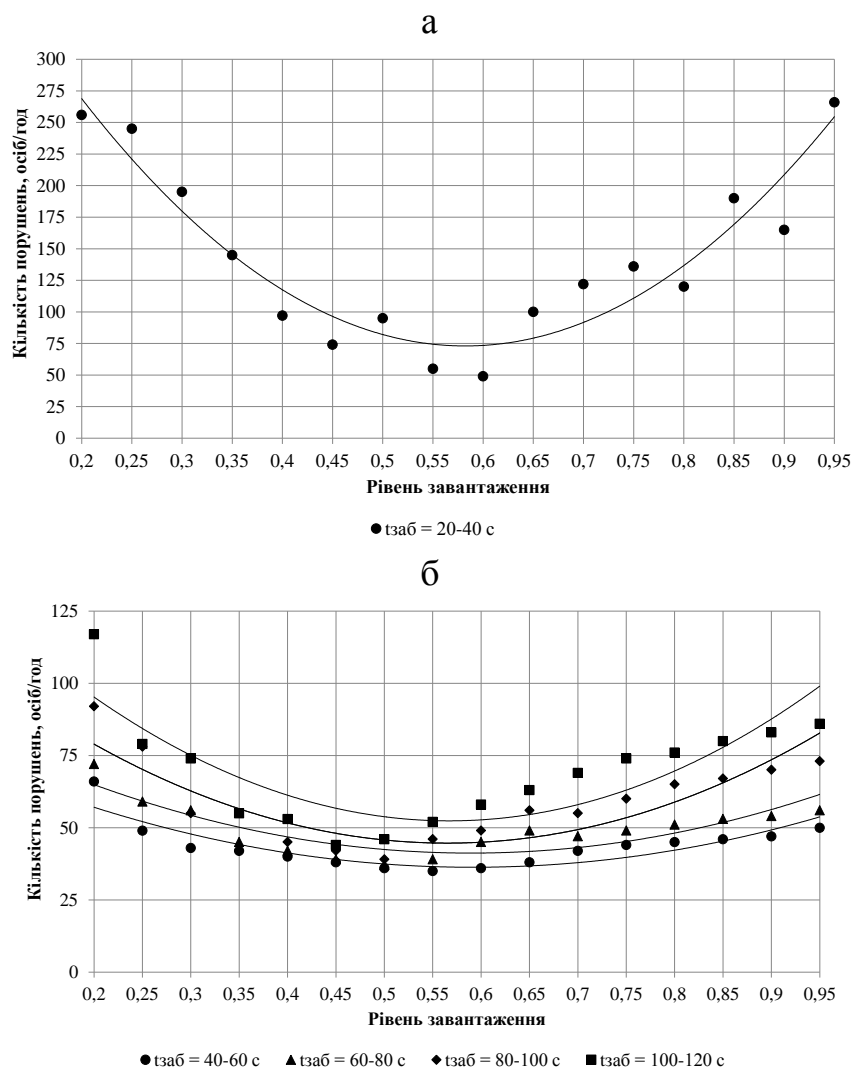
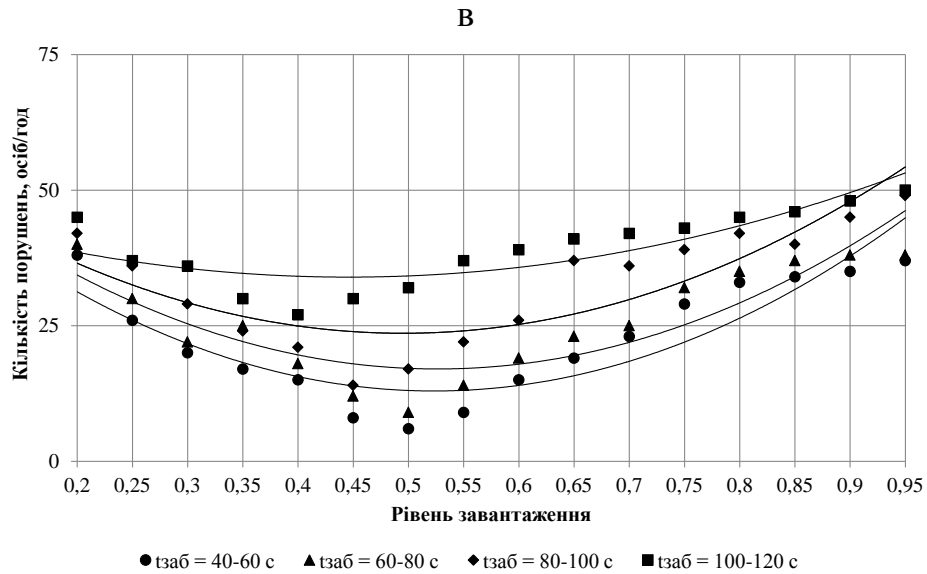


Рис. 4.3. Експериментальні та теоретичні апроксимовані залежності кількості порушень пішоходами ПДР від рівня завантаження перед стоп-лінією: а – тип I; б – тип II; в – тип III; $t_{заб}$ – тривалість заборонного сигналу світлофора для ТП



Продовження рис. 4.3

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, вираженого через величину інтервалу між автомобілями. За рівнів завантаження ПЧ перед стоп-лінією 0,4 – 0,6 (для трьох типів перехресть) 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.

Залежність кількості порушень пішоходами вимог світлофора від рівня завантаження є нелінійною і може описуватися квадратичним рівнянням:

$$N_{\text{порушень}} = a \cdot z^2 + b \cdot z + c \quad (4.2)$$

де $N_{\text{порушень}}$ – кількість порушень, ос./год;

z – рівень завантаження;

a, b, c – коефіцієнти степеневі функції.

Отримані графічні залежності, які представлені на рис. 4.3, описуються степеневими функціями. Виведення їх коефіцієнтів проведено в середовищі MATLAB та перевірено заданням многочлена з визначеними властивостями із використання теорема Вієта. Отримані результати залежності кількості порушень пішоходами ПДР від рівня завантаження для 3-х типів перехресть наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Залежності кількості порушень пішоходів від рівня завантаження

Тривалість заборонного сигналу, с	Формули	Коефіцієнт детермінації, R^2	Номер формули
1	2	3	4
Тип I			
20 – 40	$N_{\text{порушень}} = 1341,3 \cdot z^2 - 1562,6 \cdot z + 527,55$	0,89	4.3
Тип II			
40 – 60	$N_{\text{порушень}} = 135,64 \cdot z^2 - 160,43 \cdot z + 83,757$	0,78	4.4
60 – 80	$N_{\text{порушень}} = 156,23 \cdot z^2 - 184,17 \cdot z + 95,505$	0,74	4.5
80 – 100	$N_{\text{порушень}} = 257,28 \cdot z^2 - 290,76 \cdot z + 126,83$	0,71	4.6
100 – 120	$N_{\text{порушень}} = 318,14 \cdot z^2 - 360,83 \cdot z + 154,7$	0,70	4.7

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4
Тип III			
40 – 60	$N_{\text{порушень}} = 175,21 \cdot z^2 - 183,32 \cdot z + 60,92$	0,79	4.8
60 – 80	$N_{\text{порушень}} = 162,68 \cdot z^2 - 171,22 \cdot z + 62,09$	0,77	4.9
80 – 100	$N_{\text{порушень}} = 148,25 \cdot z^2 - 146,81 \cdot z + 59,96$	0,74	4.10
100 – 120	$N_{\text{порушень}} = 75,63 \cdot z^2 - 67,45 \cdot z + 49,01$	0,73	4.11

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.

Саме ці чинники, які часто визначали модель поведінки пішоходів під час натурних досліджень, і є причиною такого розподілу порушень умов безпеки руху (рис. 4.3). Під час цих досліджень враховували, щоб оцінити реальну потребу на час переміщення ПП, а також з метою проведення моделювання затримки ТП в умовах врахування існуючих методичних підходів та порівняти їх можливі значення у ситуаціях, коли б повністю реалізовувалась зазначена потреба пішоходів.

4.3. Визначення раціональних параметрів регулювання

Взявши за основу результати досліджень показників ТП та ПП, параметрів ВДМ, проведено обґрунтування раціональних параметрів регулювання. Раціональний режим СФР визначався такими важливими показниками, як: рівнем завантаження, часткою заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання та максимальною довжиною черги на підході до стоп-лінії. Перевірку придатності перелічених показників виконували користуючись програмним середовищем PTV VISSIM. До того ж враховувалася поведінка пішоходів для 3-х типів перехресть за особливостями руху. З цією метою була створена модель односмугового відрізка на підході до регульованого перехрестя (пішохідного переходу), схема якого наведена на рис. 4.4.

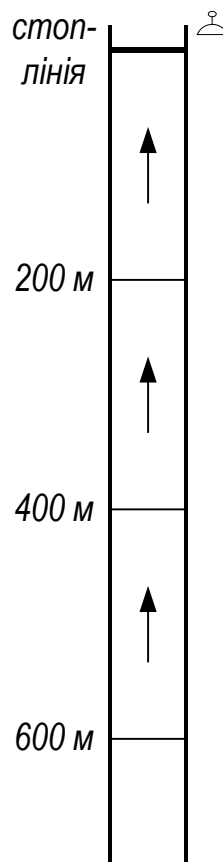


Рис. 4.4. Модель односмугового відрізка на підході до регульованого перехрестя (пішохідного переходу)

Основними чинниками, які впливають на зміну максимальної довжини черги автомобілів перед стоп-лінією, є кількість смуг у заданому напрямку руху, інтенсивність ТП, тривалість заборонного сигналу світлофора, наявність зупинок громадського транспорту, пунктів тяжіння пішоходів тощо. Крім цього на процес зміни черги ТЗ впливають динамічні властивості автомобілів та індивідуальні характеристики водія.

Кількісним параметром визначення довжини черги є рівень завантаження z , який змінюється від нуля до одиниці, причому чим більша довжина черги ТЗ, тим більше значення коефіцієнта. Основними чинниками, що впливають на значення цього коефіцієнта, є зведена інтенсивність руху ТЗ N_T ПЗ 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. ПЗ 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 – $\beta = \frac{t_{\text{ч}}}{T_{\text{ц}}}$ (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 $t_3 = 7$ 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). Аналіз усіх результатів для досліджуваних перехресть наведено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Максимальна довжина черги ТЗ перед стоп-лінією за результатами моделювання

№ досліджу	Рівень завантаження, z	Частка заборонного сигналу в циклі регулювання, β	Максимальна довжина черги, м		
			Тип перехрестя I	Тип перехрестя II	Тип перехрестя III
1	2	3	4	5	6
1	0,13	0,17	5,65	3,96	2,77
2	0,13	0,33	17,71	15,94	8,68
3	0,13	0,5	17,77	15,99	12,79
4	0,13	0,67	20,15	16,12	12,69
5	0,13	0,83	26,75	21,40	14,98
6	0,25	0,17	20,34	18,30	16,47
7	0,25	0,33	33,87	30,48	16,59
8	0,25	0,5	39,69	27,78	22,22
9	0,25	0,67	46,66	42,00	29,86
10	0,25	0,83	80,47	56,33	45,06
11	0,38	0,17	13,80	11,04	8,70
12	0,38	0,33	56,37	50,74	35,51
13	0,38	0,5	63,43	44,40	45,67
14	0,38	0,67	87,15	78,43	48,80
15	0,38	0,83	181,28	145,03	130,52
16	0,5	0,17	33,47	26,77	24,10
17	0,5	0,33	89,06	71,25	43,64
18	0,5	0,5	95,82	76,66	53,66
19	0,5	0,67	129,59	103,67	93,30

Продовження табл. 4.3

1	2	3	4	5	6
20	0,5	0,83	291,29	262,16	183,51
21	0,63	0,17	19,33	15,46	10,82
22	0,63	0,33	63,87	57,49	45,99
23	0,63	0,5	83,02	66,41	53,13
24	0,63	0,67	177,31	124,11	86,88
25	0,63	0,83	374,95	299,96	269,97
26	0,75	0,17	25,29	22,77	12,39
27	0,75	0,33	88,80	79,92	49,73
28	0,75	0,5	156,68	109,68	112,81
29	0,75	0,67	257,33	205,86	208,44
30	0,75	0,83	504,48	403,59	322,87
31	0,88	0,17	83,47	58,43	60,10
32	0,88	0,33	157,57	110,30	99,27
33	0,88	0,5	190,49	152,39	120,01
34	0,88	0,67	321,07	224,75	231,17
35	0,88	0,83	504,56	403,65	317,88

Аналіз усіх результатів дослідження (35 дослідів, які були проведені для 3-х типів перехресть) 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. 4.4).

Таблиця 4.4

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

Тип перехрестя	Формули	Коефіцієнт детермінації, R^2	Номер формули
I	$L_q = -170,76 + 273,953 \cdot z + 309,347 \cdot \beta$	0,73	4.12
II	$L_q = -135,956 + 213,994 \cdot z + 252,532 \cdot \beta$	0,72	4.13
III	$L_q = -109,650 + 175,397 \cdot z + 199,758 \cdot \beta$	0,70	4.14

Наведені емпіричні залежності вказують на те, що використання запропонованих значень рівня завантаження та частки заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання для визначення максимальної довжини черги ТЗ перед стоп-лінією свідчать про існування більших можливостей у моделюванні дорожніх ситуацій. Залежно від наявної інформації й особливостей завдання можна різним чином формалізувати схему пошуку обґрунтування раціональних режимів регулювання з метою визначення такого його значення, щоб черга ТЗ не блокувала попереднє перехрестя.

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. 4.5.

Тип перехрестя I

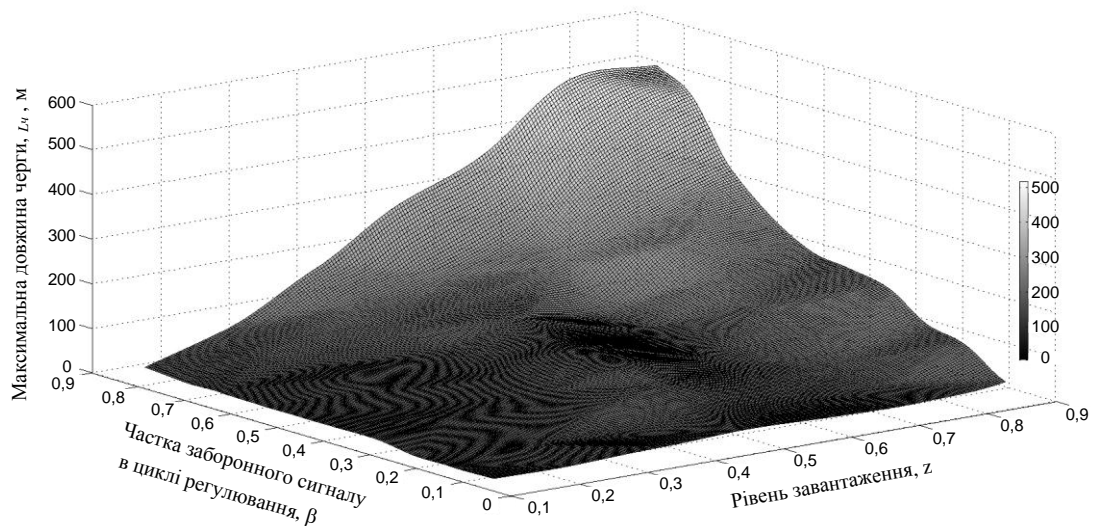
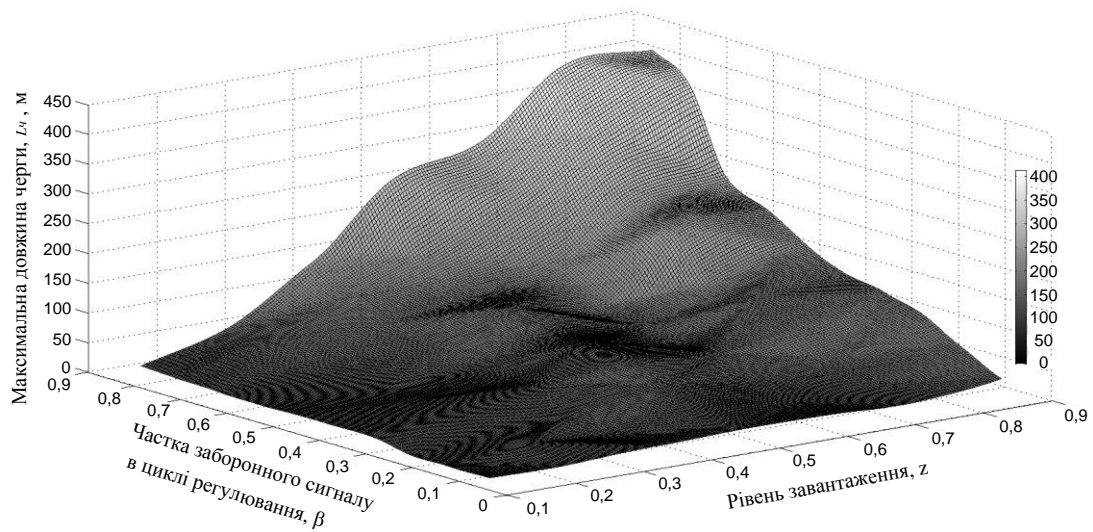
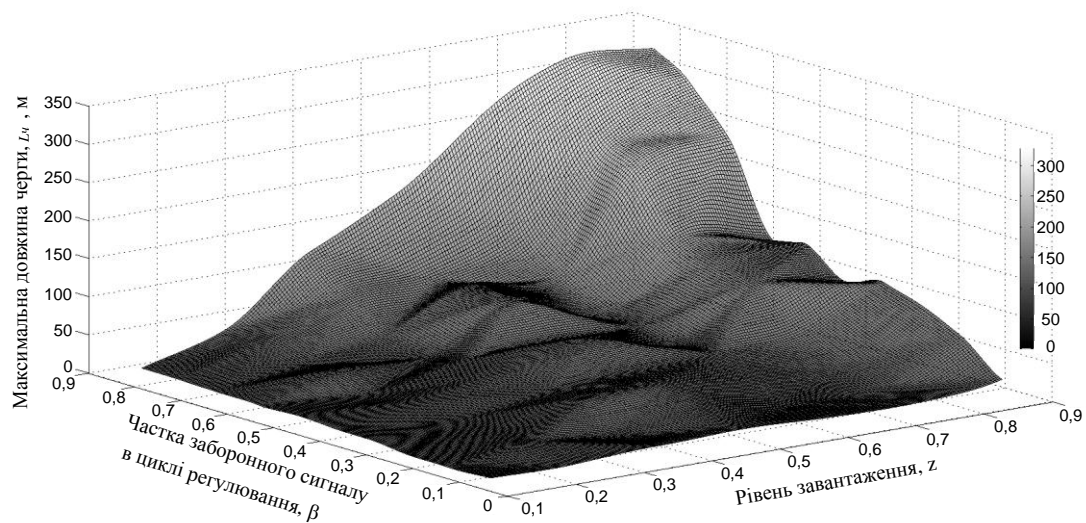


Рис. 4.5. Результати дослідження зміни максимальної довжини черги залежно від рівня завантаження та частки заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання

Тип перехрестя II



Тип перехрестя III



Продовження рис. 4.5

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.

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

4.4. Вибір раціональних режимів світлофорного регулювання з урахуванням поведінки пішохода

Під час вирішення проблеми із транспортними затримками за допомогою розширення, модернізації та вдосконалення методів управління дорожнім рухом необхідно також приділяти особливу увагу і пішоходам.

Враховуючи, що на значення величини затримок ТЗ впливає тип перехрестя та умови пішохідного руху, запропоновано формулу (2.17) помножити на поправочний коефіцієнт, який відображає вплив місцезнаходження перехрестя.

$$K_3 = \frac{T_u}{f_{зустр} \cdot \frac{N_{зустр} \cdot t_e - N_{діл} \cdot T_u}{(N_{зустр} - N_{діл})} + \frac{4,5}{t_e}} \cdot \eta, \quad (4.15)$$

η – коефіцієнт, який враховує потребу на переміщення ПП через ПЧ з урахуванням інтенсивності зустрічного ПП та частку пішоходів, які знехтували сигналом світлофора (встановлено за результатами натурних досліджень)

$$\eta = \frac{t_n^\phi}{t_n} \quad (4.16)$$

t_n^ϕ – фактична тривалість часу, який затрачає пішохід (група пішоходів) на перехід з урахуванням тих, які не завершили його на дозвільний сигнал, а також тих, які проходять на заборонний сигнал світлофора, с;

t_n – тривалість основного такту для пішоходів, с

У табл. 4.5 на основі результатів натурних досліджень наведені значення коефіцієнта η , який враховує поведінку ПП залежно від типу перехрестя, де знаходиться пішохідний перехід.

Таблиця 4.5

Значення коефіцієнта η , який враховує поведінку ПП

Тип перехрестя	Кількість смуг руху					
	1	2	3	1	2	3
	Односторонній рух			Двосторонній рух		
Тип III	1,18	1,16	1,10	1,11	1,05	1,02
Тип II	1,37	1,29	1,26	1,21	1,18	1,15
Тип I	1,53	1,41	1,37	1,34	1,28	1,24

Застосування цього коефіцієнта дає змогу визначити транспортні затримки, насамперед для 3-х типів перехресть, а отримані розрахунки є більш точними ніж під час визначення втрат часу ТЗ у ТП загалом.

З урахуванням коефіцієнта, який визначає величину затримки ТЗ, формула (2.16), що застосовується для визначення втрат часу ТП, підлягає заміні на формулу (4.17):

$$T_{\Delta} = N_{\text{оил}} \cdot t_{\Delta p} \cdot T \cdot K_3 \quad (4.17)$$

За результатами ряду досліджень та моделювання якості функціонування перехресть та пішохідних переходів, які розташовані у різних функціональних зонах (тип I – III) міста, встановлено, що транспортна затримка одних і тих же (за геометричними параметрами) перехресть з однаковою тривалістю циклу регулювання для перехресть типу I є більшою, ніж для перехресть типу III та типу II за однакової інтенсивності ТП. Так, у центральній частині міста (тип II) транспортні затримки зростають через велику чисельність пішоходів, посадки і висадки пасажирів, маневрів на стоянках автомобілів. Вплив цих чинників менш помітний у житлових районах (тип III), віддалених від центру.

Вірогідне пояснення цьому факту – прискорений ритм життя у центральній частині, звичка до швидкої їзди і більший досвід водіїв. Правда, цей факт не є загальнообов'язковим і не всі результати досліджень підтвердили це судження. У табл. 4.6 наведені результати дослідження втрати часу ТП для 3-х типів перехресть та пішохідних переходів.

Таблиця 4.6

Результати дослідження втрати часу ТП для 3-х типів перехресть та пішохідних переходах з урахуванням поведінки пішоходів

Тип перехрестя	Кількість смуг руху	Інтенсивність руху на ділянці перед перехрестям за час зеленого сигналу, од./с (N_{0it})	Інтенсивність виїзду на перехрестя потоку зустрічного напрямку за час зеленого сигналу, од./с ($N_{зустр}$)	Тривалість циклу регулювання, с (T_H)	Ефективна тривалість фаз зеленого сигналу, с (t_e)	Коефіцієнт, який враховує поведінку ПП (N_{0it})	Коефіцієнт затримки (k_3)	Середня затримка одного ТЗ, с ($t_{\Delta p}$)	Втрати часу ТП, год (T_{Δ})		
									За методикою Клишковштейна без урахування поведінки пішоходів	За методикою Клишковштейна з урахуванням поведінки пішоходів	На основі програмного продукту PTV VISSIM
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Тип III	Односторонній рух										
	1	0,13	0	35	32	1,18	1,18	1,50	0,19	0,22	0,36
	2	0,31	0	44	37	1,16	1,36	3,56	1,28	1,48	1,22
	3	0,35	0	48	40	1,41	1,65	4,09	1,67	2,35	2,36
	Двосторонній рух										
	1	0,22	0,02	46	42	1,11	1,10	1,97	0,43	0,48	0,52
	2	0,36	0,03	52	44	1,05	1,21	4,21	1,76	1,84	1,95
3	0,58	0,04	84	70	1,02	1,18	7,16	4,85	4,94	3,65	

Продовження табл. 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Тип II	Односторонній рух										
	1	0,13	0	35	32	1,37	1,36	1,50	0,19	0,26	0,42
	2	0,31	0	44	37	1,29	1,51	3,56	1,28	1,65	1,36
	3	0,35	0	48	40	1,26	1,48	4,09	1,67	2,10	2,58
	Двосторонній рух										
	1	0,22	0,02	46	42	1,21	1,20	1,97	0,43	0,52	0,76
	2	0,36	0,03	52	44	1,18	1,36	4,21	1,76	2,07	2,54
3	0,58	0,04	84	70	1,15	1,34	7,16	4,85	5,57	4,21	
Тип I	Односторонній рух										
	1	0,13	0	35	32	1,53	1,52	1,50	0,19	0,29	0,48
	2	0,31	0	44	37	1,41	1,65	3,56	1,28	1,80	1,23
	3	0,35	0	48	40	1,37	1,61	4,09	1,67	2,28	2,97
	Двосторонній рух										
	1	0,22	0,02	46	42	1,34	1,32	1,97	0,43	0,58	0,97
	2	0,36	0,03	52	44	1,28	1,48	4,21	1,76	2,25	2,89
3	0,58	0,04	84	70	1,24	1,44	7,16	4,85	6,01	5,21	

Примітка: Враховувались лише смуги руху, які обслуговують прямі і суміщені з ними поворотні транспортні потоки.

На рис. 4.6 та 4.7 відповідно на перехрестях за одностороннього та двостороннього руху наведено розподіл втрати часу ТП протягом години.

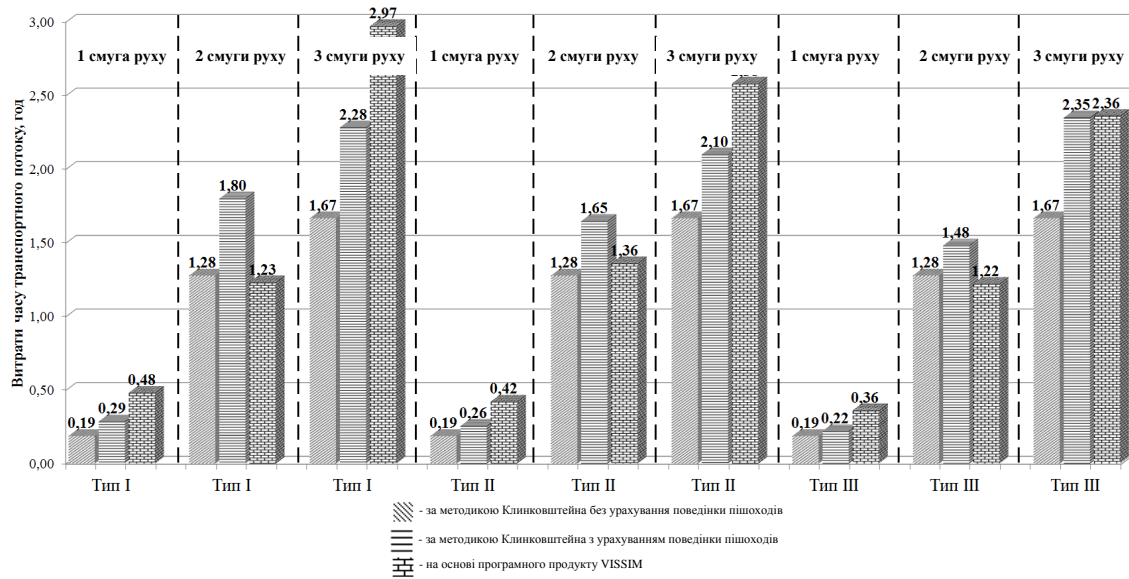


Рис. 4.6. Розподіл втрати часу ТП протягом години на перехрестях за одностороннього руху: 1 – за методикою Г.І.Клінковштейна без урахування поведінки пішоходів; 2 – за методикою Г.І.Клінковштейна з урахуванням поведінки пішоходів; 3 – на основі програмного продукту PTV VISSIM

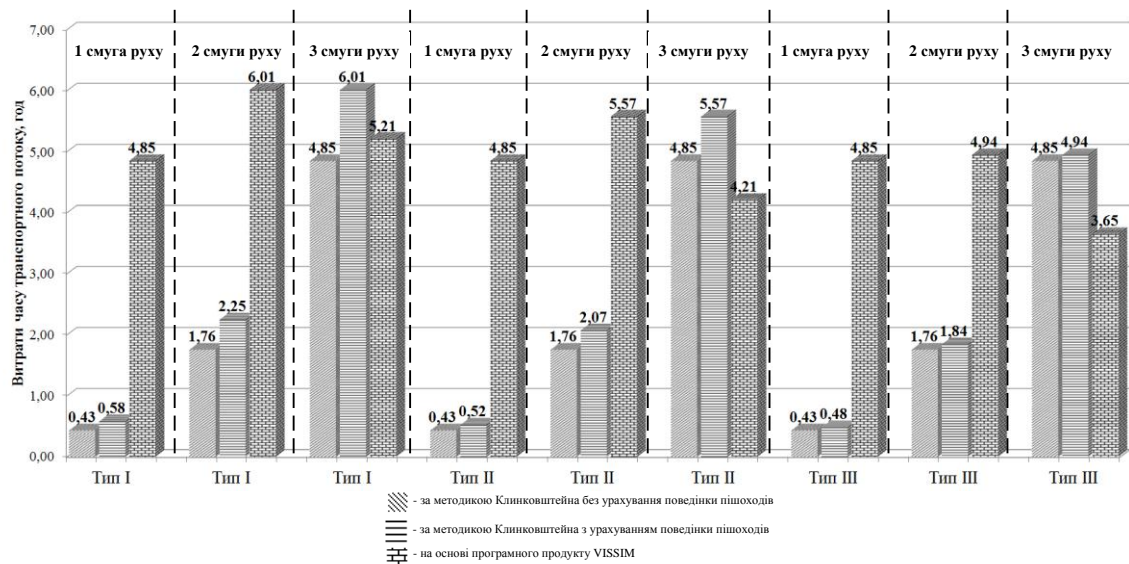


Рис. 4.7. Розподіл втрати часу ТП протягом години на перехрестях за двостороннього руху: 1 – за методикою Г.І.Клінковштейна без урахування поведінки пішоходів; 2 – за методикою Г.І.Клінковштейна з урахуванням поведінки пішоходів; 3 – на основі програмного продукту PTV VISSIM

Як видно із рис. 4.6 та 4.7 найважливішим показником, який впливає на величину транспортної затримки, є ширина ділянки перед перехрестям (кількість смуг руху). ТЗ, які виконують правий поворот, роблять вагомий вплив на величину транспортної затримки, оскільки, як правило, через малий радіус повороту водіям доводиться суттєво знижувати швидкість у порівнянні із фактичною на інших смугах руху. Крім того, пропуск ПП в одній фазі регулювання впливає на інтервали між автомобілями і ускладнює виконання маневру повороту.

Для ефективного планування РП та пішохідних перехордів на ВДМ, крім вивчення і моделювання ТП, необхідно приділяти належну увагу і ПП та аналізувати поведінку пішоходів залежно від геометричних параметрів ПЧ, місця розміщення переходу.

Під час розроблення рекомендацій щодо вибору раціонального режиму СФР важливою умовою є облік психофізіологічних і фізичних можливостей людей та прогнозування поведінки пішоходів під час розроблення відповідних технічних рішень. До психофізіологічних чинників слід, перш за все, віднести природне прагнення людей заощаджувати зусилля і час, рухаючись за найкоротшим шляхом між зазначеними пунктами. При цьому пішоходи мають різні можливості в переміщенні, початкову швидкість, найменшу інерційність і максимальну мобільність у виборі напрямку руху. Під час розроблення схем організації ПП це положення вимагає ретельного обліку.

Прогнозування поведінки пішоходів є невід'ємною ланкою випереджаючого відображення об'єктивного ходу подій у пішохідному русі. Доведено, що частота порушень вимог безпеки дорожнього руху пішоходами (перехід через ПЧ на заборонний сигнал світлофора) в значній мірі залежить від типу перехрестя за особливостями руху. На рис. 4.8 зображено структурну схему автоматизованої системи управління дорожнім рухом на регульованому переході з урахуванням поведінки пішоходів.

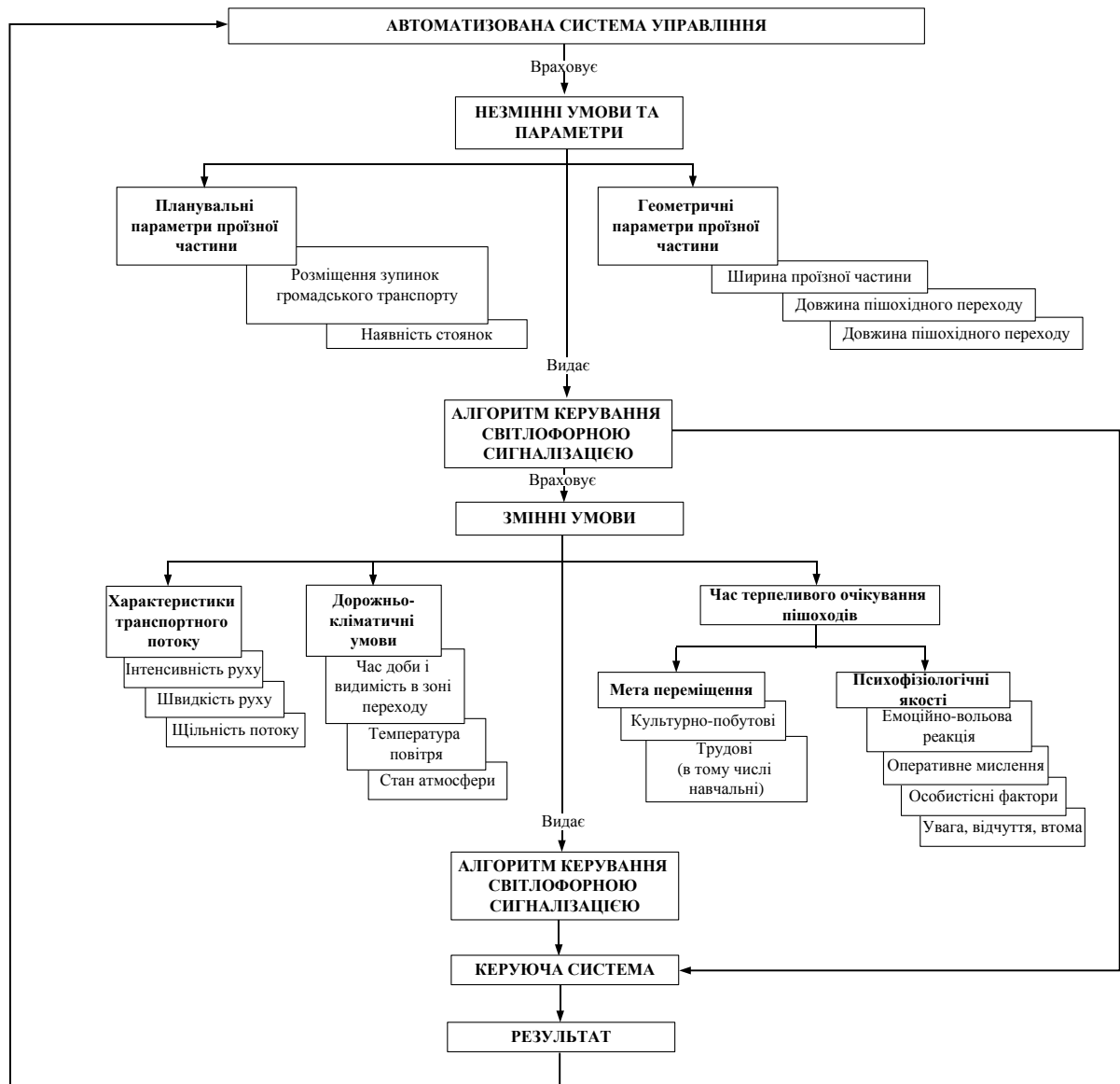


Рис. 4.8. Структурна схема автоматизованої системи управління дорожнім рухом на регульованому переході з урахуванням поведінки пішоходів

Основний зміст наведеної схеми полягає у тому, що перехрестя обладнуються автоматизованою системою управління дорожнім рухом (детектори транспорту), яка (система) враховує незмінні умови (планувальні та геометричні параметри ПЧ) та змінні умови (характеристики ТП, дорожньо-кліматичні умови та час терпеливого очікування пішоходів).

Служба дорожнього нагляду фіксує геометричні і планувальні параметри ПЧ (довжину переходу, наявність острівців безпеки, розміщення зупинок громадського транспорту тощо), гідрометцентр – дорожньо-кліматичні умови (час доби, видимість в зоні переходу, температуру повітря, стан атмосфери тощо).

Отримана інформація передається каналами зв'язку в центральний комплекс, де відбувається аналіз зібраних даних і вибір оптимальної програми СФР для кожного типу перехрестя (тип I, II та III) із умови часу терпеливого очікування пішоходів, а також зменшення сумарної транспортної затримки перед стоп-лініями.

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.

Таким чином, розроблено рекомендації щодо вибору раціональних режимів СФР залежно від затримки транспорту та поведінки пішоходів (табл. 4.7)

Таблиця 4.7

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

Отже, 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. Під час рівня завантаження $z < 0,2$ – введення світлофорного регулювання жорсткого типу не рекомендується.

4.5. Висновки до розділу

1. Під час дослідження часу терпеливого очікування пішохода (кількість порушень) за різних режимів регулювання, параметрів ПЧ для різних типів перехресть, проаналізовано перехрестя з різними жорстким тривалостями заборонного сигналу для пішоходів (від 26 до 115 с). Спостереження показали, що визначальним у прийнятті рішення поведінки

пішоходів під час переходу через ПЧ є режим регулювання та рівень завантаження. За рівня завантаження 0,5 – 0,65 для перехресть типу I (за тривалості заборонного сигналу світлофора 20 – 40 с) спостерігається найменша кількість пішоходів, які порушують режим регулювання. Для перехресть типу II за рівня завантаження 0,4 – 0,65 (за тривалості заборонного сигналу світлофора 40 – 100 с) та для перехресть типу III: 0,45 – 0,55 за тривалості заборонного сигналу світлофора 40 – 100 с від 25 – 100 осіб переходять ПЧ на заборонний сигнал світлофора.

2. Для визначення раціонального режиму регулювання використано програмне середовище PTV VISSIM, де побудовано односмуговий відрізок, а за результатами експериментальних досліджень створено змішаний ТП з часткою легкових автомобілів (для I типу перехресть – 70%; для II – 95%, для III – 80 – 85%). На цьому відрізку діє експериментальний світлофорний об'єкт жорсткого типу (тривалість заборонного сигналу змінювалася від 10 с до 105 с), вхідний потік змінювався від 50 зв.од./год до 700 зв.од./год., рівень завантаження змінювався від 0,1 до 0,9, а частка заборонного сигналу в циклі регулювання (яка визначається як відношення тривалості заборонного сигналу світлофора до тривалості циклу регулювання) змінювалася в межах від 0,1 до 0,9.

За результатами моделювання можна зрозуміти, що для перехресть I типу спостерігається найбільша черга ТЗ, яка становить 504,56 м за рівня завантаження – 0,88 та частки заборонного сигналу на смузі руху в циклі регулювання – 0,83. Якщо за цих режимів СФР порівнювати значення максимальної довжини черги для перехресть типу II (центральна зона) та типу III (житлова зона), то можна стверджувати, що довжина черги зменшується і становить відповідно 403,65 м та 317,88 м.

3. На значення величини затримок ТЗ впливає тип перехрестя та умови пішохідного руху, тому введено поправочний коефіцієнт (на основі результатів натурних досліджень), який враховує кількість смуг при односторонньому та двосторонньому русі. За результатами досліджень

функціонування перехресть для трьох типів встановлено, що транспортна затримка одних і тих же (за геометричними параметрами) перехресть з однаковою тривалістю циклу регулювання для перехресть типу I є більшою на 35% та 18% відповідно, ніж для перехресть типу II та типу III за однакової інтенсивності ТП.

4. 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. Під час 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.

б. 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аксенов В. А. Экономическая эффективность рациональной организации дорожного движения / В. А. Аксенов, Е. П. Попова, О. А. Дивочкин. – М. : Транспорт, 1987. – 127 с.
2. Андронов Р. В. Моделирование очередей на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети крупного города в условиях плотных транспортных потоков: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» / Р. В. Андронов. – Т., 2007. – 21 с.
3. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для вузов. / В. Ф. Бабаков – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
4. Безлюбченко О. С. Планування і благоустрій міст / О. С. Безлюбченко, О. В. Завальний, Т. О. Черноносова: Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 191 с.
5. Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні вимоги. Методи контролю. Правила застосування: ДСТУ 2587 – 2002. – [Чинний від 2011 – 04 – 01]. – К.: Держспоживстандарт України 2010. – 45 с. - (Національний стандарт України).
6. Боцманов В. Г. Исследование закономерностей насыщенных транспортных потоков для решения некоторых задач организации движения : дис.канд. тех. наук / В. Г. Боцманов. – МАДИ. М., 1969. – 186 с.
7. Буга П. Г. Организация пешеходного движения в городах / П. Г. Буга, Ю. Д. Шелков. – М. : Высшая шк., 1980. – 232 с.
8. Васильева Ю. А. О задержках ГОТ в зоне регулируемых перекрестков / А. Ю. Васильева, Е. А. Рейцен. – Режим доступа: <http://towntraffic.narod.ru/Russian/2006/II/vas.htm>.
9. Васильева Г. Ю. Методи мінімізації затримок транспорту на магістральній вулично-дорожній мережі міст України : автореф. дис. на

здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.20 «Містобудування та територіальне планування» / Г. Ю. Васильєва. – К., 2007. – 21 с.

10. Владимиров В.А. Инженерные основы организации дорожного движения / В. А. Владимиров. – М.: Стройиздат, 1975. – 454 с.

11. Владимиров В. А. Вопросы организации движения / В. А. Владимиров / Журнал «Городское хозяйство Москвы» №2, 1963. – С. 11 – 13.

12. Владимиров В. А. Какой нужен светофор? / В. А. Владимиров / Журнал «Городское хозяйство Москвы» №2, 1968. – С. 7 – 8.

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

14. Врубель Ю. А. Организация дорожного движения. В 2-х частях. / Ю. А. Врубель. – Минск: Белорусский фонд БДД, 1996. – 634 с.

15. Врубель Ю. А. Потери в дорожном движении / Ю. А. Врубель. – Минск: БНТУ, 2003. – 380 с.

16. Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5-2018. – [чинні від 24.04.2018 ¹ 103]. – К.: Держбуд України, 2018. – 61 с. – (Державні будівельні норми України).

17. Гаваев А. С. Анализ поведения пешеходов при пересечении проезжей части / А. С. Гаваев, А. А. Гаваева // Организация и безопасность дорожного движения : материалы VII Всероссийской научно практической конференции, 4 апреля 2014 г. – Тюмень : тюмгнгу, 2014. – С. 62 – 65.

18. Галушко В. Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте / В. Г. Галушко Изд. «Вища школа», 1976. – 232 с.

19. 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, 2018. – С. 58 – 62.

20. 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.

21. Грицунь О.М. Аналіз поведінки пішоходів на регульованих перехрестях / О.М. Грицунь // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2016. – Випуск 55. – С. 90 – 95.

22. Грицунь О.М. Утворення затримки на вулицях із світлофорним регулюванням / О.М. Грицунь / Матеріали міжнародної практичної конференції «Міські і регіональні транспортні проблеми». – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – С. 39.

23. Гуревич Л. В. Справочник проектировщика городских дорог. / Л. В. Гуревич, Ю. С. Ланцберг, К. И. Страхов. – М.: Стройиздат, 1968. – 442 с.

24. Денисенко О. В. Повышение эффективности определения потоков насыщения / О. В. Денисенко, А. С. Филимонова. – Режим доступа: archive.nbuv.gov.ua.

25. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. / Д. Дрю. ; пер.с англ. Е. Г. Коваленко, Г. Д. Шерман. – М. : Транспорт, 1972. – 424 с.

26. ДСТУ 4092–2002 «Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки». – Введ. 2002–06–03. – К.: Держстандарт України, 2002. – 27 с.

27. Енглезі І. П. Ефективність координованого управління транспортними потоками : дис. – (05.22. 01) / І. П. Енглезі. – К.– 2004. – 120 с.

28. 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.

29. Иносэ Х. Управление дорожным движением; пер. с англ. / Х. Иносэ, Т. Хамада // под ред. М. Я. Блинкина – М.: Транспорт, 1983 – 248 с.

30. Капитанов В. Т. Расчет параметров светофорного регулирования. Научно–практическое пособие / В. Т. Капитанов. – М.: МВД СССР ВНИИБДД, 1981. – 95 с.
31. Капитанов В. Т. Управление транспортными потоками в городах / В. Т. Капитанов, Е. Б. Хилажев. – М.: Транспорт, 1985. – 144 с.
32. Кеннеди Н. И. Основы организации дорожного движения. Перевод ВИНТИ № 58769/6, М., 1967. – 483 с.
33. Кисляков В. М. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов / В. М. Кисляков, В. В. Филиппов, И. А. Школяренко. – М.: Транспорт, 1979. – 200 с.
34. Клебельсберг Д. Транспортная психология / Д. Клебельсберг. ; пер. с. нем. В. Б. Мазуркевич. – М. : Транспорт, 1989. – 367 с.
35. Клинковштейн Г. И. Организации дорожного движения: учебник для вузов / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 1991. – 183 с.
36. Клинковштейн Г. И. Организация дорожного движения / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – М. : Транспорт, 2001. – 247 с.
37. Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения / В. И. Коноплянко. – М.: Транспорт, 1991. – 183 с.
38. Кременец Ю. А. Инженерные расчеты в регулировании дорожного движения: учеб. пособие / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский. – М.: Высшая школа, 1977. – 110 с.
39. 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.
40. Ланець О. С. Зміна швидкості руху пішохідних потоків у зоні регульованих перехресть / О. С. Ланець, О. М. Грицунь // Динаміка та міцність машин. – Львів, 2017. – №2(9) – С. 139 – 143.

41. Левашев А. Г. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособие / А. Г. Левашев, А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 216 с.
42. Линник І. Е. Інженерна підготовка територій населених місць / І. Е. Линник. – Х. : ХНАМГ, 2004. – 337 с.
43. Лобанов Е. М. Пропускная способность автомобильных дорог / Е. М. Лобанов, В. В. Сильянов, Ю. М. Ситников, Л. Н. Сапегин. – М.: Транспорт, 1970. – 152 с.
44. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов / Е. М. Лобанов. – М. : Транспорт, 1990. – 240 с.
45. Лобашов О. О. Моделювання впливу мережі паркування на транспортні потоки в містах / О. О. Лобашов. – Х. : ХНАМГ, 2010. – 170 с.
46. Лобашов О. О. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху»: навч. посіб. / О. О. Лобашов, О. В. Прасоленко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 221 с.
47. Метсон Т. М. Организация движения (сокращённый перевод с англ.) / Т. М. Метсон, У. С. Смит – М.: Автотрансиздат, 1960. – 464 с.
48. Містобудування. Довідник проектувальника / За ред. Т. Ф. Панченко. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2001. – 192 с.
49. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92**. – [Чинний від 2002-04-19]. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2002. – 92 с. – (Національний стандарт України).
50. Москалева Т.В. Исследование области эффективного применения принудительного регулирования движения на пересечениях магистральных улиц. Дис. . канд.техн.наук. Л., 1971 – 206 с.
51. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / За заг. ред. В. П. Поліщука; О. О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В. І. Єресов та ін. – К. : Знання України, 2012. – 467 с.
52. Осетрін М. М. Дослідження транспортних і пішохідних потоків на перетинах міських магістралей в різних рівнях / М. М. Осетрін,

Д. О. Беспалов // Містобудування та територіальне планування. – Київ, 2010. – Вип. 36. – С. 333 – 336.

53. Петров В. В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / В. В. Петров.– Омск: Изд-во СибАДИ. – 2007.– 270 с.

54. Печерский М. П. Автоматизированные системы управления движением в городах / М. П. Печерский, Б. Г. Хорович. – М.: Транспорт, 1979. – 176 с.

55. Повышение эффективности организации дорожного движения на регулируемых пересечениях А. Г. Левашев, А. Ю. Михайлов // Материалы XI международной (четырнадцатой екатеринбургской) научно–практической конференции.

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

57. Полозенко П. М. Комплексна оцінка режимів світлофорного регулювання на перехрестях : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / П. М. Полозенко. – К., 1999. – 15 с.

58. Пономаренко Л. А. Управління нестационарними транспортними потоками на регульованих перехрестях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / Л. А. Пономаренко. – К., 2006. – 18 с.

59. Рейцен Е. А. Исследование задержек транспорта в городах / Е. А. Рейцен, А. Ю. Васильева // Материалы VIII международной (одиннадцатой екатеринбургской) научно–практической конференции 14–15 июня 2002 года. Режим доступа: http://towntraffic.narod.ru/Russian/Streets_net/Reyzen.htm

60. 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.

61. Системологія на транспорті. Технологія наукових досліджень і технічної творчості: кн. 2 / [Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін.]; за заг. ред. М. Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2005. – 318 с.

62. Сосянц В. Г. Безопасность движения на городском транспорте. Научно–практическое пособие / В. Г. Сосянц, Д. С. Самойлов, В. А. Юдин. – М.: Госстройиздат, 1964. – 69 с.

63. Трушевський В. Е. Особливості корекції елементів циклу світлофорного регулювання з метою гарантування безпеки руху пішоходів / Трушевський В. Е., Грицай С. В. // Тиждень науки. Тези доповідей щорічної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів (Запоріжжя, 9–13 квітня 2012 року). – ЗНТУ, 2012. – Том 2. – С. 108 – 110.

64. Трушевський В. Е. Мінімізація затримок учасників дорожнього руху на регульованих пішохідних переходах / С. В. Грицай, В. Е. Трушевський, Д. А. Никифоровський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2014. – №5/3. – С. 25–29.

65. Трушевський В. Е. Удосконалення світлофорного регулювання при організації руху за окремими напрямками: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / В. Е. Трушевський. – К., 2015. – 22 с.

66. Фишельсон М. С. Транспортная планировка городов / М. С. Фишельсон. – М. : Высшая школа, 1985. – 239 с.

67. Фишельсон М. С. Городские пути сообщения. – М.: Высшая школа, 1980 – 292 с.

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

69. Черепанов В. А. Транспорт в гидростроительстве. – М.: Стройиздат, 1964 г. – 415 с.
70. Чернобаев М. С. Підвищення ефективності управління дорожнім рухом на мережі магістралей міста: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / М. С. Чернобаев. – Х., 2011. – 23 с.
71. Шелков Ю. Д. Организация дорожного движения в городах / Методическое пособие под. общ. ред. Ю. Д. Шелкова. – Научно-исследовательский центр ГАИ МВД России. – М.: 1995. – 143 с.
72. Шештокас В. В. Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах / В. В. Шештокас, Д. С. Самойлов – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.
73. Abrams C. Selection of Pedestrian Signal Phasing / C. Abrams //Transportation Research Record. – 1977. – №. 629. – P. 16 –26.
74. Alhajyase M. A Proposed Methodology for Modeling Pedestrian Crossing Time at Signalized Crosswalks Considering Bi-directional Flow / M. Alhajyaseen, H. Nakamura, J. Catbagan, // Proceedings of Infrastructure Planning, 38, Japan Society of Civil Engineers, Wakayama. – 2008 – P. 1 – 18.
75. Alhajyaseen K. M. Design criteria for crosswalk width and position at signalized intersections / K. M. Alhajyaseen // Submitted for presentation and publication at the 4th International Symposium on Highway Geometric Design. – 2010. – P. 844 – 857.
76. Branston D. Some factors affecting the capacity of signalized intersection / D. Branston // Traffic Eng. v20. – 1979. –N 8 – 9. – P. 390 – 396.
77. Branston D. The estimation of saturation flow, effective green time and passenger car equivalents at traffic signals by multiple liner regression / D. Branston, H. J. Van Zulien // Transp. Res. – 1987. –v 12. – P. 47 – 53.
78. Braun R. Quantifying the Benefits of Separating Pedestrians and Vehicles / R. Braun, M. Roddin // National Research Council. – 1978. – NCHRP Report 189. – 137 p.

79. Cheng D. X. Implementing actuated signal-controlled intersection capacity analysis with pedestrians / D. X. Cheng, Z. Z. Tian, H. C. Liu // *Transportation Res.* – 2008. – Record 207. – P. 125 – 130.

80. Chilukuri V. Validation of HCM pedestrian delay model for interrupted facilities / V. Chilukuri, M. R. Virkler // *Journal of Transportation Engineering.* – 2005. – 131(12). – P. 939 – 945.

81. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.

82. 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 на транспорті. Науковий журнал.* – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №2(11). – P. 18 –23.

83. Li Q. F. Pedestrian delay estimation at signalized intersections in developing cities / Q. F. Li, Z. Wang, J. G. Yang, J. M. Wang // *Transportation Research Part A: Policy and Practice.* – 2005. – 39 (1). – P. 61 – 73.

84. Manual of Traffic Signal Control. Japan Society of Traffic Engineers, Tokyo, 2006. – 139 p.

85. McSchane, W. and Roess R. Traffic engineering // Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990. – 660 p.

86. Norman Walker. Highway. Capacity Manual. // U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads. Washington, 1950. – 97 p.

87. Pretty R. The delay to pedestrians and vehicles at signalized intersections / R. Pretty // *ITE J.* – 1979. – 49 (5). – P. 20 – 23.

88. Pretty R. L. Mid-Block Pedestrian Crossings-An Examination of Delay / R. L. Pretty , R. C. Dunn// *Australian Road Research.* – 1984.– 12 (4). – P. 118 – 127.

89. 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.* – 2018. – Vol. 4, No. 1. – P. 145 – 160.

90. Teknomo K. Application of Microscopic Pedestrian Simulation Model / K. Teknomo // In Transportation Research. – 2006. Part F 9 . – P. 15 – 27.
91. Tepy S. Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections. Third Edition / S. Tepy, D. I. Allingham, D. B. Richardson, B. W. Stephenson. – Toronto: Institute of Transportation Engineers, District 7, 2008. – 230 p.
92. Traffic Signal Timing Manual / P. Koonce [and others] – McLean: US Department of Transportation, 2008. – 264 p.
93. Transport planning and traffic engineering / Edited by C. A. O'Flaherty. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2006. – 544 p.
94. Virkler M. R. Pedestrian compliance effects on signal delay / M. R. Virkler // Transportation Res. – 1998. – Record 1636. – P. 88 – 91.
95. Virkler M. R. Pedestrian compliance effects on signal delay / M. R. Virkler // Transportation Research Record: Journal of TRB. – 1998. – P. 88 – 91.
96. Webster F. Traffic signal settings / F. Webster // Road Research Laboratory. – 1958. – no. 39. – P. 20 – 36.
97. Webster F. V. Traffic signal Settings and Expected Delay. International Study Week in Traffic Engineering, Stresa, Italy 1956. – p. 315.
98. Webster F. V., Cobbe B. M. Traffic Signals // Technical Paper 56, Road Research Laboratory, London, 1966.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А1

Результати дослідження поведінки пішоходів

Тип перехрестя	Перехрестя	Вулиця	Ширина проїзної частини, м	Тривалість циклу, с	Час дозволяючого сигналу для транспорту, с	Час заборонного сигналу для транспорту, с	Середня швидкість пішоходів, м/с	Інтенсивність руху, зв.од./год.	Кількість накопичених пішоходів, осіб	Кількість осіб, які пройшли на дозволяючий сигнал, осіб	Кількість осіб, які пройшли на заборонний сигнал, осіб	Загальна кількість осіб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тип І	Бандери – Федьковича	Бандери	15	57	29	22	1,43	1487	5	13	3	20
Тип І	Бандери – Федьковича	Федьковича (від вокзалу)	11,25	57	22	29	1,32	463	7	20	4	30
Тип І	Бандери – Федьковича	Федьковича (до вокзалу)	7,5	57	22	29	1,25	588	8	29	3	39
Тип І	Бандери – Героїв УПА – М. Андрея	Бандери	15	56	32	18	1,38	1659	7	13	4	22
Тип І	Бандери – Героїв УПА – М. Андрея	Героїв УПА	7,5	56	25	25	1,35	1063	7	17	3	27
Тип І	Бандери – Героїв УПА – М. Андрея	М. Андрея	7,5	56	25	25	1,32	601	6	10	4	19
Тип І	Бандери – Антоновича – Русових – М. Андрея	Бандери (від вокзалу)	15	59	28	25	1,4	1572	4	8	3	15
Тип І	Бандери – Антоновича – Русових – М. Андрея	Бандери (до вокзалу)	15	59	28	25	1,37	1639	4	10	3	17

Продовження табл. А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тип І	Бандери – Антоновича – Русових – М. Андрея	М. Андрея	8	59	15	44	1,34	655	4	17	3	23
Тип І	Бандери – Антоновича – Русових – М. Андрея	Русових	12	59	16	37	1,3	697	5	14	3	21
Тип І	Бандери – Антоновича – Русових – М. Андрея	Антоновича	7,5	59	18	35	1,32	602	5	15	4	23
Тип І	Героїв УПА – Васильківського	Героїв УПА	7,5	54	26	22	1,29	854	4	10	3	17
Тип І	Героїв УПА – Васильківського	Васильківського	5	54	22	26	1,33	451	3	8	3	14
Тип І	Антоновича – Мельника – Васильківського	Антоновича	7,5	59	36	17	1,3	647	4	9	2	15
Тип І	Героїв УПА – Смаль-Стоцького	Героїв УПА	7,5	48	30	12	1,32	847	4	8	2	13
Тип І	Антоновича – Залізняка	Антоновича	7,5	43	28	9	1,31	705	4	10	3	15
Тип І	Кульпарківська – Героїв УПА – Копистинського	Героїв УПА (рух на вул. Копистинського)	7,5	87	30	51	1,32	626	3	7	3	13
Тип І	Кульпарківська – Героїв УПА – Копистинського	Героїв УПА (рух на вул. Кульпарківська)	7,5	87	30	51	1,27	564	3	7	2	11
Тип І	Кульпарківська – Героїв УПА – Копистинського	Кульпарківська	8	87	36	45	1,25	741	4	8	2	13
Тип І	Кульпарківська – Окружна – Антоновича	Антоновича (рух з вул. Кульпарківська)	10,5	87	25	56	1,38	714	2	6	2	9
Тип І	Кульпарківська – Окружна – Антоновича	Антоновича (рух на вул. Кульпарківська)	8	87	22	59	1,34	581	3	8	2	12
Тип І	Кульпарківська – Окружна – Антоновича	Кульпарківська	10,5	87	31	50	1,4	1201	4	9	3	14
Тип І	Городоцька – Кульпарківська	Городоцька (до вокзалу)	15	97	34	57	1,41	1418	3	6	2	10
Тип І	Городоцька – Кульпарківська	Городоцька (односторонній рух)	8	97	18	79	1,35	976	3	6	2	10

Продовження табл. А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тип І	Городоцька – Кульпарківська	Кульпарківська (односторонній рух)	7,5	97	36	55	1,34	1154	4	8	3	14
Тип І	Городоцька – Кульпарківська	Кульпарківська	8	97	18	73	1,3	651	2	8	3	12
Тип ІІ	пр. Свободи – Коперника	пр. Свободи	11,25	58	33	19	1,32	1145	8	19	3	29
Тип ІІ	пр. Свободи – Коперника	Коперника	8	58	19	33	1,27	658	5	15	2	21
Тип ІІ	Князя Романа – пл. Галицька	Князя Романа	10	60	25	29	1,3	1027	3	12	2	17
Тип ІІ	Князя Романа – пл. Галицька	пл. Галицька	11	60	29	25	1,34	951	4	13	2	18
Тип ІІ	Князя Романа – Шухевича	Князя Романа	10	43	25	12	1,28	947	4	18	2	23
Тип ІІ	Князя Романа – Шухевича	Шухевича	7	43	14	12	1,28	368	2	9	2	12
Тип ІІ	Франка – Князя Романа – Левицького – Герцена	Левицького	10,5	106	30	70	1,3	845	4	12	2	18
Тип ІІ	Франка – Князя Романа – Левицького – Герцена	Франка (від центру)	7,5	106	42	58	1,27	687	3	12	2	16
Тип ІІ	Франка – Князя Романа – Левицького – Герцена	Герцена	7,5	106	18	82	1,29	718	3	13	2	16
Тип ІІ	Франка – Князя Романа – Левицького – Герцена	Князя Романа	8,5	106	36	64	1,31	674	3	13	1	16
Тип ІІ	Франка – Князя Романа – Левицького – Герцена	Франка (до центру)	7,5	106	30	51	1,32	626	3	7	3	13
Тип ІІ	Франка – Стрийська – Шота Руставелі	Шота Руставелі	18,75	70	28	36	1,34	781	4	15	2	20
Тип ІІ	Франка – Стрийська – Шота Руставелі	Стрийська	10,4	70	36	28	1,27	1154	4	11	2	16
Тип ІІ	Листопадового Чину – Університетська – Лепкого	Листопадового Чину (до університету)	8	66	36	24	1,26	628	7	15	3	24
Тип ІІ	Листопадового Чину – Університетська – Лепкого	Листопадового Чину (від університету)	8	66	36	24	1,28	729	7	14	3	23
Тип ІІ	Листопадового Чину – Університетська – Лепкого	Лепкого	7,5	66	24	36	1,27	684	4	11	2	16

Продовження табл. А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тип II	Листопадового Чину – Університетська – Лепкого	Університетська	11,25	66	24	36	1,28	580	6	13	2	20
Тип I	пр. Чорновола – Зернова – М. Удатного	пр. Чорновола	18,75	73	41	26	1,3	1895	9	16	1	26
Тип I	пр. Чорновола – Зернова – М. Удатного	Зернова	10,5	73	26	41	1,27	954	5	11	3	18
Тип I	пр. Чорновола – Зернова – М. Удатного	М. Удатного	6	73	26	41	1,35	257	3	10	5	17
Тип I	пр. Чорновола – Куліша	пр. Чорновола	18,75	63	36	36	1,31	1754	8	12	1	21
Тип I	пр. Чорновола – Куліша	Куліша	8	63	21	21	1,27	987	5	12	3	19
Тип I	Чорновола – Під Дубом – пл. 700-річчя	пр. Чорновола	18,7	88	39	43	1,33	2056	5	18	1	23
Тип I	Чорновола – Під Дубом – пл. 700-річчя	Під Дубом	10,5	88	22	60	1,35	1057	5	13	3	20
Тип I	Чорновола – Під Дубом – пл. 700-річчя	пл. 700-річчя	8,3	88	18	64	1,27	793	4	12	2	17
Тип II	Чорновола – Хімічна	пр. Чорновола	17,7	66	36	24	1,35	1374	4	12	2	17
Тип II	Чорновола – Хімічна	Хімічна (односторонній рух)	7	66	24	36	1,34	635	5	11	3	17
Тип II	Чорновола – Хімічна	Хімічна	7,5	66	24	36	1,4	847	4	8	2	12
Тип III	Стрийська – Сахарова	Стрийська	18,4	63	31	26	1,28	2285	5	14	1	18
Тип III	Стрийська – Сахарова	Сахарова	11,4	63	26	31	1,29	1054	4	9	1	13
Тип III	Стрийська – Чмоли	Стрийська	18,4	69	39	24	1,29	2147	6	10	1	16
Тип III	Стрийська – Чмоли	Чмоли	11,25	69	24	39	1,3	1028	5	9	1	14
Тип III	Стрийська – В.Великого	Стрийська	18,75	71	35	30	1,27	2589	5	11	1	16
Тип III	Стрийська – В.Великого	В.Великого	15	71	30	35	1,28	1687	5	12	1	17
Тип III	Кульпарківська–Садова	Кульпарківська	15,3	62	30	26	1,3	1541	4	11	1	15
Тип III	Кульпарківська–Садова	Садова	10,5	62	26	30	1,4	791	3	9	1	13
Тип III	Любінська – Окружна	Любінська	11,4	63	35	22	1,28	1247	3	8	1	11

Продовження табл. А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тип III	Любінська – Окружна	Окружна	7,5	63	22	35	1,36	824	4	8	1	13
Тип III	В.Великого – Айвазовського	В.Великого (до центру)	13,8	65	33	26	1,34	1240	4	9	1	13
Тип III	В.Великого – Айвазовського	В.Великого (від центру)	13,8	65	33	26	1,33	1147	5	11	1	16
Тип III	В.Великого – Айвазовського	Айвазовського (МакДональз)	7,5	65	26	33	1,4	398	4	7	3	12
Тип III	В.Великого – Айвазовського	Айвазовського	10	65	26	33	1,42	247	5	9	2	15
Тип III	Виговського – Любінська	Виговського (від центру)	18,75	115	35	71	1,28	1896	5	10	1	14
Тип III	Виговського – Любінська	Виговського (до центру)	15	115	35	71	1,29	2217	3	7	1	9
Тип III	Виговського – Любінська	Любінська (від центру)	22,5	115	33	73	1,3	2654	3	10	0	12
Тип III	Виговського – Любінська	Любінська (до центру)	22,5	115	33	73	1,3	1147	4	6	1	10
Тип III	Пасічна – Медової Печери	Пасічна	14	56	30	20	1,36	1684	2	11	1	13
Тип III	Пасічна – Медової Печери	Медової Печери	8	56	20	30	1,38	987	3	9	2	13
Тип III	Варшавська – Тунельна	Варшавська (від центру)	15	66	28	32	1,29	1687	3	7	2	10
Тип III	Варшавська – Тунельна	Варшавська (до центру)	15	66	28	32	1,32	1824	3	6	2	10
Тип III	Варшавська – Тунельна	Тунельна	11,25	66	32	28	1,35	1402	2	8	2	11
Тип III	Мазепи – Миколайчука	Мазепи (до центру)	10,8	56	32	18	1,3	1420	4	9	1	14
Тип III	Мазепи – Миколайчука	Мазепи (від центру)	10,8	56	32	18	1,28	1349	3	9	1	12
Тип III	Мазепи – Миколайчука	Миколайчука (від центру)	8	56	18	32	1,31	908	3	10	1	13
Тип III	Мазепи – Миколайчука	Миколайчука (до центру)	8	56	18	32	1,3	1026	4	8	1	12

Додаток Б

Таблиця Б1

Результати вимірювання транспортної затримки

Тип перехрестя	Перехрестя	Вулиця	Частка ТЗ, що зупинялася перед стоп-лінією	Кількість ТЗ, що зупинились за 1 цикл регулювання	Тривалість перебування одного ТЗ в черзі, с/авт.	Затримка ТЗ від прискорення та сповільнення	Загальна транспортна затримка на один автомобіль, с/авт.	Інтенсивність руху, зв.од./год.	Кількість ТЗ, що зупинились за 1 год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип I	Бандери – Федьковича	Бандери (до вокзалу)	0,79	24	3,2	0,79	3,99	614	1380
		Бандери (від вокзалу)	0,76	26	3,2	0,76	3,96	689	1544
		Федьковича (від вокзалу)	0,57	8	5,6	1,14	6,74	269	1052
		Федьковича (до вокзалу)	0,54	16	4,8	1,08	5,88	302	1021
Тип I	Бандери – Героїв УПА – М. Андрея	Бандери (до вокзалу)	0,67	20	3,5	1,34	4,84	610	1523
		Бандери (від вокзалу)	0,71	19	4,3	1,42	5,72	547	1664
		М.Андрея (до вокзалу)	0,48	9	4,2	0,96	5,16	356	1056
		М.Андрея (від вокзалу)	0,63	15	5,5	1,26	6,76	245	960
Тип I	Бандери – Антоновича – Русових – М. Андрея	Бандери (до вокзалу)	0,69	26	2,9	0,69	3,59	745	1209
		Бандери (від вокзалу)	0,58	21	3,4	0,58	3,98	710	1357
		Русових	0,62	19	5,7	1,24	6,94	301	964
		Антоновича	0,58	18	2,9	1,16	4,06	602	1000
Тип I	Героїв УПА – Васильківського	Героїв УПА	0,64	21	1,8	0,64	2,44	654	898
		Васильківського	0,57	9	3,1	1,14	4,24	325	750
Тип I	Антоновича – Мельника – Васильківського	Антоновича	0,62	20	2,2	1,24	3,44	647	976
		Мельника	0,4	10	4	0,8	4,8	257	689

Продовження табл. Б1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип I	Героїв УПА – Смаль– Стоцького	Героїв УПА	0,58	19	1,8	1,16	2,96	647	990
		Смаль–Стоцького	0,62	9	3,3	1,24	4,54	301	833
Тип I	Антоновича – Залізняка	Антоновича	0,69	21	1,8	0,69	2,49	605	1000
		Залізняка (до вокзалу)	0,54	14	4,1	1,08	5,18	254	983
		Залізняка (від вокзалу)	0,65	11	2,7	1,3	4	329	823
Тип I	Кульпарківська – Героїв УПА – Копистинського	Героїв УПА (рух на вул. Копистинського)	0,66	21	3,9	0,66	4,56	626	1119
		Героїв УПА (рух на вул. Кульпарківська)	0,54	15	3,9	1,08	4,98	564	1013
		Кульпарківська (до вокзалу)	0,68	29	3	0,68	3,68	865	1173
		Кульпарківська (від вокзалу)	0,66	30	5,4	0,66	6,06	458	1136
Тип I	Кульпарківська – Окружна – Антоновича	Антоновича	0,62	20	3,4	1,24	4,64	647	996
		Окружна	0,67	9	4,8	1,34	6,14	426	935
		Кульпарківська (до вокзалу)	0,74	34	2,7	0,74	3,44	906	1128
		Кульпарківська (від вокзалу)	0,7	29	2,9	0,7	3,6	817	1087
Тип I	Городоцька – Кульпарківська	Городоцька (до вокзалу)	0,68	32	2,6	0,68	3,28	958	1032
		Городоцька (односторонній рух)	0,61	20	3,5	1,22	4,72	676	973
		Кульпарківська	0,51	20	4,6	1,02	5,62	402	759
Тип II	пр. Свободи – Коперника	пр. Свободи	0,71	27	1,5	0,71	2,21	1145	1215
		Коперника	0,83	27	2,2	0,83	3,03	658	980
Тип II	Князя Романа – пл. Галицька	пл.Галицька (до центру)	0,66	18	3,2	1,32	4,52	541	1140
		пл.Галицька (від центру)	0,74	25	2,7	0,74	3,44	684	1230
		Князя Романа	0,66	25	2,1	0,66	2,76	769	1056
Тип II	Князя Романа – Шухевича	Князя Романа (до центру)	0,51	25	3,2	0,51	3,71	489	1470
		Князя Романа (від центру)	0,46	26	2,6	0,46	3,06	562	1344
		Шухевича	0,55	10	3	1,1	4,1	368	1025

Продовження табл. Б1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип II	Франка – Князя Романа – Левицького – Герцена	Левицького	0,6	25	3,4	0,6	4	845	1098
		Франка (від центру)	0,59	26	5,6	0,59	6,19	438	928
		Герцена	0,68	24	4,1	0,68	4,78	718	1115
		Князя Романа	0,63	30	6	0,63	6,63	482	1085
		Франка (до центру)	0,68	28	6,8	0,68	7,48	411	1057
Тип II	Франка – Стрийська – Шота Руставелі – Зарицьких	Шота Руставелі (до центру)	0,61	14	4,8	1,22	6,02	451	992
		Шота Руставелі (від центру)	0,56	19	6,5	1,12	7,62	330	980
		Франка	0,61	24	3,2	0,61	3,81	786	1132
		Стрийська	0,67	27	2,6	0,67	3,27	807	955
		Зарицьких	0,53	21	4,5	0,53	5,03	389	791
Тип II	Листопадового Чину – Університетська – Лепкого	Листопадового Чину	0,66	21	3	0,66	3,66	628	1144
		Лепкого	0,52	18	2,4	1,04	3,44	684	1023
		Університетська	0,55	11	2,8	1,1	3,9	580	1001
Тип I	пр. Чорновола – Зернова – М. Удатного	пр. Чорновола (до центру)	0,52	25	1,8	0,52	2,32	1456	1651
		пр. Чорновола (від центру)	0,5	23	1,7	0,5	2,2	1357	1446
		Зернова	0,65	24	2,2	0,65	2,85	754	902
Тип I	пр. Чорновола – Куліша	пр. Чорновола (до центру)	0,66	28	1,6	0,66	2,26	1254	1305
		пр. Чорновола (від центру)	0,55	29	1,4	0,55	1,95	1562	1647
		Куліша	0,72	35	1,8	0,72	2,52	987	1140
Тип I	Чорновола – Під Дубом – пл. 700– річчя	пр. Чорновола (до центру)	0,52	24	1,4	0,52	1,92	1359	1402
		пр. Чорновола (від центру)	0,49	21	1,6	0,49	2,09	1258	1283
		Під Дубом	0,59	38	2,8	0,59	3,39	654	849
		пл. 700–річчя	0,62	24	2,5	0,62	3,12	793	894
Тип II	Чорновола – Хімічна	пр. Чорновола (до центру)	0,63	29	1,1	0,63	1,73	1354	941
		пр. Чорновола (від центру)	0,63	24	1,4	0,63	2,03	1129	990
		Хімічна (односторонній рух)	0,66	21	2,4	0,66	3,06	635	941
		Хімічна	0,73	37	2,7	0,73	3,43	514	842

Продовження табл. Б1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип III	Стрийська – Сахарова	Стрийська (до центру)	0,7	37	0,9	0,7	1,6	1569	935
		Стрийська (від центру)	0,69	33	1,5	0,69	2,19	1408	1362
		Сахарова	0,67	29	2,6	0,67	3,27	874	1459
Тип III	Стрийська – Чмоли	Стрийська (до центру)	0,65	28	1,1	0,65	1,75	1305	848
		Стрийська (від центру)	0,65	30	1,2	0,65	1,85	1408	988
		Чмоли	0,71	24	2,2	0,71	2,91	689	884
Тип III	Стрийська – В.Великого	Стрийська (до центру)	0,65	49	1,2	0,65	1,85	1505	1030
		Стрийська (від центру)	0,65	40	1,4	0,65	2,05	1240	964
		В.Великого	0,73	34	1,7	0,73	2,43	914	872
Тип III	Кульпарківська–Садова	Кульпарківська (до центру)	0,71	27	1,8	0,71	2,51	769	893
		Кульпарківська (від центру)	0,61	25	2,2	0,61	2,81	804	1154
		Садова	0,61	15	3,8	1,22	5,02	487	1183
Тип III	Любінська – Окружна	Любінська (до центру)	0,72	25	1,9	0,72	2,62	1054	1248
		Любінська (від центру)	0,75	23	1,8	0,75	2,55	914	1049
Тип III	В.Великого – Айвазовського	В.Великого (до центру)	0,67	29	2,5	0,67	3,17	874	1348
		В.Великого (від центру)	0,61	24	2,5	0,61	3,11	780	1172
		Айвазовського (МакДональдз)	0,42	8	4,6	0,84	6,44	189	820
		Айвазовського	0,51	5	6,3	2,55	11,85	105	809
Тип III	Виговського – Любінська	Виговського (від центру)	0,79	32	2,4	0,79	3,19	1205	1008
		Виговського (до центру)	0,63	34	2,6	0,63	3,23	1074	970
		Любінська (від центру)	0,66	35	1,8	0,66	2,46	1569	961
		Любінська (до центру)	0,7	32	2	0,7	2,7	1347	915
Тип III	Пасічна – Медової Печери	Пасічна (до центру)	0,65	24	1,7	0,65	2,35	756	922
		Пасічна (від центру)	0,61	20	2,1	1,22	3,32	657	973
		Медової Печери	0,53	26	3	0,53	3,53	487	1030
Тип III	Варшавська – Тунельна	Варшавська (від центру)	0,66	24	2,2	0,66	2,86	745	1007
		Варшавська (до центру)	0,64	22	2,6	0,64	3,24	687	1089
		Тунельна	0,59	12	3,5	1,18	4,68	417	902

Продовження табл. Б1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип III	Мазепи – Миколайчука	Мазепи (до центру)	0,53	15	2,4	1,06	3,46	578	998
		Мазепи (від центру)	0,59	18	2,2	1,18	3,38	604	960
		Миколайчука (від центру)	0,52	21	3,2	0,52	3,72	415	941
		Миколайчука (до центру)	0,57	26	2,5	0,57	3,07	457	806

Додаток В

Таблиця В1

Результати дослідів під час моделювання

Тип перехрестя	Перехрестя	Вулиця	Середня транспортна затримка на один автомобіль, с/авт./год		Кількість ТЗ, що зупинились за 1 год (на основі програмного продукту PTV VISSIM)	Максимальна довжина черги, м (на основі програмного продукту PTV VISSIM)
			Результати натурних досліджень	На основі програмного продукту PTV VISSIM		
1	2	3	4	5	6	7
Тип І	Бандери – Федьковича	Бандери (до вокзалу)	16,58	21,54	223	65,7
		Бандери (від вокзалу)			167	71,05
		Федьковича (від вокзалу)			82	71,81
		Федьковича (до вокзалу)			119	50,22
Тип І	Бандери – Героїв УПА – М. Андрея	Бандери (до вокзалу)	22,48	26,98	166	102,34
		Бандери (від вокзалу)			149	80,6
		М.Андрея (до вокзалу)			108	64,35
		М.Андрея (від вокзалу)			74	37,5
Тип І	Бандери – Антоновича – Русових – М. Андрея	Бандери (до вокзалу)	18,57	22,69	271	63,99
		Бандери (від вокзалу)			258	85,12
		Русових			73	68,04
		Антоновича			146	70,56
Тип І	Героїв УПА – Васильківського	Героїв УПА	6,58	11,25	159	36,18
		Васильківського			98	32,48
Тип І	Антоновича – Мельника – Васильківського	Антоновича	8,24	7,89	196	56
		Мельника			101	39,55
Тип І	Героїв УПА – Смаль–Стоцького	Героїв УПА	7,50	8,65	255	51,48
		Смаль–Стоцького			109	47,73

Продовження табл. В1

1	2	3	4	5	6	7
Тип I	Антоновича – Залізняка	Антоновича	11,67	10,24	165	33,32
		Залізняка (до вокзалу)			77	43,29
		Залізняка (від вокзалу)			80	37,24
Тип I	Кульпарківська – Героїв УПА – Копистинського	Героїв УПА (рух на вул. Копистинського)	19,28	26,87	209	114,66
		Героїв УПА (рух на вул. Кульпарківська)			205	71,63
		Кульпарківська (до вокзалу)			341	94,38
		Кульпарківська (від вокзалу)			139	99,72
Тип I	Кульпарківська – Окружна – Антоновича	Антоновича	17,82	24,56	235	87,48
		Окружна			129	66,12
		Кульпарківська (до вокзалу)			247	96,25
		Кульпарківська (від вокзалу)			198	76,85
Тип I	Городоцька – Кульпарківська	Городоцька (до вокзалу)	15,62	22,17	290	122,76
		Городоцька (односторонній рух)			164	102,57
		Кульпарківська			146	59,45
Тип II	пр. Свободи – Коперника	пр. Свободи	5,24	16,26	347	62,72
		Коперника			160	47,4
Тип II	Князя Романа – пл. Галицька	пл.Галицька (до центру)	10,72	20,14	148	55,1
		пл.Галицька (від центру)			207	59,45
		Князя Романа			256	51,04
Тип II	Князя Романа – Шухевича	Князя Романа (до центру)	10,87	13,17	148	47,25
		Князя Романа (від центру)			170	62,4
		Шухевича			134	42,7

Продовження табл. В1

1	2	3	4	5	6	7
Тип II	Франка – Князя Романа – Левицького – Герцена	Левицького	29,08	26,14	256	93,67
		Франка (від центру)			173	90,09
		Герцена			261	98,4
		Князя Романа			146	86,13
		Франка (до центру)			162	136,84
Тип II	Франка – Стрийська – Шота Руставелі – Зарицьких	Шота Руставелі (до центру)	25,75	19,56	150	94,38
		Шота Руставелі (від центру)			80	74,09
		Франка			238	85,56
		Стрийська			318	60,58
		Зарицьких			141	54,04
Тип II	Листопадового Чину – Університетська – Лепкого	Листопадового Чину	11,00	13,16	209	68,64
		Лепкого			228	61,38
		Університетська			193	47,32
Тип I	пр. Чорновола – Зернова – М. Удатного	пр. Чорновола (до центру)	7,37	9,54	485	121,32
		пр. Чорновола (від центру)			493	129,8
		Зернова			297	73,6
Тип I	пр. Чорновола – Куліша	пр. Чорновола (до центру)	6,73	10,56	304	66,41
		пр. Чорновола (від центру)			379	112,71
		Куліша			299	86
Тип I	Чорновола – Під Дубом – пл. 700–річчя	пр. Чорновола (до центру)	10,52	10,47	412	119,7
		пр. Чорновола (від центру)			343	115,81
		Під Дубом			258	72,45
		пл. 700–річчя			288	69,76

Продовження табл. В1

1	2	3	4	5	6	7
Тип II	Чорновола – Хімічна	пр. Чорновола (до центру)	10,25	9,56	451	46,17
		пр. Чорновола (від центру)			342	48,6
		Хімічна (односторонній рух)			231	63,27
		Хімічна			125	42,84
Тип III	Стрийська – Сахарова	Стрийська (до центру)	7,06	8,26	571	50,84
		Стрийська (від центру)			469	59,75
		Сахарова			265	81,92
Тип III	Стрийська – Чмоли	Стрийська (до центру)	6,51	8,24	475	40,75
		Стрийська (від центру)			555	83,6
		Чмоли			251	52,7
Тип III	Стрийська – В.Великого	Стрийська (до центру)	6,33	7,17	547	60,6
		Стрийська (від центру)			338	79,38
		В.Великого			332	54,72
Тип III	Кульпарківська–Садова	Кульпарківська (до центру)	10,34	8,17	303	50,82
		Кульпарківська (від центру)			244	49,75
		Садова			177	53,04
Тип III	Любінська – Окружна	Любінська (до центру)	5,17	8,19	383	59,13
		Любінська (від центру)			305	58,88
Тип III	В.Великого – Айвазовського	В.Великого (до центру)	15,90	10,09	265	95,55
		В.Великого (від центру)			260	91,59
		Айвазовського (МакДональз)			52	40,23
		Айвазовського			38	39,69

Продовження табл. В1

1	2	3	4	5	6	7
Тип III	Виговського – Любінська	Виговського (від центру)	11,58	10,17	365	107,25
		Виговського (до центру)			325	103,29
		Любінська (від центру)			618	96,1
		Любінська (до центру)			490	94,4
Тип III	Пасічна – Медової Печери	Пасічна (до центру)	9,20	10,43	229	47,52
		Пасічна (від центру)			239	38
		Медової Печери			133	62,79
Тип III	Варшавська – Тунельна	Варшавська (від центру)	10,78	9,72	181	47,58
		Варшавська (до центру)			229	59,4
		Тунельна			139	42,64
Тип III	Мазепи – Миколайчука	Мазепи (до центру)	13,63	12,07	140	68,64
		Мазепи (від центру)			146	37,5
		Миколайчука (від центру)			163	36,75
		Миколайчука (до центру)			166	49,14

Додаток Г1

Акт про використання результатів дисертаційної роботи у навчальному процесі кафедри «Транспортні технології»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор

з науково-педагогічної роботи

Національного університету

«Львівська політехніка»

професор О.Р. Давидчак

«10» 2014 р.



про використання у навчальному процесі кафедри транспортних технологій матеріалів і результатів дисертаційної роботи Грицуня Олега Михайловича «Обґрунтування раціональних режимів світлофорного регулювання з урахуванням характеристик транспортних потоків і поведінки пішоходів»

Результати кандидатської дисертації Грицуня О.М. впровадженні в навчальний процес з підготовки бакалаврів спеціальності 275 «Транспортні технології», спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», які навчаються за освітньою програмою «Організація і регулювання дорожнього руху» на кафедрі транспортних технологій у таких навчальних дисциплінах:

«Транспортне планування міст» – використані матеріали, які містять підходи щодо місця розміщення регульованого перехрестя (переходу) на території міста, а також визначення пропускної здатності ділянок вулично-дорожньої мережі (Тема 2 - «Вулично-дорожня мережа міста», Тема 4 – «Пропускна здатність вуличної мережі міста», Тема 9 – «Планування пересічень і площ»);

«Організація дорожнього руху, частина 2» – використані матеріали, які обґрунтовують вибір способів регулювання на перехрестях та ділянках міських вулиць між ними (Тема 2 – «Пропускна здатність проїзних частин», Тема 3 – «Характеристики дорожнього руху»);

«Моделювання транспортних потоків» – імітаційна модель роботи регульованого перехрестя (Тема 3 – «Основні поняття та означення з методології моделювання систем»), а також під час виконання лабораторної роботи №4 «Дослідження впливу звужень проїзної частини дороги на параметри транспортного потоку» та №6 «Оцінка розпаду груп автомобілів, які починають рух на дозвільний сигнал світлофора, за щільністю транспортного потоку».

Матеріали дисертаційної роботи Грицуня О.М. уже впродовж двох років використовуються у курсовому та дипломному проектуванні зазначеної спеціальності.

Впровадження результатів кандидатської дисертації Грицуня О.М. дає змогу підвищити науковий та методичний рівень вказаних курсів і сприяє удосконаленню навчального процесу на кафедрі транспортних технологій.

Завідувач кафедри
транспортних технологій,
Голова методичної комісії спеціальності
275 «Транспортні технології»
д-р. техн. наук, професор

С.Ю. Форнальчик

Додаток Г2

Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи у Львівському комунальному підприємстві «Львівавтодор»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. директора
Львівського комунального підприємства
«Львівавтодор»

С.О. Калитич
С.О. Калитич
" 30 " 10 2018 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Грицуня Олега Михайловича
«Обґрунтування раціональних режимів світлофорного регулювання
з урахуванням характеристик транспортних потоків і поведінки пішоходів»

Комісія в складі керівника відділу організації дорожнього руху Могила І.А., керівника відділу оперативного реагування Каміначного С.М. та провідного інженера відділу організації дорожнього руху Швець Б.В. склала акт про те, що під час удосконалення режиму регулювання на світлофорних об'єктах з жорсткими циклами використовуються такі результати дисертаційної роботи Грицуня О.М.:

- 1) рекомендації щодо вибору раціональних режимів світлофорного регулювання залежно від затримки транспорту та поведінки пішоходів;
- 2) методика визначення закономірностей зміни часу терплячого очікування пішохода за різних режимів регулювання та параметрів проїзної частини,
- 3) методика оцінювання затримок у транспортних потоках залежно від параметрів регулювання.

Використання вказаних результатів дає змогу покращувати режими регулювання на світлофорних об'єктах з жорсткими циклами шляхом врахування особливостей руху пішоходів.

Керівник відділу ОДР

І.А. Могила

Могила І.А.

Керівник відділу ОР

С.М. Каміначний

Каміначний С.М.

Провідний інженер відділу ОДР

Б.В. Швець

Швець Б.В.

Додаток ГЗ

Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи у Державному інституті проектування міст «Містопроект»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи Грицуня О. М.
«Обґрунтування раціональних режимів світлофорного регулювання з
урахуванням характеристик транспортних потоків і поведінки пішоходів»

Цей акт складений в тому, що Державним інститутом проектування міст «Містопроект» використані такі результати дисертаційної роботи здобувача Грицуня О.М. під час проектування схем організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі м. Львова та Західного регіону України:

1. Методику визначення закономірностей зміни часу терпеливого очікування пішохода за різних режимів регулювання та параметрів проїзної частини, а також методику експериментального дослідження затримок у ТП залежно від параметрів регулювання.

2. Рекомендовані раціональні режими світлофорного регулювання з тривалістю циклу: за двофазного управління – 25 – 70 с; трифазного – 40 – 90 с та чотирифазного – 60 – 120 с, виходячи з величини затримки транспорту та поведінки пішоходів. Під час рівня завантаження $z < 0,2$ – введення світлофорного регулювання жорсткого типу не рекомендується.

Використання цих результатів дають змогу обґрунтувати параметри циклу, виходячи із відстані між суміжними перехрестями та урахуванням їх типу, який ґрунтується на особливостях руху.

Керівник групи транспорту і
доріг, інженер I категорії
ДП ДІПМ «Містопроект»

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Халус'.

М.В. Халус

Додаток Д

Список публікацій здобувача за темою дисертації
Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Стаття у виданні України, яке включене до міжнародних наукометричних баз

1. 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. – Lviv, 2018. – Vol. 4, No. 1, P. 145 – 160.

Статті у фахових виданнях України

2. Грицунь О. М. Підвищення ефективності функціонування ділянок вулично-дорожньої мережі в умовах координованого регулювання / Ю. Я. Ройко, О. М. Грицунь // Наукові нотатки. – Луцьк, 2014. – Випуск 45. – С. 472 – 476.

3. Грицунь О. М. Аналіз поведінки пішоходів на регульованих перехрестях / О. М. Грицунь // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» – Луцьк, 2016. – Випуск 55. – С. 90 – 95.

4. 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. – Сєверодонецьк, 2016. – №1 (225) – С. 55 – 59.

5. Грицунь О. М. 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». – Луцьк, 2017. – №2(9) 2017. – С. 93 – 101.

6. Грицунь О. М. Зміна швидкості руху пішохідних потоків у зоні регульованих перехресть / О. С. Ланець, О. М. Грицунь // Динаміка та міцність машин. – Львів, 2017. – №2(9) – С. 139 – 143.

Продовження додатка Д

7. 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, 2018. – С. 18 – 23.

8. 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, 2018. – С. 58 – 62.

Наукові праці, в яких опубліковані додаткові наукові результати дисертації

9. 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». – Харків, 2013. – Випуск 4/2013. – С. 45 – 47.

10. Grytsun O. 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.

11. Грицунь О. М. Дослідження миттєвих швидкостей та розраду груп транспортних засобів на магістральних ділянках ВДМ / Ю. Я. Ройко, О. М. Грицунь / Сборник научных трудов SWorld. – Одеса, 2014. – Випуск 4(37). Том 1. – С. 3 – 7.

Продовження додатка Д

Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

12. 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.

13. Грицунь О. М. 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.

14. Грицунь О. М. 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». – Сєверодонецьк–Кременчук, 2015 – С. 26 – 28.

15. 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.

16. 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. – Львів, 2016. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 356 – 357.

Продовження додатка Д

17. 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.

18. 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.

19. Грицунь О. М. Дослідження ефективності роботи систем координованого регулювання / О. М. Грицунь // Збірник тез доповідей НУ «Львівська політехніка». – Львів, 2014 – С. 131 – 133.

20. 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.

21. Грицунь О. М. Керування ввімкненням зелених сигналів на координованих регульованих перехрестях / Є. Ю. Форнальчик, О. М. Грицунь / Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання». – Львів, 2015. – С. 24 – 26.

22. Грицунь О. М. Мінімізація затримок транспорту на координованих регульованих перехрестях / О. М. Грицунь / Дванадцятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: Тези доповідей КІНПАТРИ ЛТД. – Львів, 2015. – С. 138 – 139.

Продовження додатка Д

23. 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. – Львів, 2016. – С. 109 – 112.

24. Грицунь О. М. Взаємодія зустрічних пішохідних потоків на регульованих переходах / О. М. Грицунь / II Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання». – Львів, 2017. – С. 58 – 60.

25. 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. – Львів, 2017. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 277 – 278.

26. Грицунь О. М. Аналіз транспортних затримок на регульованих перехрестях з використанням імітаційного моделювання / О. М. Грицунь, В. А. Давосир / Третя всеукраїнська науково-практична конференція «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: Тези доповідей. – Львів, 2018. – С. 195 – 196.

27. 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.

Продовження додатка Д

28. Грицунь О. М. Взаємозв'язок основних показників пішохідних потоків/ О. М. Грицунь, С. А. Максимюк / Автомобільний транспорт та інфраструктура: I Міжнародна науковопрактична конференція, м. Київ, Україна, 26–28 квітня 2018 року: тези конференції. – Київ, 2018. – С. 104 – 106.

29. 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. – Запоріжжя, 2018. – С. 29 – 31.