

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця»

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ТТ-22м
спеціальності 275 – Транспортні технології
(за видами), спеціалізація 275.03 –
Транспортні технології (на автомобільному
транспорті)

Осьмірко С.О.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ

Кашканов В.А.

« 04 » 12 2023 р.

Опонент: к.т.н. доц. кафедри АТМ

Цимбал С.В.

« 11 » 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

Цимбал С.В.

« 11 » грудня 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 27 – Транспорт
Спеціальність 275 – Транспортні технології (за видами)
Спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
Освітньо-професійна програма – Транспортні технології на автомобільному транспорті

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

« 18 » 09 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Осьмірку Сергію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця

керівник роботи Кашканов Віталій Альбертович, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «18» вересня 2023 року № 247.

2. Строк подання студентом роботи: 04.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Законодавство України в галузі дорожнього руху, безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; район експлуатації автомобілів – м. Вінниця; перехрестя вул. 600 річчя – вул. Келецька; параметри транспортного потоку та засоби організації дорожнього руху на перехресті вул. 600 річчя – вул. Келецька; об'єкт дослідження – організація дорожнього руху на ізольованому регульованому перехресті; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз стану організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця.

2. Наукові підходи до вдосконалення організації дорожнього руху на регульованому перехресті.

3. Розрахунок показників організації дорожнього руху на перехресті 600-річчя-Келецька.

4. Імітаційне моделювання запропонованих рішень з удосконалення організації дорожнього руху.

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1-3 Тема, мета та завдання дослідження.

4 Ілюстрація візуалізації досліджуваного перехрестя.

- 5 Схема організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті.
- 6 Аналіз існуючого режиму роботи світлофорного регулювання.
- 7-9 Дослідження існуючого транспортного потоку.
- 10 Типова добова зміна інтенсивності руху транспортного потоку.
- 11 Розрахунок основних параметрів світлофорного управління.
- 12 Критерії якості керування дорожнім рухом на елементах ВДМ.
- 13 Визначення транспортної затримки.
- 14 Результати розрахунку існуючих показників організації дорожнього руху.
- 15 Запропонована схема пофазового роз'їзду.
- 16 Порівняння показників організації дорожнього руху до та після вдосконалення.
- 17 Програмне забезпечення для розробки імітаційної моделі.
- 18 Списки результатів аналізу моделі у PTV Vissim.
- 19 Візуалізація роботи імітаційної моделі досліджуваного перехрестя.
- 20 Основні висновки по роботі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

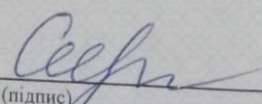
Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Кашканов В.А., доцент кафедри АТМ	19.09.23	04.12.23
Визначення ефективності запропонованих рішень	Макарова Т.В., доцент кафедри АТМ	04.12.23	27.11.23
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Березюк О.В., професор кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « 19 » вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

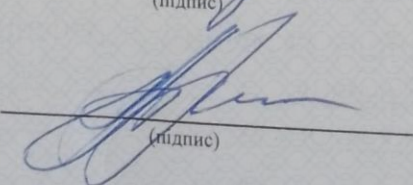
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	19.09-02.10.2023	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	19.09-02.10.2023	
3	Обґрунтування методів досліджень	19.09-02.10.2023	
4	Розв'язання поставлених задач	03.10-20.11.2023	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	21.11-29.11.2023	
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	07.11-27.11.2023	
7	Виконання розділу «Імітаційне моделювання»	07.11-27.11.2023	
8	Нормоконтроль МКР	30.11-04.12.2023	
9	Попередній захист МКР	05.12-07.12.2023	
10	Рецензування МКР	08.12-11.12.2023	
11	Захист МКР	12.12-22.12.2023	

Студент


(підпис)

Осьмірко С. О.

Керівник роботи


(підпис)

Кашканов В. А.

АНОТАЦІЯ

УДК 656.1

Осьмірко С. О. Вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами), спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті) освітньо-професійна програма – Транспортні технології на автомобільному транспорті. Вінниця: ВНТУ: 2023. 99 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 50 назв; рис.: 32; табл. 17.

У магістерській кваліфікаційній роботі запропоновано варіант вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця. Виконано імітаційне моделювання організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті у програмному середовищі PTV Vissim. У загальній частині роботи наведено аналіз існуючого стану організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті. Проведено теоретичні дослідження методів вдосконалення організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі. Виконано розрахунки показників існуючої організації дорожнього руху на перехресті 600-річчя-Келецька. Запропоновано заходи з удосконалення організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті та виконано їх імітаційне моделювання. В роботі також розглядалися питання з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Графічна частина складається з 19 слайдів із результатами моделювання.

Ключові слова: дорожній рух, транспортний потік, перехрестя, вулично-дорожня мережа, світлофор.

ABSTRACT

UDC 656.1

Osmirko S. O. Improvement of traffic organization at the intersection of 600-rechniy Street and Keletska Street in Vinnytsia. Master's qualification thesis on specialty 275 - Transport technologies (by types), specialization 275.03 - Transport technologies (on road transport) educational and professional program - Transport technologies on road transport. Vinnytsia: VNTU: 2023. 99 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 50 titles; Fig.: 32; table 17.

In the master's qualification work, an option for improving the organization of traffic at the intersection of 600-year Street and Keletska Street in the city of Vinnytsia is proposed. Simulation modeling of traffic organization at the studied intersection was performed in the PTV Vissim software environment. The general part of the work provides an analysis of the current state of traffic organization at the studied intersection. Theoretical studies of methods of improving the organization of traffic on the street-road network have been conducted. Calculations of the indicators of the existing traffic organization at the 600-year-Keletska intersection were performed. Measures to improve the organization of traffic at the studied intersection were proposed and their simulation was performed. The work also considered issues of labor protection and safety in emergency situations.

The graphic part consists of 19 slides with simulation results.

Key words: road traffic, traffic flow, intersection, street-road network, traffic light.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ ВУЛИЦІ 600-РІЧЧЯ ТА ВУЛИЦІ КЕЛЕЦЬКА МІСТА ВІННИЦЯ	5
1.1 Існуюча організація дорожнього руху на досліджуваному перехресті	5
1.2 Аналіз організації транспортного та пішохідного руху	11
1.3 Аналіз існуючого режиму роботи світлофорного регулювання	13
1.4 Облік інтенсивності руху транспортного потоку	17
Висновки до розділу 1 та постановка задач дослідження	23
РОЗДІЛ 2. НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА РЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ	24
2.1 Формування параметрів та показників світлофорного регулювання	24
2.2 Оцінювання ефективності впровадження змін на елементах вулично- дорожньої мережі міста	30
2.3 Дослідження роботи регульованих перехресть із використанням математичного та імітаційного моделювання	38
Висновки до розділу 2	43
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ 600-РІЧЧЯ-КЕЛЕЦЬКА ...	44
3.1 Розрахунок існуючої пропускної здатності перехрестя	44
3.2 Визначення потоків насичення	49
3.3 Розрахунок існуючої транспортної затримки на перехресті	52
3.4 Розподіл транспортного руху по смугам та вибір удосконаленої схеми пофазного роз'їзду	55
3.5 Розрахунок оптимальної тривалості світлофорного циклу та дозвільних сигналів у фазах регулювання для удосконаленого варіанту пофазного роз'їзду	60
3.6 Аналіз якості вдосконаленої схеми організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті	66
3.7 Розрахунок пропускної здатності перехрестя з урахуванням змін	68

Висновки до розділу 3	70
РОЗДІЛ 4. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ З УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ	72
4.1 Вибір програмного забезпечення для побудови імітаційної моделі	72
4.2 Моделювання дорожнього полотна	73
4.3 Розгляд конфліктних зон	75
4.4 Введення інтенсивності та складу транспортних і пішохідних потоків	76
4.5 Введення в створювану модель можливих маршрутів ТЗ та громадського транспорту	77
4.6 Імітація моделі та формування необхідного списку результатів моделювання	79
Висновки до розділу 4	81
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	82
5.1 Технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці	83
5.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони	83
5.1.2 Виробниче освітлення	84
5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання	86
5.2 Технічні рішення щодо безпеки під час проведення вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниці	87
5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць	87
5.2.2 Заходи безпеки дорожнього руху на перехресті	87
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях	90
Висновки до розділу 5	90
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	93
ДОДАТКИ	99
Додаток А. Ілюстративна частина	
Додаток Б. Протокол перевірки МКР на плагіат	

ВСТУП

Актуальність теми. Проблеми, пов'язані з погіршенням функціонування вулично-дорожньої мережі (ВДМ), які в основному вже стали закономірними у великих містах України, суттєво впливають на роботу всього транспортного комплексу міста. Затримки транспорту в процесі руху, виникнення заторів, які характеризуються збільшенням часу на переміщення, погіршення транспортного обслуговування, підвищення рівня забруднення міського середовища шкідливими викидами і рівнем шуму, збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод – все це говорить про невідповідність ВДМ міста сучасному стану автомобілізації в країні [21-23, 25]. Тому все більш актуальними стають питання покращення умов руху автомобільного транспорту на вулично-дорожній мережі міст.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до Указу Президента України №722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» та проекту «Стратегії сталого розвитку України до 2030 року».

Дослідження з теми даної роботи належать до основних наукових напрямків кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент» Вінницького національного технічного університету та виконувались відповідно плану науково-дослідних робіт ВНТУ на 2022-2023 рр.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – покращення показників організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз стану організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця;
- навести наукові підходи до вдосконалення організації дорожнього руху на регульованому перехресті;
- розрахувати показники організації дорожнього руху на перехресті 600-річчя-Келецька та запропонувати заходи щодо їх покращення;

– розробити імітаційну модель удосконаленої схеми організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті.

– розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – організація дорожнього руху на ізольованому регульованому перехресті.

Предмет дослідження – показники організації дорожнього руху на регульованому перехресті.

Методи досліджень. У роботі використовувались методи системного підходу та системного аналізу для теоретичних і практичних положень в сфері організації та управління дорожнім рухом, теорія транспортних потоків, теорія прийняття рішень, імітаційне моделювання.

Новизна одержаних результатів.

Отримали подальший розвиток теоретичні положення та практичні аспекти проїзду транспортними засобами регульованих перехресть.

Практична значимість отриманих результатів.

Отримано та досліджено актуальні показники стану організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця, що дало змогу запропонувати заходи щодо її вдосконалення.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, обґрунтуванням прийнятих припущень при розробці розрахункових моделей та положень.

Апробація результатів роботи. Деякі положення та результати роботи доповідались та обговорювались на: X міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року; XVI міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року.

Публікації. Результати досліджень за участі автора опубліковано в публікаціях [23, 24].

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ ВУЛИЦІ 600-РІЧЧЯ ТА ВУЛИЦІ КЕЛЕЦЬКА МІСТА ВІННИЦЯ

1.1 Існуюча організація дорожнього руху на досліджуваному перехресті

Всі перехрестя поділяються на регульовані та нерегульовані, залежно від наявності світлофорного регулювання та характеру управління дорожнім рухом [39, 47]. Регульовані перехрестя це перехрестя, де є розміщене світлофорне регулювання, яким розділяють пішохідні та транспортні потоки як у часі та за смугами руху, так у напрямках, які конфліктують .

Для дослідження у даній роботі обрано перехрестя вул. 600-річчя та вул. Келецька в місті Вінниця. Дане перехрестя є регульованим, на ньому перетинаються транспортні та пішохідні потоки одночасно, розташоване близько до місць масового скупчення людей, оскільки знаходиться в мікрорайоні, де розташовані навчальні заклади, торгівельні центри, магазини, зупинні пункти маршрутів міського пасажирського транспорту.

Організація дорожнього руху на регульованих перехрестях відбувається за допомогою [20, 38, 39]:

- дорожніх світлофорів;
- дорожніх знаків;
- дорожньої розмітки;
- пішохідних та транспортних напрямних огорожень;
- острівців безпеки.

Застосування й розміщення технічних засобів регламентується:

- світлофорів дорожніх за ДСТУ 4092-2002;
- дорожніх знаків за ДСТУ 4100:2021;
- правила застосування дорожньої розмітки наведені в ДСТУ 2587:2021;
- огорожень дорожніх – ДСТУ 2735-94;

- умовні позначення технічних засобів організації дорожнього руху на схемі повинні відповідати вимогам ДСТУ 4159-2003.

Орієнтовне фотографування перехрестя вулиць 600-річчя-Келецька за напрямками показано на рис. 1.1-1.4.



Рисунок 1.1 – Перехрестя (600-річчя-Келецька) в напрямку від вулиці Андрія Первозванного



Рисунок 1.2 – Перехрестя (600-річчя-Келецька) в напрямку від Хмельницького шосе

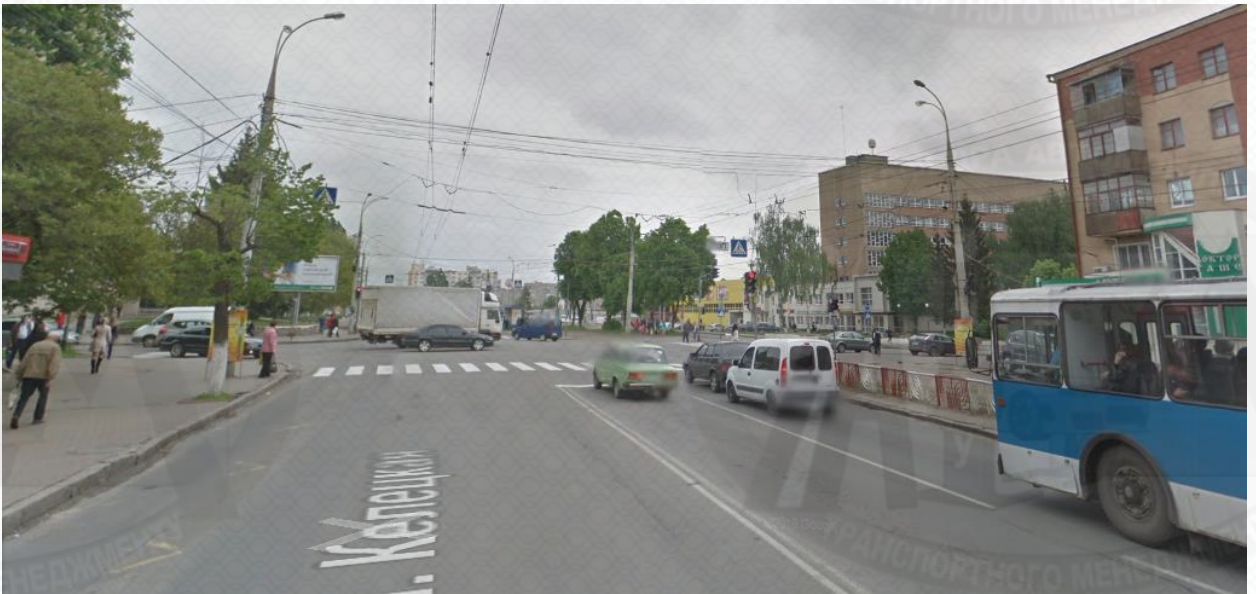


Рисунок 1.3 – Перехрестя (600-річчя-Келецька) в напрямку до центру міста



Рисунок 1.4 – Перехрестя (600-річчя-Келецька) в напрямку від центру міста

Дане перехрестя по вулиці 600-річчя та вулиці Келецькій містить по дві смуги руху в обох напрямках. Стан дорожнього покриття у досліджуваній зоні перебуває в задовільному стані та не перешкоджає руху транспортних потоків. В досліджуваній зоні перехрестя вулицю 600-річчя перетинає трамвайна колія (протилежні напрямки руху трамваю).

Для відображення існуючого стану організації дорожнього руху на перехресті вулиць 600-річчя-Келецька, необхідно відтворити її схему (див. рис. 1.5.). За поданою схемою можна оцінити наявність встановлених дорожніх знаків, розмітки та типи світлофорів, якими здійснюється регулювання транспортних та пішохідних потоків.

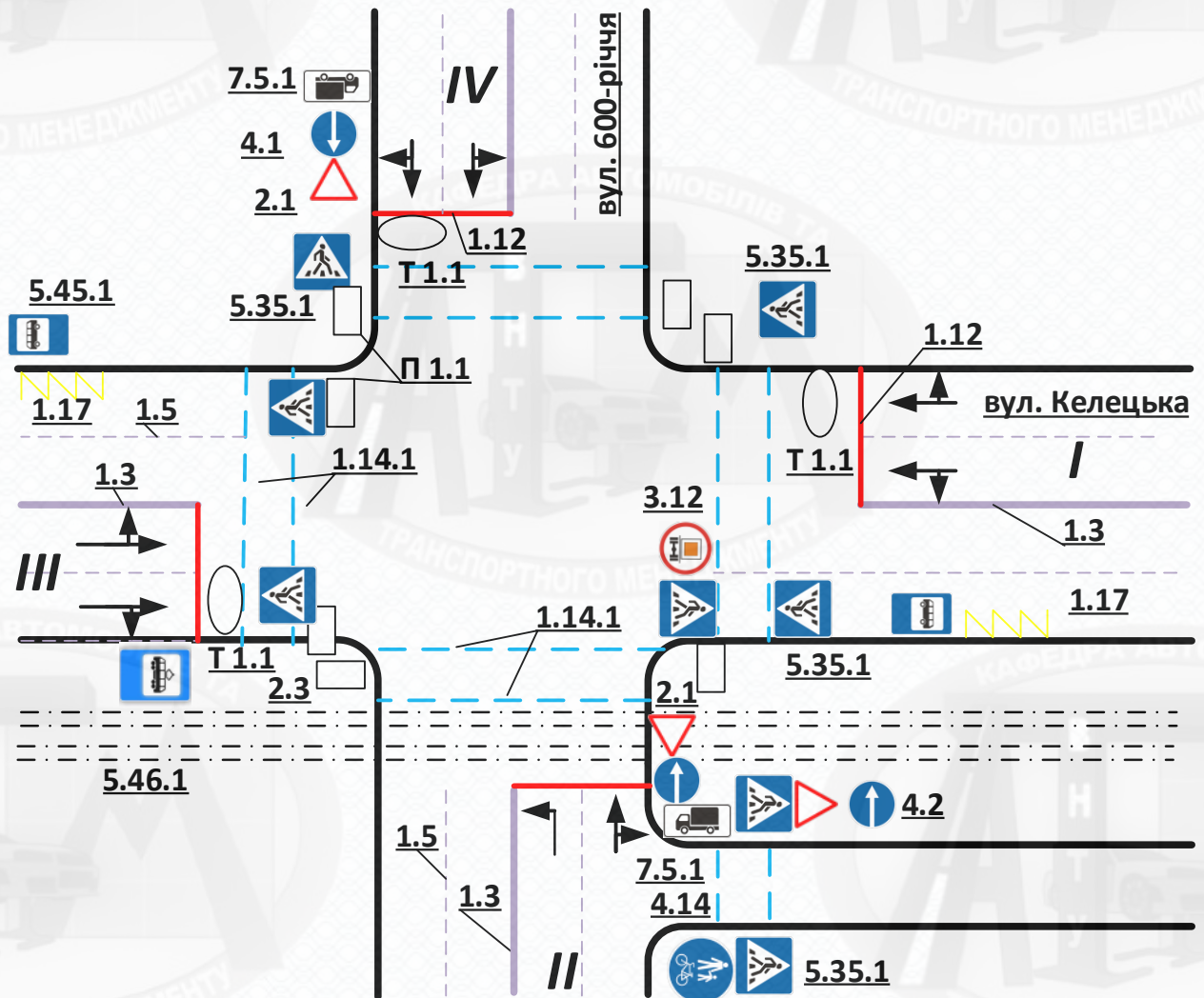


Рисунок 1.5 – Схема існуючої організації дорожнього руху на перехресті 600-річчя-Келецька

Схема організації дорожнього руху на перехресті – це графічний документ, який відображає розташовані на ньому технічні засоби організації дорожнього руху за допомогою умовних позначень, які регламентовані відповідно до стандартів.

По всій протяжності ділянок доріг по вулицям 600-річчя та Келецькій є тротуар для безпечного руху пішоходів. Оскільки в зоні досліджуваного перехрестя розміщено велику кількість магазинів, зупинки громадського транспорту, то рух пішоходів можна віднести до інтенсивного, що потребує гарантування їх безпечного переходу через проїжджу частину. Дорожня розмітка, яка позначає пішохідні переходи місцями затерта і потребує оновлення. Освітлення у темну пору доби достатнє для безпечного переходу проїжджої частини.

Через дане перехрестя прокладена трамвайна колія, яка виконана окремо від автомобільного шляху. Трамваї перетинають вулицю 600-річчя під час руху пішохідного потоку через перехрестя. Тому в подальших розрахунках вплив руху трамваїв на завантаженість даного перехрестя розглядати не будемо.

За призначенням технічні засоби організації дорожнього руху розділяють на дві групи. До першої відносять засоби, які безпосередньо впливають на транспортні та пішохідні потоки для формування необхідних параметрів. Технічні засоби першої групи – світлофори, дорожні знаки, дорожня розмітка, напрямні пристрої. Друга група – технічні засоби, які за наперед закладеним алгоритмом забезпечують роботу засобів першої групи. Це – детектори транспорту, дорожні контролери, обладнання пунктів автоматизованої системи управління дорожнім рухом, засоби опрацювання і передавання інформації, засоби диспетчерського зв'язку тощо.

На досліджуваному перехресті містяться: дорожні знаки (2.1; 3.12; 4.1; 4.14; 4.2; 5.35.1), дорожня розмітка (1.12; 1.14.1; 1.17; 1.3; 1.5), знаки зупинок громадського транспорту (5.45.1; 5.46.1), таблички до дорожніх знаків (7.5.1), світлофори пішохідні (П 1.1) і транспортні (Т 1.1).

Отже, зводимо всі відомості про технічні засоби в специфікацію (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Специфікація технічних засобів управління дорожнім рухом на перехресті вулиця 600-річчя – вулиця Келецька

№	Позначення	Найменування	Тип
Світлофорне регулювання			
1	СТ1	Світлофор транспортний	Т 1.1 Основний
2	СП1	Світлофор пішохідний	П 1.1 Основний
Дорожня розмітка			
1	1.12	Стоп-лінія	Розмітка горизонтальна
2	1.14.1	Зебра	Розмітка горизонтальна
3	1.17	Зупинка громадського транспорту	Розмітка горизонтальна
4	1.5	Переривчаста лінія	Розмітка горизонтальна
Дорожні знаки			
1	2.1	Дати дорогу	Знаки пріоритету
2	3.12	Рух транспортних засобів, що перевозять небезпечні вантажі, заборонено	Заборонні знаки
3	4.1	Рух прямо	Наказові знаки
4	4.14	Доріжка для пішоходів і велосипедистів	Наказові знаки
5	4.2	Рух праворуч	Наказові знаки
6	5.35.1	Пішохідний перехід	Інформаційно-вказівні знаки
7	5.45.1	Пункт зупинки автобусу	Інформаційно-вказівні знаки
8	5.46.1	Пункт зупинки трамваю	Інформаційно-вказівні знаки
9	7.5.1	Вид транспортного засобу	Таблички до дорожніх знаків

За даними таблиці 1.1 видно, що досліджуване перехрестя не можна відносити до простого, оскільки воно достатньо насичене технічними засобами регулювання дорожнього руху.

1.2 Аналіз організації транспортного та пішохідного руху

Дорожній рух є системою динамічної взаємодії транспортних і пішохідних потоків і для їх нормального функціонування необхідно забезпечити взаємодію чотирьох складових транспортного процесу: водій – автомобіль – дорога – середовище [20]. Збільшення кількості транспортних засобів, і як наслідок їх інтенсивності руху, зміна структури і швидкісних режимів транспортних потоків висувають усе більш жорсткі вимоги до створення засобів управління й організації дорожнього руху та для гарантування необхідного рівня ефективності і безпеки дорожнього руху на ділянках вулично-дорожньої мережі міста.

Перехрестя є регульованим, якщо черговість проїзду визначається сигналами світлофора чи регулювальника та, відповідно, встановлені знаки пріоритету не діють. У разі вимкнення світлофора або його роботи в режимі миготіння сигналу жовтого кольору та відсутності на ньому регулювальника, перехрестя є нерегульованим і водії повинні керуватись встановленими знаками пріоритету та правилами проїзду нерегульованих перехресть.

При повороті праворуч або ліворуч водій, на регульованих і нерегульованих перехрестях, повинен дати дорогу пішоходам, що переходять проїжджу частину, а також велосипедистам, які рухаються прямо в попутному напрямку. Якщо потрібно надати перевагу в русі транспортним засобам, які рухаються по перехрещуваній дорозі, водій має зупинити транспортний засіб перед дорожньою розміткою з позначенням 1.12 (стоп-лінією) та світлофором таким чином, щоб добре бачити його сигнали, а якщо сигнали відсутні, то зупинитись, не створюючи перешкод для руху пішоходів, перед краєм перехрещуваної проїжджої частини.

Якщо на перехресті утворився затор, то забороняється виїжджати на нього, у тому числі і при сигналі світлофора, що дозволяє рух, оскільки затор змусить водія зупинитися на перехресті та створить перешкоду для руху інших транспортних засобів та пішоходів. При ввімкненні сигналу світлофора, що дозволяє рух, водій повинен дати дорогу транспортним засобам та пішоходам, які завершують рух через перехрестя.

Транспортні світлофори, що розташовані на всіх кутах перехрестя 600-річчя-Келецька, як і пішохідні. Стан світлофорів відповідає всім вимогам. Технічні споруди, дерева, кущі та ін. не закривають огляд світлофорів та дорожніх знаків.

Організація дорожнього руху на перетинах *I-IV* досліджуваного перехрестя.

З усіх перетинів перехрестя *I-IV* дозволений рух у всіх напрямках, вулиці 600-річчя та Келецька мають чотири смуги руху для двостороннього руху (по дві смуги у протилежних напрямках). На ділянці, що досліджується використовуються транспортні і пішохідні світлофори. Фактичний їх стан задовільний фантом-ефектів немає.

Пішохідні переходи через перетини *I-IV* розташовані по траєкторіям руху пішоходів. На пішохідних переходах місцями стерта дорожня розмітка. Підходи до переходів в задовільному стані, бордюри занижені. Пішохідні переходи гарно освітлені у темну пору доби. Видимість на пішохідних переходах нічого не зменшує. На переходах часто присутні діти та люди похилого віку, оскільки близько знаходяться зупинки міського маршрутизованого транспорту та житлові будинки. Пішоходи скупчуються поруч з переходом на тротуарі та переходять дорогу на дозвільний сигнал. Автомобілі зупиняються перед переходом на стоп-лінії на достатній відстані. Тривалість дозвільного сигналу світлофора для переходу є достатньою для пішоходів. Присутні випадки руху пішоходів на червоний сигнал світлофора, але вони не часті і відбуваються тоді, коли інтенсивність руху транспортних засобів невисока. Конфліктні ситуації транспортного потоку з пішоходами, що вибігають на проїжджу частину існують але вони не часті.

1.3 Аналіз існуючого режиму роботи світлофорного регулювання

Режим роботи світлофорного регулювання – кількість, послідовність і тривалість окремих фаз і тактів, а також загальна тривалість циклу регулювання [4, 19, 46, 47, 49].

Проміжний такт світлофорного регулювання необхідний для звільнення зони світлофорного об'єкту від транспорту та пішоходів, що не встигли закінчити рух в попередньому основному такті. На час його дії можливий рух транспортних засобів, водії яких, перебуваючи недалеко від «стоп-лінії», не змогли вчасно зупинитися. Мета застосування проміжного такту – гарантування безпеки руху в перехідний період, в той час, як рух попередньої групи потоків уже заборонений, а наступна група ще не має дозвіл на рух. Проміжний такт – це жовтий сигнал світлофора. Діючий нормативний документ [4] регламентує тривалість жовтого сигналу світлофора – 3 або 4 с.

Фаза світлофорного регулювання утворюється сукупністю основного такту та, наступного за ним, проміжного такту.

На досліджуваному перехресті використовується 3 фазне світлофорне регулювання з виділеною фазою для пішохідного руху. Використовуючи рис. 1.5, побудуємо схеми пофазного роз'їзду для досліджуваного перехрестя. На рисунку 1.6 показана 1 фаза світлофорного регулювання – виїзд з вулиці Келецька у перетинах *I* та *III*. Дозвільний сигнал діє на 2 смуги у всіх напрямках, тривалістю 27 с. Інші рухи на перехресті заборонено.

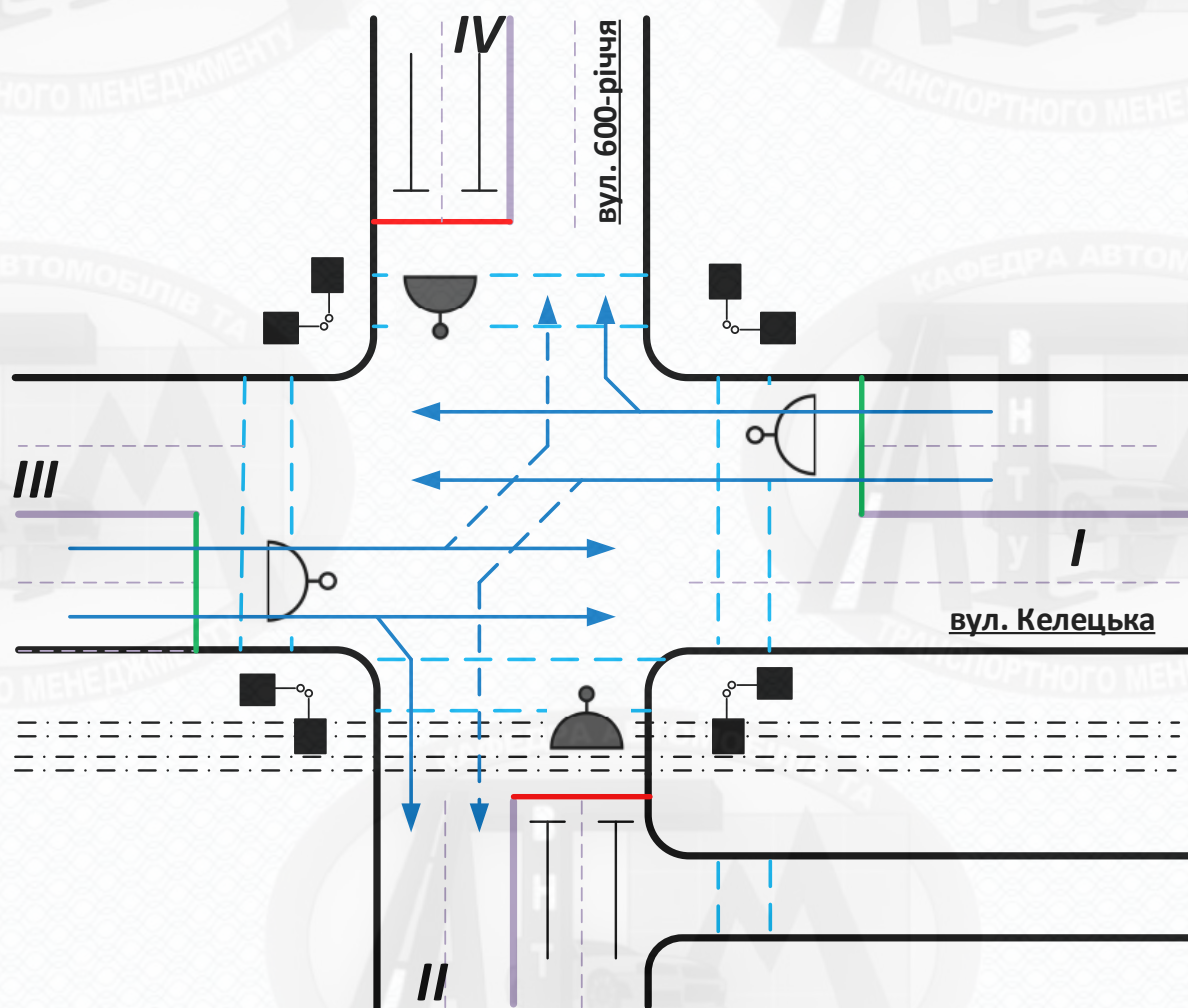


Рисунок 1.6 – Схема руху на перехресті у фазі 1

Як видно з рисунку 1.6, повороти наліво (на вулицю 600-річчя з вулиці Келецька) зображені штриховою лінією зі стрілками, оскільки вони виконуються після надання переваги у русі транспортним засобам, які рухаються прямо.

На рисунку 1.7 показано схему руху на перехресті у 2 фазі світлофорного регулювання – рух по вулиці 600-річчя у перетинах II та IV. Дозвільний сигнал діє на 2 смуги у всіх напрямках, тривалістю 22 с. Інші рухи на перехресті заборонено.

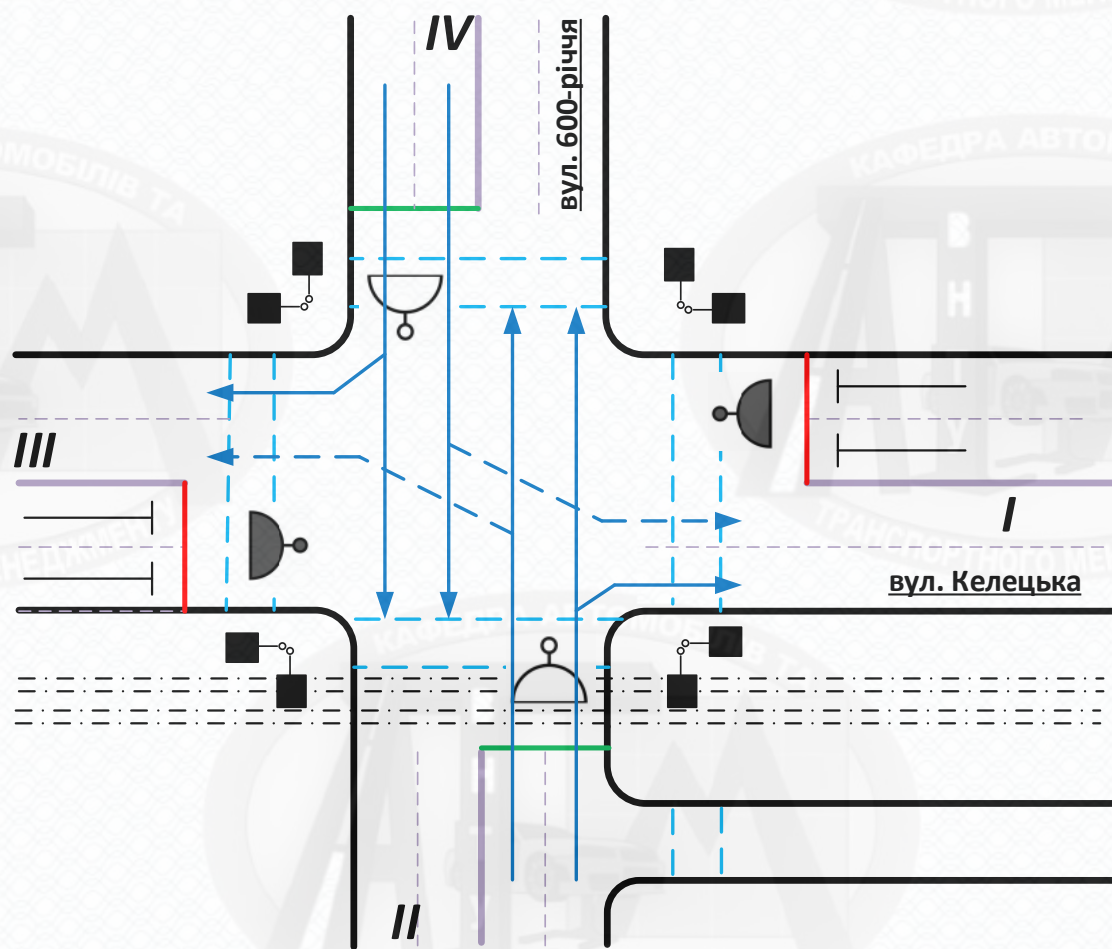


Рисунок 1.7 – Схема руху на перехресті у фазі 2

Як видно з рисунку 1.7, повороти наліво (на вулицю Келецька з вулиці 600-річчя) аналогічно зображені штриховою лінією зі стрілками, оскільки вони виконуються після надання переваги у русі транспортним засобам, які рухаються прямо.

У 3 фазі світлофорного регулювання відбувається рух пішохідних потоків по всім перетинам, тривалість такту даної фази – 17 с. Схема руху на перехресті у 3 фазі світлофорного регулювання показано на рисунку 1.8.

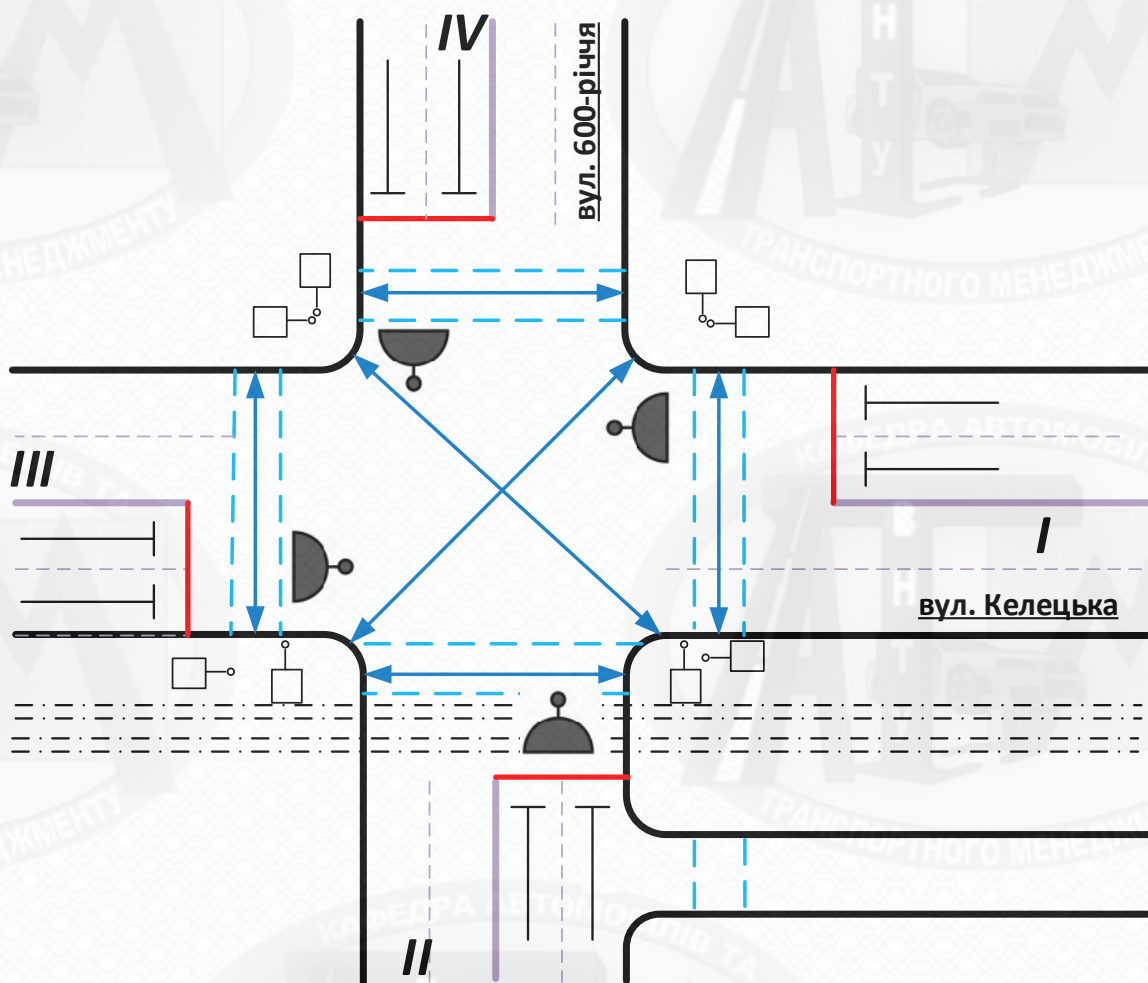


Рисунок 1.8 – Схема руху на перехресті у фазі 3 (пішохідна фаза)

Циклограма світлофорного регулювання – це графічний вигляд послідовності й тривалості відображення сигналів світлофорів на всіх дозволених напрямках руху транспорту й пішоходів на регульованому перехресті або пішохідному переході, який розташований на перегоні вулиці [29]. Відповідно до ДСТУ 4092:2002, у тривалості основних тактів, безпосередньо перед вимкненням зеленого сигналу, слід передбачати миготіння зеленого сигналу протягом 3 с, частота миготіння – 1 с.

На наступному етапі побудуємо циклограму існуючого світлофорного регулювання на досліджуваному перехресті і зобразимо на рис. 1.9.

Напрямок

Тривалість, с

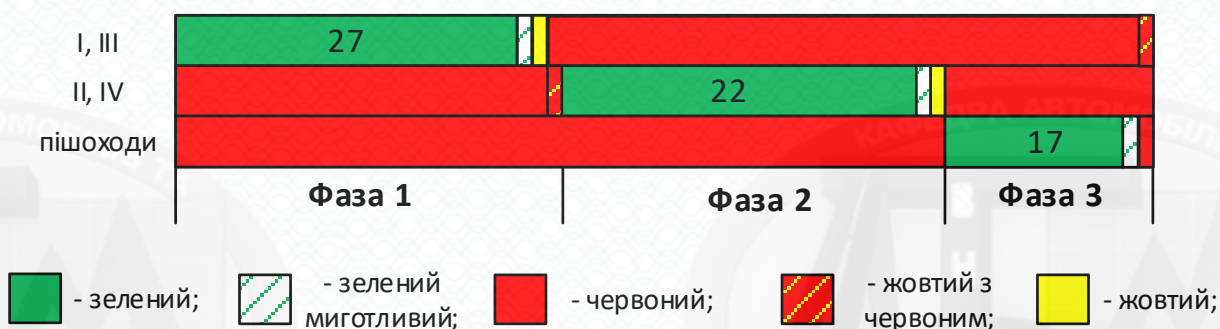


Рисунок 1.9 – Циклограма світлофорного регулювання

Отже, за проведеним спостереженням, тривалість циклу роботи світлофорного регулювання перехрестя 600-річчя-Келецька становить – 78 с, тривалості фаз: 1 – 33 с, 2 – 25 с; 3 – 20 с. У всіх фазах тривалості проміжних тактів – 3 с (жовтого, зеленого миготливого, жовтого з червоним – 3 с).

Режим роботи світлофорної сигналізації на досліджуваному перехресті не враховує реальну ситуацію із завантаженістю напрямків руху транспорту, оскільки спостерігаються значні черги у години пік під час виїзду транспортних засобів з вулиці 600-річчя на вулицю Келецьку.

1.4 Облік інтенсивності руху транспортного потоку

Дослідження дорожнього руху з метою обліку інтенсивності руху транспортного потоку можливе з використанням різноманітних методів, які описані у вітчизняній і зарубіжній практиці подібних досліджень, починаючи від найпростіших, виконання яких доступно одній людині без спеціального оснащення, і закінчуючи складними і трудомісткими, вимагають застосування сучасної електронної апаратури і рухливих лабораторій. Достатньо велика кількість методів пояснюється, як великим числом завдань та умов, що

вирішуються за допомогою організації руху, так і постійним вдосконаленням апаратури, що застосовується для отримання первинних даних та їх обробки.

На рис. 1.10 показано класифікацію найбільш поширених методів дослідження дорожнього руху, в основу якої покладено спосіб отримання потрібної інформації.



Рисунок 1.10 – Класифікація методів дослідження дорожнього руху [27, 47]

Для дослідження перехрестя у м. Вінниця було застосовано натурний метод, що дозволяє зафіксувати інтенсивність руху транспортних засобів та пішоходів у годину «пік». Застосований метод є найпростішим і водночас найпоширенішим. Натурним методом досліджень користуються у більшості країн Європи для отримання характеристик транспортних та пішохідних потоків при розрахунках розвитку системи мобільності та використання отриманих даних у транспортній моделі міста. Результати такого обстеження можна отримати як за допомогою засобів автоматичної реєстрації, так і за допомогою обліковців на постах.

Інтенсивність транспортного потоку (інтенсивність руху) – це число транспортних засобів, що проїжджають через перетин дороги за одиницю часу.

Розрахунковим періодом часу при визначенні інтенсивності руху приймають рік, місяць, добу, годину і деколи більш короткі проміжки часу – хвилини чи секунди, в залежності від поставленого завдання та засобів вимірювання [36].

Облік руху на досліджуваному перехресті проводився з метою отримання існуючих відомостей про інтенсивність і склад руху транспортного потоку, що здійснює рух через перехрестя вулиць 600-річчя-Келецька.

Інформація про інтенсивність і склад транспортного потоку в годину «пік» використовується для оцінки рівнів завантаження доріг рухом, при розробці заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху та вдосконалення його організації.

Інтенсивність руху транспортного потоку визначають [36]:

- у транспортних одиницях з поділом на типи транспортних засобів: автобуси, тролейбуси, легкові автомобілі, вантажні автомобілі;
- в одиницях, які приведені до легкового автомобіля;
- за складом автомобільного парку (за марками автомобілів), які рухаються по досліджуваній автомобільній дорозі.

Для визначення складу транспортного потоку і його інтенсивності застосовують метод візуального обліку руху. В його основі закладено принцип визначення середньорічної добової інтенсивності транспортного потоку та його складу за результатами обліку, що проводився в будь-який час, день, тиждень, місяць з урахуванням поправочних коефіцієнтів.

При наявності поправочних коефіцієнтів, що враховують нерівномірність розподілу інтенсивності транспортного потоку протягом доби, за днями тижня чи тижня місяця, або місяця року, то на даній автомобільній дорозі вибіркового обліку руху проводять в будь-який час, день, місяць, але не менше 1 години.

При визначенні інтенсивності руху (складу транспортного потоку) необхідно заповнити бланк – картку обліку транспортних засобів.

Склад транспортного потоку – це кількість певних видів транспорту певного типу в цьому потоці, який виражають, зазвичай, у відсотковому вираженні. Він відіграє важливу роль під час формування умов руху на дорозі. Наприклад, якщо

транспортний потік буде складатись переважно тільки з легкових або вантажних автомобілів, то режим руху буде значно відрізнитись. При організації дорожнього руху, їх, переважно, поділяють на п'ять груп: легкові автомобілі, вантажні автомобілі, автопоїзди, автобуси, мотоцикли. У врахуванні складу потоку важливим є площа, яку займає транспортний засіб на дорозі та його габарити під час руху.

Картка обліку (див. табл. 1.2) містить інформацію про напрямки руху на вулицях 600-річчя та Келецька та про інтенсивність руху транспортних засобів у фізичних і окремо у приведених одиницях. Облік проводився 3 жовтня 2023 року з 08.00 до 9.00, тривалістю в одну годину. Напрямки руху в таблиці 1.2 співпадають з напрямками, зображеними на схемі перехрестя (рис. 1.5).

Таблиця 1.2 – Картка обліку інтенсивності руху транспортного потоку

Вид транспортних засобів	Напрямок руху												Всього у фізичних од./год	Всього у приведених од./год
	I-II	II-I	I-III	III-I	I-IV	IV-I	II-III	III-II	II-IV	IV-II	III-IV	IV-III		
Легкові автомобілі, $K_n = 1,0$	175	122	375	512	79	147	135	144	452	389	88	105	2723	2723
Мікроавтобуси і вантажні автомобілі вантажністю до 2т, $K_n = 1,5$	33	14	46	55	16	61	48	59	27	73	31	22	485	727,5
Вантажні автомобілі вантажністю 2-6т, $K_n = 2,0$	18	6	27	24	6	4	33	27	8	11	7	18	189	378
Автобуси та тролейбуси, $K_n = 3,0$	0	0	48	53	2	0	0	0	0	3	0	0	106	318
Мотоцикли та мопеди, $K_n = 0,5$	8	12	18	19	9	9	14	18	7	11	5	6	136	68

Продовження таблиці 1.2.

Вид транспортних засобів	Напрямок руху												Всього у фізичних од./год	Всього у приведених од./год
	I-II	II-I	I-III	III-I	I-IV	IV-I	II-III	III-II	II-IV	IV-II	III-IV	IV-III		
Трактори, автопоїзди, $K_n = 4,0$	3	0	9	4	1	0	3	4	0	0	0	2	26	104
Вантажні автомобілі вантажністю 6-12т, $K_n = 3,5$	4	0	6	7	0	0	1	6	2	18	9	2	55	192,5
Всього	241	154	529	674	113	221	234	258	496	505	140	155	3720	4511
	291	161	708	852	130	251	296	333	519	598	183	192		

За даними таблиці 1.2, складаємо діаграму структури транспортного потоку, який рухається перехрестям 600-річчя-Келецька міста Вінниця (див. рис. 1.11).

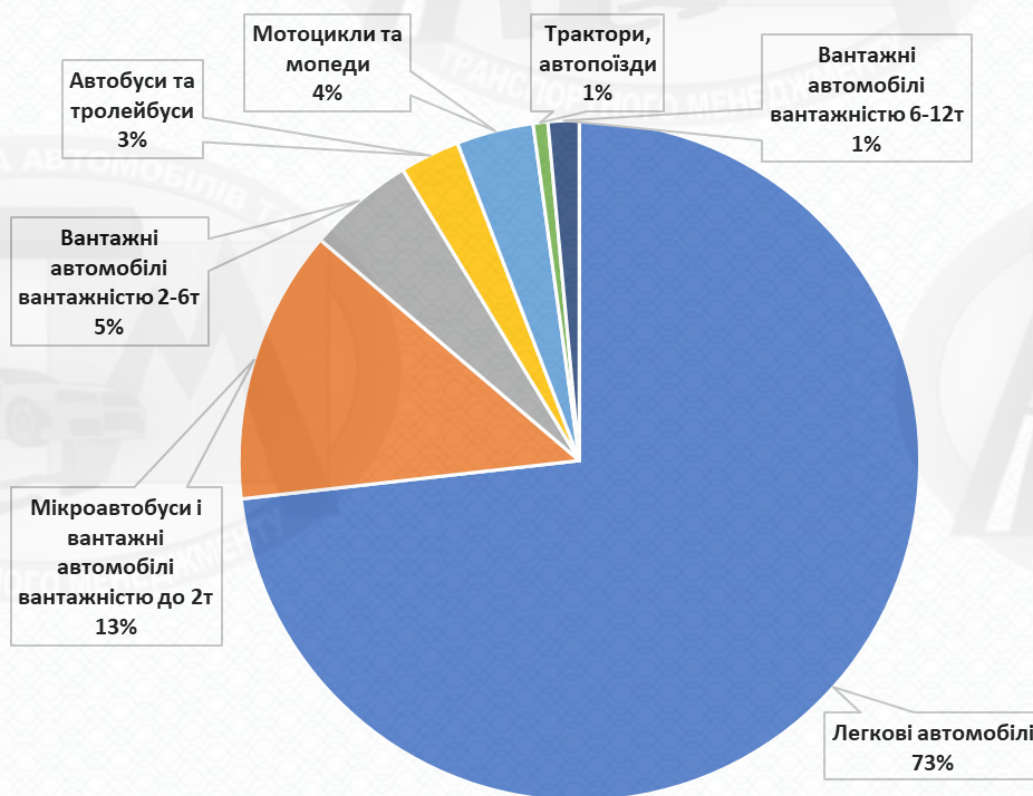


Рисунок 1.11 – Діаграма складу транспортного потоку досліджуваного перехрестя

За рисунком 1.11, можна спостерігати склад потоку, що рухається через досліджуване перехрестя, в такому відсотковому співвідношенні: легкові автомобілі – 73 %, мікроавтобуси та вантажні автомобілі з вантажопідйомністю до 2т – 13%, вантажні автомобілі з вантажопідйомністю 2-6т – 5%, вантажні автомобілі з вантажопідйомністю 6-12т – біля 1%, автобуси та тролейбуси – 3%, мотоцикли та мопеди – 4%, трактори та автопоїзди – менше 1%. Склад наведеної діаграми приводить до висновку, що легкові автомобілі є переважаючими і у складі 73 % транспортний потік через досліджуване перехрестя – легковий.

Картограма транспортного потоку показана на рисунку 1.12.

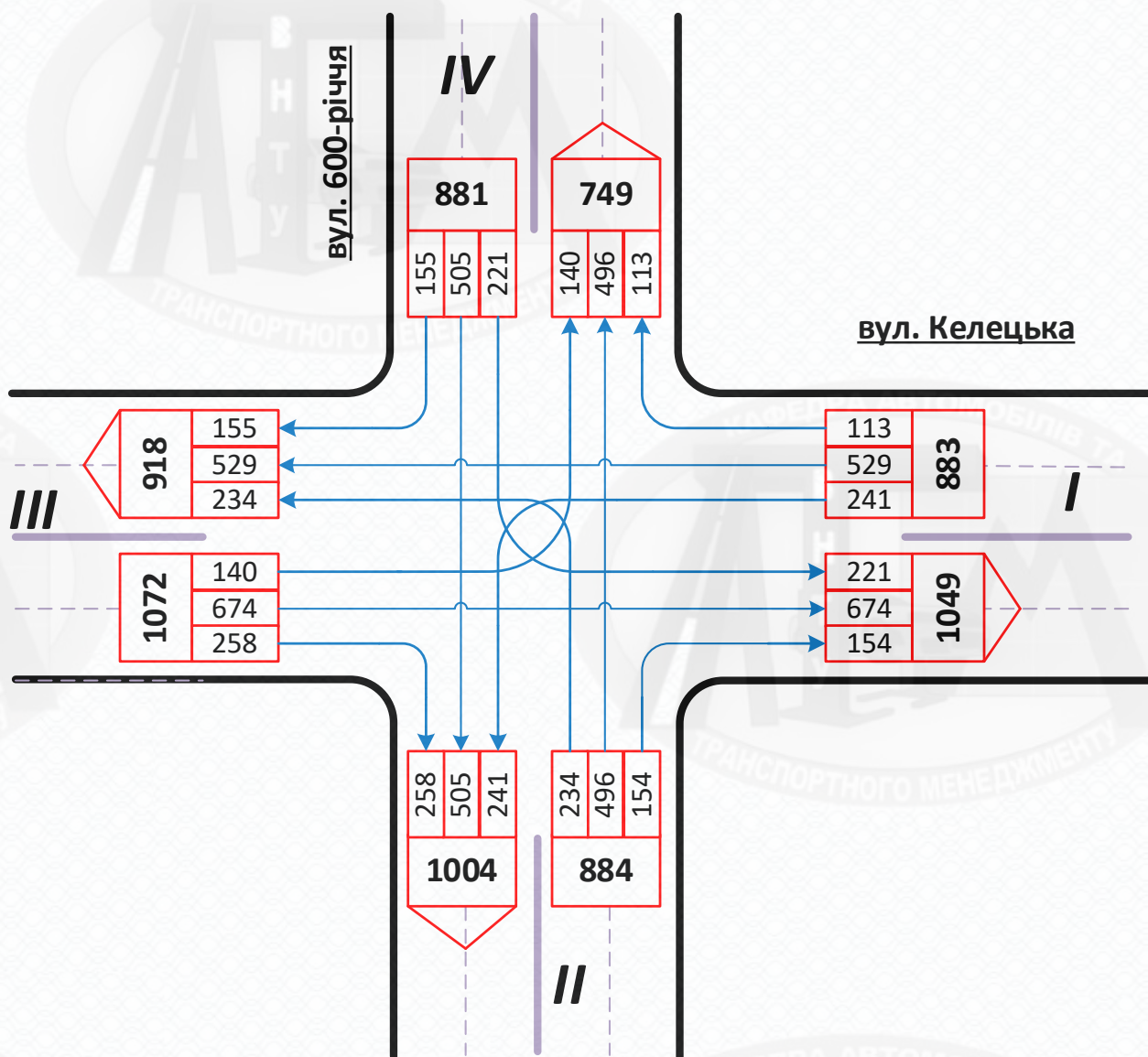


Рисунок 1.12 – Картограма транспортного потоку на досліджуваному перехресті

На картограмі наведено розподіл транспортних потоків за напрямками руху та сумарно вхідні та вихідні потоки на перетинах *I-IV*. На рисунку 1.12 наведені значення у фізичних одиницях авт./год. З наведеної картограми видно, що найбільш завантаженим перетином перехрестя є *III* перетин, оскільки з даного напрямку рухається значний транспортний потік у ранішню годину пік в напрямку до центру міста по вулиці Келецькій, яка є однією з магістральних вулиць міста Вінниця.

Висновки до розділу 1 та постановка задач дослідження

В даному розділі роботи виконано аналіз існуючого стану організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця. Режим роботи світлофорної сигналізації на досліджуваному перехресті не враховує реальну ситуацію із завантаженістю напрямків руху транспорту, оскільки спостерігаються значні черги у години пік під час виїзду транспортних засобів з вулиці 600-річчя на вулицю Келецьку. Також, завантаженим перетином перехрестя є *III* перетин, оскільки з даного напрямку рухається значний транспортний потік у ранішню годину пік в напрямку до центру міста по вулиці Келецькій, яка є однією з магістральних вулиць міста Вінниця.

Проведений облік інтенсивності руху транспортного потоку надав можливість виявити склад потоку, за яким легкові автомобілі є переважаючими і на 73 % транспортний потік через досліджуване перехрестя – легковий.

Отже, задачі для розробки у подальших розділах роботи:

- навести наукові підходи до вдосконалення організації дорожнього руху на регульованому перехресті;
- розрахувати показники організації дорожнього руху на перехресті 600-річчя-Келецька та запропонувати заходи щодо їх покращення;
- розробити імітаційну модель удосконаленої схеми організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті.
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

РОЗДІЛ 2. НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА РЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ

2.1 Формування параметрів та показників світлофорного регулювання

Управління дорожнім рухом – надзвичайно складний процес, особливо, якщо брати до уваги управління транспортними потоками у великих містах.

Найважливішою і не зовсім вирішеною є проблема управління рухом інтенсивних транспортних потоків через регульовані перехрестя. Світлофорна сигналізація є основним засобом управління дорожнім рухом у містах, що призначена для почергового дозволу перетину учасниками дорожнього руху перехрестя чи певної ділянки ВДМ, та для позначення небезпечних ділянок на автомобільних дорогах.

Задачі оптимізації режимів світлофорного регулювання розв'язували вітчизняні та іноземні вчені, зокрема Є. О. Рейцен, Ф. Вебстер, Х. Іносе, О. П. Дзюба, В. П. Поліщук, Т. Хамада [6, 8, 9, 19, 25, 35, 42, 46, 47-49] та інші.

Методи управління світлофорного регулювання розрізняють локальні та зональні. Цільова функція локального управління дозволяє отримати оцінки ефективності функціонування транспортних потоків на одному перехресті без урахування сусідніх. Зональне управління надає можливість оптимізувати функціонування транспортного потоку на ділянці мережі, що складається з декількох взаємопов'язаних перехресть [47].

На регульованих перехрестях зазвичай застосовують однопрограмне жорстке управління рухом транспортних потоків. Розрахунок світлофорного циклу та його складових ґрунтується на опосередкованих значеннях інтенсивності руху транспортного потоку в попередні періоди [36]. Відомо, що транспортні потоки мають ранкові та вечірні максимальні піки інтенсивностей у робочі дні, вони зростають з понеділка до п'ятниці та знижуються у вихідні, мають різкий спад у нічну пору доби. Щоб врахувати такі коливання використовують багатопрограмне

жорстке, залежне від часу, або адаптивне (транспортно-залежне) управління [47]. Орієнтовні періоди доцільного застосування таких типів управління (рис. 2.1) наведено у роботі [6, 47], але рішення про застосування адаптивного управління необхідно приймати у кожному конкретному випадку.

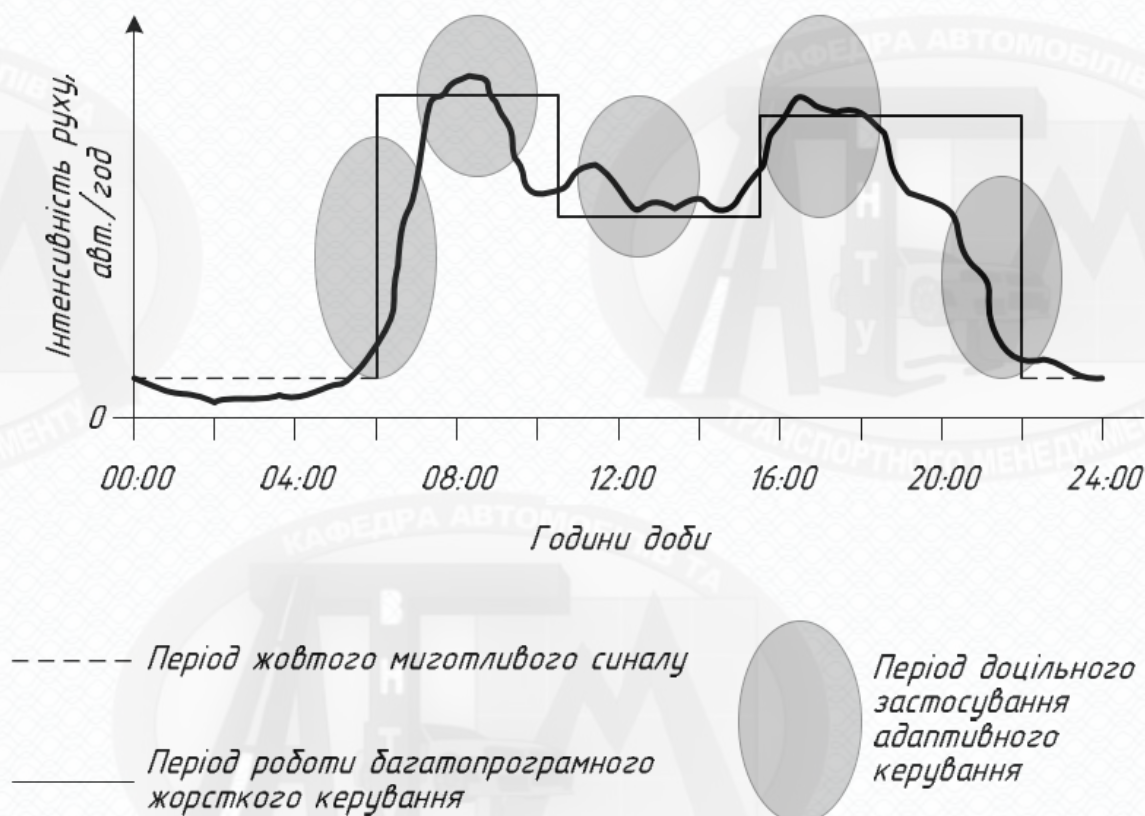


Рисунок 2.1 – Типова зміна інтенсивності руху ТП упродовж доби [49]

Жорстке управління ґрунтується на розрахунку тривалості світлофорного циклу та фаз регулювання, при попередньо зібраних даних про інтенсивності руху транспортного потоку на досліджуваному перехресті. Проте, за такого управління можлива зміна (декілька разів на добу) параметрів регулювання. Тому, ці параметри визначають, виходячи не з реальної ситуації на перехресті, а за допомогою попередньо виконаних досліджень.

Тривалість світлофорного циклу $T_{\text{ц}}$ (с), в Україні та багатьох інших країнах, розраховують, використовуючи формулу Вебстера, яка полягає у мінімізації затримок ТЗ перед перехрестям [6, 8, 9, 19, 25, 35, 42, 46, 47-49 та інші]:

$$T_y = \frac{1,5 \sum_{i=1}^n t_{ni} + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}, \quad (2.1)$$

де t_{ni} – тривалість перехідного інтервалу в i -й фазі регулювання, с;

y_i – фазовий коефіцієнт i -ї фази, що визначають через співвідношення

$$y_i = \frac{N_i}{S_i}, \quad (2.2)$$

де N_i – інтенсивність руху ТЗ у тому ж напрямку в i -й фазі регулювання, авт./с;

S_i – потік насичення в тому ж напрямку, авт./с.

Тривалість дозвільного сигналу t_3 в i -й фазі регулювання пропорційна до розрахункового фазового коефіцієнта цієї фази [38]:

$$t_3 = \frac{\left(T_y - \sum_{i=1}^n t_{ni} \right) \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n y_i}, \quad (2.3)$$

Як видно з формул (2.1–2.3), для розрахунку оптимальної тривалості світлофорного циклу та дозвільних сигналів у фазах регулювання, необхідно мати значення таких параметрів: інтенсивності транспортного потоку та потоку насичення в певному напрямку i -ї фази на перехресті.

Визначальним показником, що входить у розрахунок фазових коефіцієнтів, та тривалостей світлофорного циклу та дозвільного сигналу певного напрямку, є інтенсивність руху транспортного потоку [47].

Однак, у складі транспортного потоку рухаються ТЗ різних типів з неоднаковими розмірами і тому, на таких самих учасників дорожнього руху вони по-різному впливатимуть. Тому, в розрахунках оперують не фізичним значенням інтенсивності, а зведеним до умовного легкового автомобіля, за допомогою відповідних коефіцієнтів зведення $K_{зв}$. В різних країнах зведення виконують за різними критеріями. Наприклад, у США весь транспортний потік розділяють на дві категорії – легкові та вантажні транспортні засоби; в Австралії – вантажний ТЗ може мати три значення коефіцієнта зведення (при русі транзитом – $K_{зв} = 1,85$, в разі здійснення безконфліктного повороту $K_{зв} = 2,4$ та $K_{зв} = 3,9$ – у разі конфліктного повороту); у Великобританії вантажні ТЗ малої вантажності прирівнюють до легкових ($K_{зв} = 1,0$), великої – $K_{зв} = 1,75$, автобуси – $K_{зв} = 2,25$ і трамваї – $K_{зв} = 2,5$ [47].

На сьогодні використовується декілька методичних підходів для визначення коефіцієнта зведення. Деякі застосовують при дослідженні транспортних потоків на перегонах між перехрестями, деякі використовують у розрахунках світлофорних циклів для регульованих перехресть з різними типами пересічень вулиць [39]. Прийняті в Україні числові значення коефіцієнта зведення наведено у чинних ДБН 2.3-4-2015 та ДБН В. 2.3-5-2001. Вони не надають коефіцієнти зведення для різних умов руху, а лише постійні величини для різних елементів ВДМ. Значення даних коефіцієнтів визначені та обгрунтовані ще у 70-х роках минулого сторіччя і не можуть адекватно відображати сучасні умови руху транспортних потоків. Ряд вчених стверджують, що ці коефіцієнти є неприйнятними, якщо йдеться про розрахунок параметрів світлофорної сигналізації.

Значення коефіцієнтів зведення за різними джерелами наведено у табл. 2.1.

Наведені дані вказують на відмінність значень коефіцієнтів зведення, отриманих різними авторами, від нормативних. Тобто постала потреба в уточненні коефіцієнтів зведення для розрахунку світлофорних циклів. Слід зазначити, що у проекті нової редакції ДБН вже передбачено окремі коефіцієнти

зведення для різних типів транспортних засобів під час проїзду регульованих перехресть.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти зведення до легкового автомобіля [47]

Тип транспортного засобу	Коефіцієнти зведення до легкового автомобіля за даними різних авторів				
	Вебстер	Бренстон	Сосін	Врубель	ДБН В.2.3-4:2015
Мотоцикли	0,33	0,15	0,6	0,7	0,5-0,75
Вантажні ТЗ вантажністю:					
до 2 т	—	—	—	—	1,5
від 2 до 6 т	1,75	1,35	1,6	1,4	2
більше ніж 6 т	1,75	1,68	—	—	2,5-3,5
Автопоїзди	—	—	2,8	2,3	3,5-6,0
Автобуси	2,25	1,65	1,7	2,0	3,0
Тролейбуси	—	—	—	2,0	—
Зчленовані автобуси (тролейбуси)	—	—	2,8	2,6	—

Заслуговує уваги підхід до визначення коефіцієнтів зведення, розроблений О. Г. Левашевим [27-29], який взяв за основу співвідношення, яке запропонував Ю. А. Врубель [11]:

$$K_{зв} = \frac{t_i}{t_{лег}}. \quad (2.4)$$

На основі мінімізації тривалості роз'їзду черги транспортних засобів на перехресті T після вмикання зеленого сигналу світлофора, О. Г. Левашев пов'язав з визначенням коефіцієнта $K_{зв}$, створивши таку залежність [47]:

$$T = \alpha + \sum_{j=1}^m \beta_j n_j + \varepsilon. \quad (2.5)$$

де α – стартова затримка, пов'язана з розгоном ТЗ до швидкості, характерної для транспортного потоку в разі досягнення значення потоку насичення, с;

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

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

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

У визначенні параметра T , з метою вилучення з цієї моделі додаткового часу на реакцію водія, пропонується приймати за початковий момент початок руху першого ТЗ з черги. За кінцевий момент приймають момент проходження над стоп лінією заднього бампера остатнього ТЗ з черги [18].

Коефіцієнти зведення за Левашевим, наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти зведення ТП до легкового автомобіля [41]

Тип транспортного засобу	Коефіцієнти зведення, $K_{зв}$
Легковий автомобіль	1,000
Мікроавтобус	1,093
Вантажний автомобіль вантажністю до 2 т	1,179
Автобус малої пасажиромісткості	1,367
Вантажний автомобіль вантажністю від 2 до 6 т	1,480
Автобус великої пасажиромісткості	1,839
Вантажний автомобіль вантажністю понад 6 т	1,647
Зчленований автобус (тролейбус)	2,362
Автопоїзд	2,231

Визначальним параметром, необхідним для проектування та аналізу роботи регульованого перехрестя, є також потік насичення. Потік насичення – це

максимальний потік транспортних засобів, що утворюється з черги безкінечної довжини перед стоп-лінією, які рухаються на дозвільний сигнал світлофора і проїжджають перехрестя під час цього сигналу. Потік насичення відображає вплив розривів транспортного потоку на його поведінку під час світлофорного управління [42].

2.2 Оцінювання ефективності впровадження змін на елементах вулично-дорожньої мережі міста

Відомо, що для сучасних міст рівень зростання автомобілізації суттєво впливає на проблеми міста. Підвищення рівня автомобілізації загострює транспортні проблеми, до яких можна віднести:

- забезпечення транзиту транспортних потоків високої інтенсивності;
- гарантування пропускної здатності ВДМ;
- розміщення та зберігання АТЗ у місті;
- підвищення показників безпеки руху;
- обмеження впливу транспорту на навколишнє середовище.

Для оцінки ефективності впровадження змін на ВДМ в цілому або на окремих регульованих перехрестях використовують критерії якості керування. Такими критеріями є: затримка (середня і загальна), кількість зупинок, тривалість руху, пропускна здатність, довжина черги (середня і максимальна), середня швидкість руху, тривалість заторів, ефективність використання ВДМ, ймовірність проїзду на перший дозвільний сигнал світлофора, симетрія керування (відносно напрямків руху чи потоків, які конфліктують), транспортний шум, викиди шкідливих речовин у довкілля, витрати палива тощо [42].

Будь-який критерій повинен не тільки добре описувати поточну ситуацію, але і визначатись теоретично або експериментально. Тому економічні критерії та критерії, пов'язані з довкіллям, майже не використовують.

Мета керування є однією із класифікаційних ознак, за якими обирають критерії. У таблиці 2.3 наведено цілі, які задаються під час проектування міських

автоматизованих систем управління дорожнім рухом, та відповідні їм критерії якості [31, 38, 47]. Слід відзначити, що одночасне виконання декількох критеріїв призводить до кращого системного ефекту, ніж сума ефектів незалежних елементів [47].

Таблиця 2.3 – Цілі, які висувуються під час проектування міських систем управління дорожнім рухом, та відповідні їм критерії якості [46]

Мета керування	Критерії якості керування
Гарантування безпеки руху	Рівень аварійності на ВДМ
Підвищення рівня обслуговування учасників руху	Тривалість руху Тривалість затримки Кількість зупинок Довжина черги перед перехрестям Середня швидкість руху Рівномірність руху Експлуатаційні витрати
Підвищення використання пропускної здатності ВДМ	Рівень використання пропускної здатності ВДМ
Зменшення шкідливого впливу транспорту на довкілля	Рівень забруднення відпрацьованими газами Рівень транспортного шуму Витрати палива
Надійність керування	Параметр нерівномірності руху (середньоквадратичне відхилення прискорення автомобіля) Максимальна швидкість руху

Загальносистемний критерій якості керування можна подати у вигляді

$$F = \sum_{i=1}^n f_i \rightarrow \max . \quad (2.6)$$

де f_i – ефект, отриманий за критерієм i ;

n – кількість критеріїв.

Критерії якості керування, з погляду отримання інформації, можна розподілити на ті, що можна безпосередньо виміряти, та ті, що потрібно розраховувати. Другі, як правило, є наслідком перших. На рис. 2.2 показано взаємозв'язок між критеріями обох груп.



Рисунок 2.2 – Взаємозв'язок критеріїв якості керування [47]

Для досягнення оптимального результату одні з критеріїв вимагають максимізації, а інші – мінімізації одних і тих самих параметрів. Ще інші – навпаки: оптимізація керування за одним з них призводить до підвищення якості керування і за іншим. Отже, для різних умов руху доцільно використовувати різні критерії, які б забезпечували максимальний ефект в конкретних умовах. Тому,

можна стверджувати, що не існує цільової функції, яка давала б змогу здійснювати ефективне керування у всіх можливих змінах умов руху.

При значній інтенсивності руху, критеріями можуть бути: тривалість поїздки, транспортні затримки та пропускна здатність [6]. Пропускна здатність визначають за допомогою двох інших параметрів, оскільки замале її значення відобразатиметься на затримках або тривалості поїздки. Тривалість поїздки краще оцінює сумарний ефект системи, але затримки простіше розраховують. Знаючи, що тривалість руху є сумою затримок біля перехрестя та тривалості руху між перехрестями, і другий параметр майже не залежить від параметрів роботи світлофорного керування, використовуючи у якості критерію затримку, можна наближено оцінити сумарну тривалість поїздок усіх автомобілів.

При невеликій інтенсивності руху доцільно застосовувати як критерій «кількість зупинок». Але такий параметр складно розраховувати теоретично, оскільки важко визначити як мінімальне значення швидкості, яке відповідає зупинці, так і саме значення швидкості. Тому, в якості критерію, при малій інтенсивності руху також використовують транспортну затримку.

У разі заторів або щільних транспортних потоків не можна використовувати як критерій ні транспортну затримку, ні тривалість поїздки, оскільки вони не набувають стаціонарних значень, а нагромаджуються в часі. В такому разі в якості критерію застосовують довжину черги або тривалість існування затору [8, 47].

Оскільки транспортний затор зумовлюється різними причинами (інтенсивний рух, ДТП, дорожньо-будівельні роботи, несправність роботи світлофорів), в кожному конкретному випадку застосовують відповідний критерій.

Одним із найпоширеніших критеріїв при оптимізації світлофорного регулювання є середня затримка транспорту перед перехрестям [47]. Вона порівняно просто вимірюється, має чіткий фізичний зміст і легко оцінюється в грошовому вираженні. Це дає змогу легко розраховувати економічну доцільність запропонованих заходів. Затримка транспорту є основним показником, що входить у поняття «рівень обслуговування» і використовується при визначенні

потрібної довжини смуги руху перед перехрестям, витрати палива та емісії відпрацьованих газів.

Під затримкою транспорту на регульованому перехресті розуміють затримку, що виникає завдяки зниженню швидкості руху транспортного потоку, зумовленою роботою світлофорного регулювання. Тому, транспортна затримка характеризується різницею між фактичною часом проїзду транспортним потоком перехрестя та часом проїзду перехрестя у вільних умовах без дії світлофорного регулювання (рис. 2.3) [46, 47].

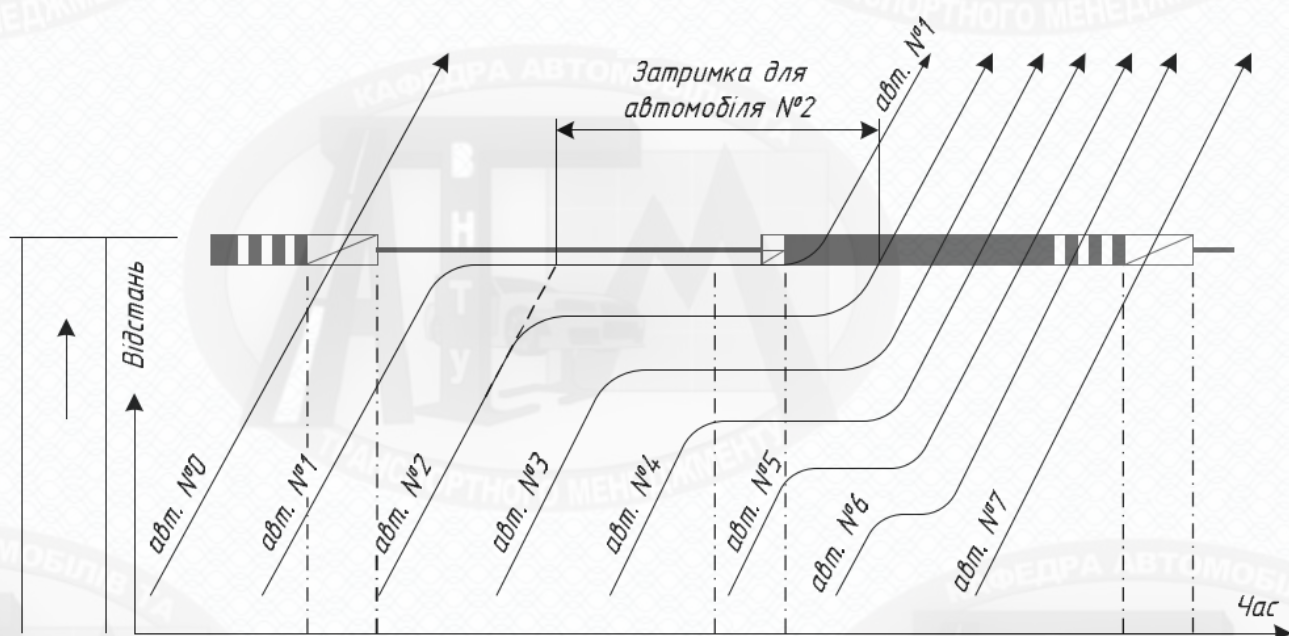


Рисунок 2.3 – Ілюстрація транспортної затримки на регульованому перехресті [49]

Спрощено визначити середню затримку одного автомобіля перед перехрестям можна використовуючи формулу, що побудована на припущенні рівності середньої тривалості затримки половині періоду, під час якого заборонено рух [27-29], тобто:

$$d = \frac{T_u - t_3}{2}. \quad (2.7)$$

де T_u – тривалість світлофорного циклу, с;

t_3 – тривалість дозвільного сигналу світлофора, с.

Таким чином, формула (2.7) вказує на те, що затримка автомобіля, який прибув до перехрестя на початку дії заборонного сигналу – рівна тривалості цього сигналу, а якщо в кінці – рівна нулю. Дану формулу можна використовувати при рівномірних прибуттях автомобілів до перехрестя. Це реалізується лише при щільних транспортних потоках [27].

Відомо, що прибуття ТЗ до перехресть є випадковим процесом. Залежність, яка враховує випадкову природу транспортного потоку, запропонував англійський вчений Вебстер [29, 31, 35, 40, 44-49]:

$$d = \frac{T_u(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1-x)} - 0,65 \cdot x^{2+5\lambda} \cdot \sqrt[3]{\frac{T_u}{N^2}}. \quad (2.8)$$

де λ – відношення тривалості дозвільного сигналу до тривалості циклу;

x – ступінь насичення напрямку руху;

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

Перша складова формули показує транспортну затримку у випадку регулярного прибуття транспортних засобів до перехрестя, а друга складова вказує на випадковість цього процесу з урахуванням пуассонівського закону прибуття, третя – є емпіричною поправкою, яка підвищує точність розрахунку і становить близько 10 % від значень, отриманих за формулою (2.8). На практиці застосовують спрощений варіант цієї залежності, однак при використанні комп'ютерної техніки беруть формулу (2.8), оскільки можна отримати точніший розв'язок [47].

За допомогою формули Вебстера можна отримати також значення циклу регулювання, що мінімізує сумарну транспортну затримку. Одним із результатів

виявилась залежність середньої затримки d умовного автомобіля для ряду типових перехресть від тривалості світлофорного циклу (рис. 2.4).

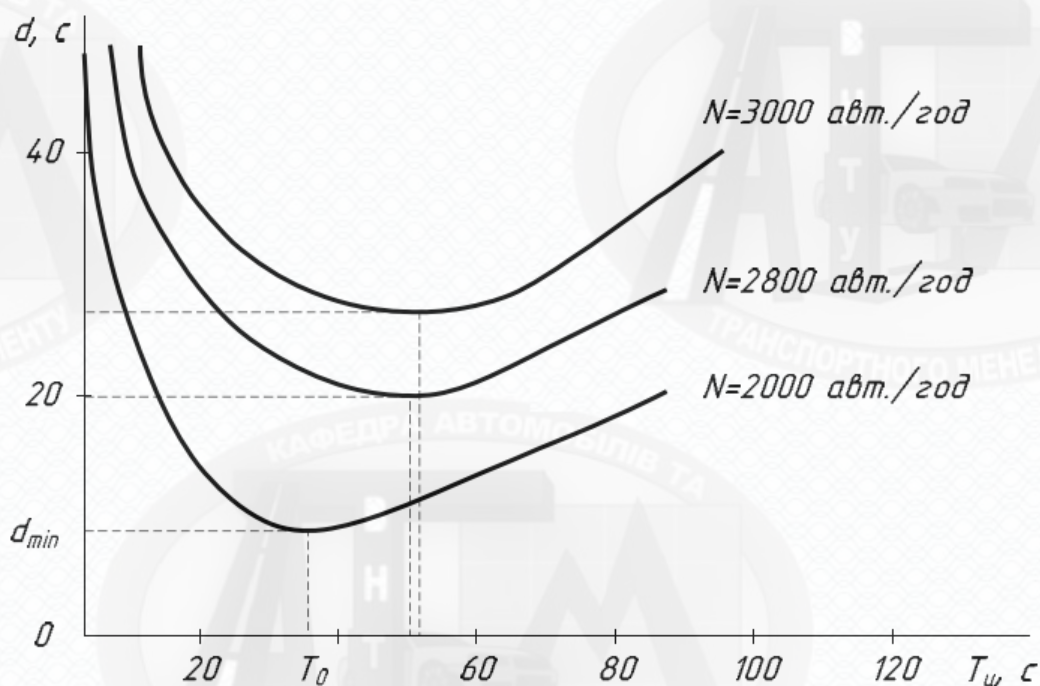


Рисунок 2.4 – Залежність середньої затримки транспортних засобів від тривалості світлофорного циклу [49]

Отже, можна зробити такі висновки [47]:

– затримка має мінімальне значення в точці T_0 , що відповідає оптимальному циклу світлофорного регулювання для відповідних інтенсивностей транспортного потоку;

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

Результати експериментальних та теоретичних досліджень затримок і швидкостей руху транспортних засобів, що їх виконала Г. Ю. Васильєва, на магістральній ВДМ міста Києва та інших міст, надали можливість отримати

взаємозв'язок між середньою затримкою ТЗ та тривалістю світлофорного циклу [47]:

$$d = 0,38T_u - 9,94. \quad (2.9)$$

До основного недоліку методики Вебстера відносять неможливість її застосування для щільних транспортних потоків, коли ступінь насичення напрямку руху $x \geq 1$, оскільки тоді вона дає нескінченні значення затримки. Ступінь насичення напрямку руху є відношенням середньої кількості ТЗ, що прибули до перехрестя за цикл, до максимальної кількості ТЗ, що проїхали перехрестя за час тривалості зеленого сигналу світлофора, і визначається за залежністю

$$x = \frac{NT_u}{St_3}. \quad (2.10)$$

де S – потік насичення, од/с.

На сьогодні не встановлено, за яких значень показників, що входять у це співвідношення, формула (2.8) припиняє давати адекватні результати. Так, у роботі [6] сказано, що вона ефективно працює, якщо $x \leq 0,8$, інші науковці зазначають, що для забезпечення певного резерву пропускну здатності потрібно, щоб $x = 0,85 \dots 0,9$ (не більше). Деякі вчені вказують на значення $x \leq 0,93$, після якого спостерігатимуться перенасичені цикли і почне утворюватися затор. Хоча, ті ж самі науковці, в іншій роботі [46] вказують на максимальне значення $x \leq 0,95$, а в роботах [48, 49], де табульовано значення деяких величин формули (2.10), наводять максимальне значення, $x = 0,98$.

2.3 Дослідження роботи регульованих перехресть із використанням математичного та імітаційного моделювання

При оцінюванні ефективності обраного режиму регулювання та алгоритму управління дорожнім рухом необхідно дослідити роботу перехрестя при умовах, коли дорожні контролери застосовують різні алгоритми та стратегії управління. Такий підхід повною мірою використати на практиці неможливо, оскільки складно знайти в межах певного елемента ВДМ відповідні до кожного експерименту транспортний потік, а також це недопустимо, оскільки експериментування на реальному елементі ВДМ може спричинити виникнення заторів або ДТП. Тому, потрібно створити модель транспортної системи, яка б достовірно відтворювала поведінку транспортного потоку та можливість прогнозувати його поведінку за різних стратегій управління.

У математичних моделях транспортних потоків застосовують різні підходи, що відрізняються математичним апаратом, в залежності від деталізації опису процесу руху. Саме тому і немає єдиної загальноприйнятої класифікації транспортних моделей [47]. Вчені використовують власний поділ, який для конкретних задач є найприйнятнішим.

Історично в моделюванні транспортних потоків склалися два основні підходи: детермінований та ймовірнісний (стохастичний). У детермінованих моделях розглядають функціональні залежності між певними показниками транспортного потоку, а в стохастичних враховують його випадковість.

При розгляді моделювання з боку конкретизації опису взаємодії ТЗ у транспортному потоці, виокремлюють три класи моделей. У макроскопічних моделях описується рух ТЗ за аналогією з рухом рідини, завдяки чому, їх інколи називають гідродинамічними моделями. До переваг таких моделей відносять можливість подати системою диференціальних рівнянь. Макроскопічні моделі описують взаємозв'язок між інтенсивністю, щільністю та швидкістю, у мікроскопічних – поведінку та взаємодію між ТЗ у транспортному потоці [47]. Мікроскопічні моделі дають змогу отримати реальну поведінку ТЗ у

транспортному потоці, однак для їх створення та проведення імітації необхідна потужна комп'ютерна техніка. Мезоскопічні або кінетичні моделі є проміжним рівнем між макроскопічними та мікроскопічними моделями. Вони описують окремі ТЗ, проте без взаємодії між ними. Їх використовують тоді, коли необхідно відтворити мікромоделювання, але воно неможливо для великих розмірів транспортної мережі [8].

Отже, найбільш поширеними критеріями роботи перехрестя є:

- середня довжина черги перед ввімкненням зеленого сигналу;
- ймовірність, що довжина черги перед ввімкненням дозвільного сигналу буде більшою від заданого значення.

- ймовірність, що на перехресті немає ТЗ на початок заборонного сигналу;

Роботу подібної системи досліджували з урахуванням залежності показників її функціонування від інтенсивності надходження автомобілів до перехрестя та інтенсивності його проїзду.

Дослідження стаціонарного режиму роботи перехрестя здійснюють з метою визначення оптимальних меж його функціонування. При цьому застосовують матричне обчислення вектор-функцій, а сумарну середню кількість ТЗ, що очікують проїзду перехрестя, приймають за критерій оптимальності.

Також розглядають ситуацію, при якій, у момент ввімкнення зеленого сигналу тривалість проїзду перехрестя не є постійною величиною та зменшується зі збільшенням тривалості від моменту вмикання цього сигналу (у зв'язку зі зростанням швидкості транспортних засобів, що під'їжджають до стоп-лінії).

Залежність середньої тривалості проїзду перехрестя від тривалості зеленого сигналу апроксимується функцією $\theta(t) = a + be^{-kt}$. На підставі цього знайдено оптимальні тривалості світлофорного циклу, залежно від інтенсивності надходження транспортних засобів до перехрестя: інтенсивність вхідних потоків (авт./с), λ – 0,2; 0,25; 0,3; 0,35. Для них оптимальна тривалість циклу (с), відповідно – 46; 68; 86; 104 [47].

Незважаючи на значення конкретних «оптимальних» результатів, які отримані при використанні математичного апарату теорії системи масового

обслуговування, авторами не було розглянуто стартові затримки для різних видів транспортних засобів (автобуси, вантажні, легкові), а також варіацій швидкостей проїзду ними перехрестя, оскільки вони володіють різними динамічними характеристиками, та вплив різних типів і технічних станів дорожніх покриттів. Не розглядалось також тривалість простою в черзі перед перехрестям. Все перелічене безумовно має вплив на результати оптимізації проїзду транспортного потоку регульованого перехрестя та тривалість світлофорного циклу.

Серед інших публікацій можна виділити [2], в якій описано моделювання проїзду регульованого перехрестя та визначається вплив черги перед світлофором на пропускну здатність перехрестя та на тривалість його проїзду, в залежності від довжини черги транспортних засобів, що можуть проїхати під час дозвільного сигналу світлофора. В ній приймається до уваги вплив динамічних характеристик транспортних засобів та типи і якості дорожніх покриттів. Вплив динамічних характеристик на інтенсивність проїзду оцінюють за величиною середнього прискорення. Потім визначають час, який необхідний для проїзду регульованого перехрестя з урахуванням розміщення транспортного засобу перед стоп-лінією [6]:

$$t_{np} = \sqrt{\frac{(l_m + \Delta l_{cm}) n_{ij \max}}{j_{cp}}}. \quad (2.11)$$

де l_m – довжина перехрестя, м;

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

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

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

Незважаючи на переваги математичного моделювання, у роботі [6] стверджується, що математичні залежності базуються на спрощених підходах, що може вказувати на неточність результатів досліджень. Найточніші результати

надають розрахунки, за яких моделюється рух кожного транспортного засобу. В іншій роботі [42] наголошується, що підвищення якості програмного забезпечення для автоматизованої системи управління дорожнім рухом через налаштування керуючих параметрів можна досягти імітаційним моделюванням роботи системи управління рухом на магістралях.

У табл. 2.4 наведено порівняння аналітичних методів дослідження, імітаційного моделювання та експерименту. З даної таблиці видно, що моделювання є по суті комбінацією аналітичного дослідження та експерименту, оскільки дає змогу досліджувати більшість складних процесів (непідвладне аналізу) і не має вплив на транспортний потік до прийняття рішення (експеримент чинить певний вплив на транспортний потік).

Імітаційне моделювання надає можливість завчасно визначати вплив заходів з управління та регулювання руху на існуючій ВДМ без створення перешкод водіям, внесення змін у параметри дороги чи дорожньої споруди, змін інтенсивності руху, а також передбачати місця можливих перевантажень.

Таблиця 2.4 – Порівняння методів дослідження умов руху транспортних потоків

Критерій	Аналітичні методи	Імітаційне моделювання	Натурний експеримент
Вартість	найменша	середня	найбільша
Тривалість	найменша	середня	найбільша
Можливість повторення	найбільша	середня	найменша
Реальність	найменша	середня	найбільша
Узагальненість результатів	найбільша	середня	найменша

Для першого наближення слід використовувати математичні залежності, а для уточнення параметрів та характеристик – нематематичні методи, а саме імітаційне моделювання.

Узагальнимо перелік задач, які можна розв'язати за допомогою імітаційного моделювання:

- задачі, пов'язані з функціонуванням вулично-дорожньої мережі загалом;
- локальні задачі (функціонування окремих елементів ВДМ);
- задачі аналізу роботи певного виду транспорту.

Імітаційне моделювання дорожнього руху дає змогу:

- оптимізувати роботу світлофорного регулювання.
- вибирати оптимальну схему організації дорожнього руху на перехресті;
- аналізувати наявні транспортні потоки;
- аналізувати і прогнозувати транспортні затори;
- моделювати прогнозовані транспортні потоки;
- аналізувати і планувати інфраструктуру громадського транспорту;

Найважливішою задачею під час моделювання руху транспортних потоків на ПК є створення моделі. Важливо пам'ятати, що ПК реалізує обрані дослідником моделі, а програмне забезпечення є засобом спілкування між дослідником та ПК. Ні модель, ні програма не є кінцевою метою, а лише є засобом розв'язування складної задачі, пов'язаної з функціонуванням наявної транспортної системи або проектуванням майбутньої.

Висновки до розділу 2

На регульованих перехрестях найчастіше застосовують однопрограмне жорстке управління рухом. Розрахунок тривалості світлофорного циклу та його елементів ґрунтується на опосередкованих значеннях інтенсивності транспортного потоку в попередні періоди.

З метою оцінювання ефективності впровадження змін на регульованих перехрестях використовують різні критерії якості управління дорожнім. При значній інтенсивності дорожнього руху, критеріями можуть бути: тривалість поїздки, транспортні затримки та пропускна здатність перехрестя.

Створення імітаційної моделі дорожнього руху на досліджуваному перехресті дасть змогу: візуалізувати оптимальну схему організації дорожнього руху на перехресті, оптимізувати роботу світлофорного регулювання, аналізувати параметри транспортного потоку.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ 600-РІЧЧЯ-КЕЛЕЦЬКА

3.1 Розрахунок існуючої пропускної здатності перехрестя

Пропускна здатність проїжджої частини вулиці в перетині стоп-лінії визначається пропускною здатністю однієї смуги, а також кількістю смуг руху, організацією руху та режимом регулювання [35, 36, 40].

Пропускною здатністю смуг вулиць і доріг, при регульованому русі, називається, залежна від умов та організації дорожнього руху, максимальна кількість транспортних засобів, які проходять по даній смузі (через стоп-лінію) протягом 1 год. в одному напрямку, за дотримання умов безпеки руху. Умови організації дорожнього руху виражаються часткою часу від тривалості циклу. Ця частка часу, яка виділяється для руху автомобілів в кожному напрямку, визначає пропускну здатність.

При розрахунку пропускної здатності прийнято у даній роботі два допущення:

- 1) автомобілі, що проходять через перехрестя, можуть затримуватись перед світлофором;
- 2) всі автомобілі після включення дозвільного сигналу проходять через перетин перехрестя з однаковою швидкістю і рівними інтервалами часу.

Виходячи з цього, для розрахунку пропускної здатності однієї смуги використовують формулу [29]

$$P_c = \frac{3600 \cdot (t_z - t_a)}{T_u t_c} \quad (3.1)$$

де T_u – час циклу світлофорного регулювання;

t_z – тривалість дозвільного сигналу світлофора, с.;

t_a – час між включенням зеленого сигналу світлофора і перетинанням стоп-лінії першим автомобілем, с.;

t_c – інтервал часу між автомобілями при проходженні стоп-лінії, с.

За результатами спостережень t_a складає 1 с. Величина t_c за спостереженнями складає для легкового транспорту 1 с., для вантажного – 2 с., для змішаного потоку приймаємо $t_c = 1,5$ с.

Розрахунок пропускної здатності транспортних потоків на досліджуваному перехресті проводимо у перетинах I-IV (див. рис. 3.1).

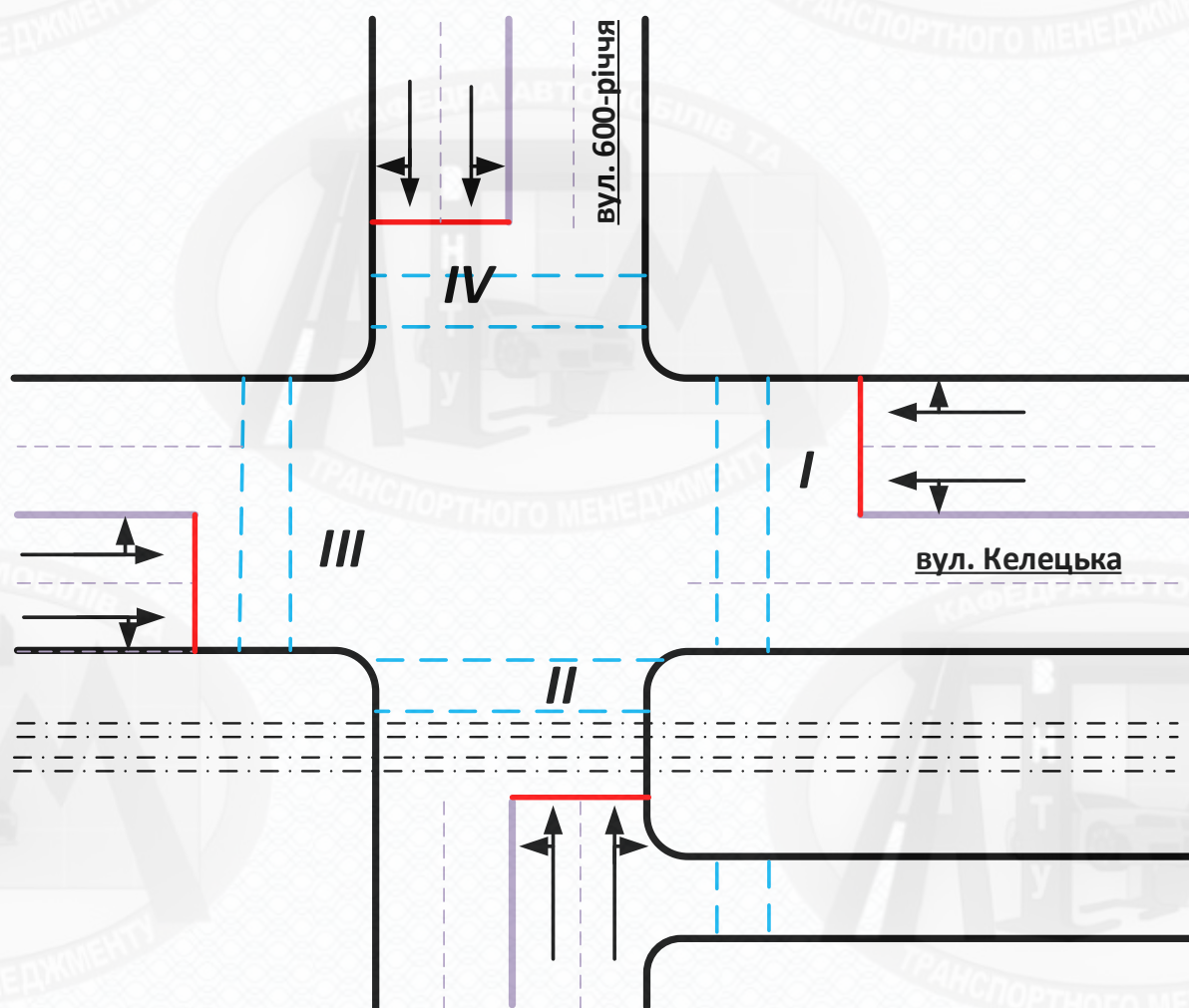


Рисунок 3.1 – Схема існуючого розподілу потоків різних напрямків по смугах

Враховуючи особливості організації і регулювання руху на перехресті 600-річчя-Келецька та, враховуючи схему, подану на рисунку 3.1, можна навести наступний аналіз організації регулювання дорожнього руху на досліджуваному перехресті.

Перетин I .

У перетині стоп-лінії дві смуги руху. Прямі потоки займають обидві смуги, праві повороти здійснюються з правої смуги, ліві – з лівої, створюючи при цьому перешкоди для наступного за ними прямого потоку. Рух транспорту в даному перетині у всіх напрямках здійснюється під час дозвільного сигналу, тривалістю $t_3 = 27$ с. Отже, пропускну здатність магістралі (двох смуг руху) в перетині стоп-лінії I визначимо за формулою:

$$P_{II} = \eta \cdot P_c, \quad (3.2)$$

де η – коефіцієнт, що знижує пропускну здатність за рахунок перешкод від лівоповоротного руху залежно від частки лівого повороту α , $\eta = f(\alpha)$.

Рекомендується приймати значення η за таблицею 3.1.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані значення для коефіцієнта η [29, 35]

Параметр	Значення				
η	2,0	1,65	1,60	1,55	1,50
α , %	0	10	20	30	40

Враховуючи дані картки обліку інтенсивності руху транспортного потоку (табл. 1.2) та відомості табл. 3.1, знаходимо частку лівоповоротного руху для перетину I – $\alpha = 25,7\%$. Отже, приймаємо, що параметр $\eta = 1,55$.

За формулами 3.1 та 3.2 визначаємо пропускну здатність магістралі в перетині стоп-лінії I , авт/год:

$$P_{II} = \frac{1,55 \cdot 3600(27-1)}{78 \cdot 1,5} = 1240.$$

Перетин II.

У перетині стоп-лінії дві смуги руху. Прямі потоки займають обидві смуги, праві повороти здійснюються з правої смуги, ліві – з лівої, створюючи при цьому перешкоди для наступного за ними прямого потоку. Рух транспорту в даному перетині у всіх напрямках здійснюється під час дозвільного сигналу, тривалістю $t_3 = 22$ с.

Враховуючи дані картки обліку інтенсивності руху транспортного потоку (табл. 1.2) та відомості табл. 3.1, знаходимо частку лівоповоротного руху для перетину II – $\alpha = 30,3\%$. Отже, приймаємо, що параметр $\eta = 1,55$.

За формулами 3.1 та 3.2 визначаємо пропускну здатність магістралі в перетині стоп-лінії II, авт/год:

$$P_{III} = \frac{1,55 \cdot 3600(22-1)}{78 \cdot 1,5} = 1001.$$

Перетин III.

У перетині стоп-лінії дві смуги руху. Прямі потоки займають обидві смуги, праві повороти здійснюються з правої смуги, ліві – з лівої, створюючи при цьому перешкоди для наступного за ними прямого потоку. Рух транспорту в даному перетині у всіх напрямках здійснюється під час дозвільного сигналу, тривалістю $t_3 = 27$ с.

Враховуючи дані картки обліку інтенсивності руху транспортного потоку (табл. 1.2) та відомості табл. 3.1, знаходимо частку лівоповоротного руху для перетину III – $\alpha = 13,4\%$. Отже, приймаємо, що параметр $\eta = 1,65$.

За формулами 3.1 та 3.2 визначаємо пропускну здатність магістралі в перетині стоп-лінії III, авт/год:

$$P_{III} = \frac{1,65 \cdot 3600(27-1)}{78 \cdot 1,5} = 1320.$$

Перетин *IV*.

У перетині стоп-лінії дві смуги руху. Прямі потоки займають обидві смуги, праві повороти здійснюються з правої смуги, ліві – з лівої, створюючи при цьому перешкоди для наступного за ними прямого потоку. Рух транспорту в даному перетині у всіх напрямках здійснюється під час дозвільного сигналу, тривалістю $t_3 = 22$ с.

Враховуючи дані картки обліку інтенсивності руху транспортного потоку (табл. 1.2) та відомості табл. 3.1, знаходимо частку лівоповоротного руху для перетину *IV* – $\alpha = 24,1\%$. Отже, приймаємо, що параметр $\eta = 1,6$.

За формулами 3.1 та 3.2 визначаємо пропускну здатність магістралі в перетині стоп-лінії *IV*, авт/год:

$$P_{IV} = \frac{1,6 \cdot 3600(22-1)}{78 \cdot 1,5} = 1033.$$

Отже, розраховано наступні значення пропускну здатності перехрестя 600-річчя-Келецька для перетинів *I-IV* у приведених авт./год:

- перетин *I* – $P_{II} = 1240$ (вул. Келецька, рух від центру міста);
- перетин *II* – $P_{III} = 1001$ (вул. 600-річчя, рух від вул. А. Первозванного);
- перетин *III* – $P_{III} = 1320$ (вул. Келецька, рух до центру міста);
- перетин *IV* – $P_{IV} = 1033$ (вул. 600-річчя, рух від вул. В. Порика).

Розраховані значення пропускну здатності за перетинами порівнюємо з дослідженими значеннями інтенсивностей руху транспортних потоків, користуючись таблицею 1.2 та отримуємо рівні їх завантаження. Результат зведемо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Рівні завантаження перетинів

Показник	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
<i>P</i> , прив. авт./год	1240	1001	1320	1033
<i>N</i> , прив. авт./год	1128	976	1367	1041
<i>N/P</i> , %	91,0	97,5	103,6	100,8

Рівень завантаження не повинен перевищувати: при 3-тактному світлофорному регулюванні – 0,85. Порухення цієї умови свідчить про вичерпання пропускної здатності магістралі в перетині стоп-лінії або у вузлі в цілому [29].

Пропускна здатність перехрестя, авт/год

$$P_{II} = P_I + P_{II} + P_{III} + P_{IV} = 1240 + 1001 + 1320 + 1033 = 4594.$$

З таблиці 3.2 видно, що на перехресті транспортні потоки повністю використовують пропускну здатність перехрестя по перетинам, їх рівні завантаження перевищують допустимі, що пояснює утворення черг на всіх перетинах у години «пік».

3.2 Визначення потоків насичення

Існує багато різних відомих методик розрахунку потоку насичення. У багатьох країнах науковці розробляють свої підходи до визначення цього показника або займаються вдосконаленням вже наявних методик. Найточніше потік насичення можна визначити безпосередньо на об'єкті дослідження, оскільки на нього впливає низка чинників (умови руху, геометрично-планувальні параметри перехрестя, схема пофазного роз'їзду тощо). Усі відомі методики вимірювання потоків насичення вимагають значних затрат часу [35].

Для регульованих перехресть потоки насичення визначають шляхом натурних обстежень за такою формулою [19, 25, 27, 35]:

$$M_{nij} = \frac{3600}{n} \cdot \sum_{z=1}^n \frac{N_z}{t_z}, \quad (3.3)$$

де i – номер фази регулювання;

j – номер напрямку руху;

n – число замірів;

N_z – число приведених транспортних засобів, що пройшли через стоп-лінію за час t_z .

Відлік часу t починають з моменту включення дозвільного сигналу світлофора й закінчують у момент перетинання стоп-лінії останнім автомобілем черги. Виміри повторюють 10 разів. При довжині черги більше 10 автомобілів досить зробити 3-5 вимірів.

Дослідження потоків насичення на перехресті вулиць 600-річчя та Келецька проводилось натурним методом при дослідженні інтенсивностей руху транспортних потоків 3 жовтня 2023 року.

Результати дослідження потоків насичення по кожному напрямку представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Потоки насичення

Напрямок	Показник	Замір					Потік насичення, авт/год
		1	2	3	4	5	
I-II	Кількість ТЗ, авт	5	4	4	3	5	560
	Час, с	27					
I-III	Кількість ТЗ, авт	16	18	18	16	17	2267
	Час, с	27					
I-IV	Кількість ТЗ, авт	4	3	4	4	5	533
	Час, с	27					

Продовження таблиці 3.3

Напрямок	Показник	Замір					Потік насичення, авт/год
II-I	Кількість ТЗ, авт	4	5	5	5	4	753
	Час, с	22					
II-III	Кількість ТЗ, авт	4	5	3	4	4	654
	Час, с	22					
II-IV	Кількість ТЗ, авт	9	10	10	9	10	1571
	Час, с	22					
III-I	Кількість ТЗ, авт	20	21	21	22	20	2773
	Час, с	27					
III-II	Кількість ТЗ, авт	10	9	11	10	11	1360
	Час, с	27					
III-IV	Кількість ТЗ, авт	4	4	4	3	4	507
	Час, с	27					
IV-I	Кількість ТЗ, авт	4	5	6	5	4	785
	Час, с	22					
IV-II	Кількість ТЗ, авт	10	10	11	11	10	1702
	Час, с	22					
IV-III	Кількість ТЗ, авт	6	5	5	6	6	1113
	Час, с	22					

Потік насичення для кожного напрямку розраховано, використовуючи проведені натурні обстеження та формулу (3.3). Для прикладу розрахуємо потік насичення для напрямку I-II, авт/год

$$M_{I-II} = \frac{3600 \cdot (5 + 4 + 4 + 3 + 5)}{5 \cdot 27} = 560.$$

Аналогічно розраховуємо інші значення потоку насичення для кожного напрямку та заповнюємо відповідний стовпець таблиці 3.3.

Отримані значення потоків насичення для напрямків руху на перехресті надає можливість розраховувати параметри світлофорного регулювання та існуючі затримки транспортних засобів на перехресті.

3.3 Розрахунок існуючої транспортної затримки на перехресті

Якість схем організації дорожнього руху на перехресті визначити через середню затримку транспортних засобів на перехресті та через ступінь насичення напрямку руху.

Ступінь насичення напрямку руху x представляє собою відношення середнього числа транспортних засобів, що прибувають в даному напрямку до перехрестя протягом циклу до максимального числа транспортних засобів, що залишили перехрестя в тому ж напрямку протягом дозвільного сигналу [40, 47]:

$$x_{ij} = \frac{N_{ij} \cdot T_{\text{Ц}}}{M_{\text{Нij}} \cdot t_{zj}}, \quad (3.4)$$

де N_{ij} – інтенсивність руху в j -му напрямку i -ї фази регулювання, авт./год;

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

$M_{\text{Нij}}$ – потік насичення в j -му напрямку i -ї фази регулювання, авт./год;

t_{zj} – тривалість основного такту в j -й фазі регулювання, с.

Заторовий стан в напрямку виникає при $x > 1$. Для забезпечення деякого резерву пропускної здатності слід прагнути до значення x , що не перевищує 0,85–0,90. Важливим з точки зору максимального використання пропускної здатності перехрестя є відсутність малонасичених напрямків та їх рівномірне завантаження.

Під транспортною затримкою на регульованому перехресті розуміють затримку, яка виникає в результаті зниження швидкості руху транспортного потоку, зумовленої роботою світлофорної сигналізації. Отже, затримка визначається різницею між фактичною тривалістю проїзду транспортним потоком перехрестя та тривалістю проїзду його ж у вільних умовах без дії світлофорного регулювання [35].

Затримки транспортних засобів на регульованому перехресті для різних напрямків обчислюють за спрощеною формулою Вебстера [47]:

$$d_j = 0,9 \cdot \left(\frac{T_y (1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x_i)} + \frac{x_i^2}{2N_i(1 - x_i)} \right). \quad (3.5)$$

де λ – відношення тривалості горіння зеленого сигналу до тривалості циклу;

x_i – ступінь насичення i -го напрямку руху;

N_i – інтенсивність руху ТЗ у досліджуваному напрямку, од./с;

0,9 – коефіцієнт, що враховує точність початкової формули.

При великих інтенсивностях руху транспортних потоків, особливо в «час-пік», перед регульованими перехрестями з магістральними вулицями починають утворюватися черги транспортних засобів. Настає момент, коли протягом достатньо тривалого часу виникають перенасичені світлофорні цикли ($x_i > 1$). У цьому разі пропонується питому транспортну затримку розраховувати за формулою Брілона і Ву [47]:

$$d_j = \frac{T_y (1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x_i)} + \frac{N_{0i}}{M_{Hj} \cdot \lambda}. \quad (3.6)$$

де N_{0i} – середня довжина черги на i -му напрямку перед перехрестям у «час-пік», авт.;

M_{Hj} – потік насичення в j -му напрямку, авт./с;

Знайдемо ступінь насичення напрямку руху x , для прикладу, у напрямку $I-II$, використовуючи дані таблиць 1.2 і 3.3 та формулу (3.4):

$$x_{I-II} = \frac{291 \cdot 78}{560 \cdot 27} = 1,5.$$

Розраховане значення ступеню насичення напрямку руху x_{I-II} підтверджує наявність заторового стану в напрямку $I-II$ під час годин «пік».

Визначимо, для прикладу, питому затримку транспортних засобів на перехресті для напрямку $I-II$ за формулою (3.5), с:

$$d_{I-II} = \frac{78 \left(1 - \frac{27}{78}\right)^2}{2 \left(1 - \frac{27}{78} \cdot 1,5\right)} + \frac{14}{0,156 \cdot \frac{27}{78}} = 293,9.$$

Отже, різниця між фактичною тривалістю проїзду транспортним потоком напрямку $I-II$ та тривалістю проїзду його ж у вільних умовах без дії світлофорного регулювання становить 293,9 с.

Всі розраховані значення ступеня насичення рухом та питомої транспортної затримки для напрямків на досліджуваному перехресті занесено до таблиці 3.4.

Аналізуючи таблицю 3.4, можемо зробити висновок, що найбільш насичені напрямки руху на досліджуваному перехресті – $I-II$ (виїзд з вулиці Келецької від центру міста на вулицю 600-річчя); та $II-III$ (виїзд з вулиці 600-річчя від вулиці А. Первозванного на вулицю Келецьку в напрямку від центра міста).

Таблиця 3.4 – Розраховані значення ступеня насичення рухом та питомої транспортної затримки для перехрестя вулиць 600-річчя-Келецька

Напрямок	Середня довжина черги N_{0i} , авт	Інтенсивність руху N_i , авт/с	Потік насичення M_{Hj} , авт/с	Ступінь насичення напрямку руху x_i	Питома затримка d_j , с
I-II	14	0,081	0,156	1,500	293,9
I-III	26	0,197	0,63	0,903	143,5
I-IV	10	0,036	0,148	0,703	217,2
II-I	12	0,044	0,209	0,608	227,8
II-III	16	0,082	0,182	1,302	343,5
II-IV	22	0,144	0,436	0,954	206,4
III-I	37	0,236	0,77	0,885	162,9
III-II	11	0,093	0,378	0,711	106,2
III-IV	9	0,051	0,141	1,045	210,5
IV-I	21	0,070	0,218	0,928	368,8
IV-II	18	0,166	0,473	1,014	163,1
IV-III	8	0,053	0,309	0,496	115,2

Найбільші питомі транспортні затримки отримали за напрямками II-III – 343,5 с та IV-I – 368,8 с. Ці напрямки є лівоповоротними на виїзд з вулиці 600-річчя. Отже, необхідно вдосконалювати регулювання дорожнього руху на досліджуваному перехресті з метою зменшення транспортних затримок на вказаних напрямках руху і підвищення пропускної здатності перехрестя в цілому.

3.4 Розподіл транспортного руху по смугам та вибір удосконаленої схеми пофазного роз'їзду

Для збільшення пропускної здатності досліджуваного регульованого перехрестя у перетинах I та III пропонується збільшити кількість смуг на в'їзд до

перехрестя, а саме додати на вказаних перетинах по 1 смузі для повороту ліворуч за напрямками I-II та III-IV відповідно (див. рис. 3.1). З урахуванням вимог ДБН [10], кожна смуга руху повинна бути не менше 3,0 м. В перетині II, у лівій смузі дозволити лише поворот наліво (напрямок II-III), в перетині IV у лівій смузі також дозволити лише поворот наліво (напрямок IV-I). Запропонований варіант удосконаленого розподілу руху по смугам на досліджуваному перехресті показано на рисунку 3.2.

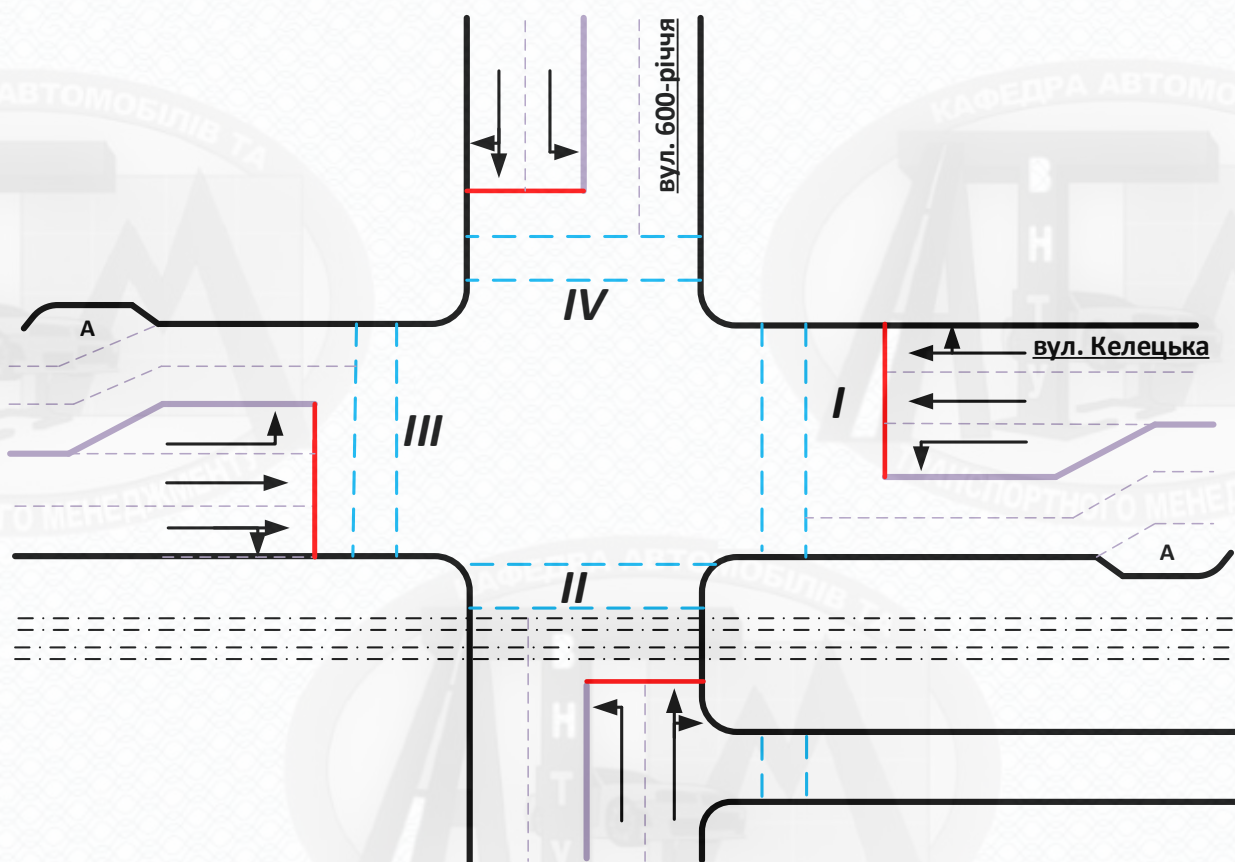


Рисунок 3.2 – Запропонований варіант удосконаленого розподілу руху по смугам на перехресті 600-річчя-Келецька

Вихідними даними для розробки удосконаленої схеми пофазного роз'їзду є характеристики дорожнього руху на перехресті. Спочатку необхідно вибрати кількість фаз регулювання. При цьому слід завжди прагнути до мінімального

числа фаз для забезпечення високої пропускної здатності перехрестя, якщо це не суперечить вимогам безпеки руху.

Застосування трьох і більш фаз регулювання пов'язано, як правило, із високою інтенсивністю транспортних лівих поворотних потоків або із високою інтенсивністю пішохідного руху. У випадку застосування чотирифазного циклу можливі різні варіанти пофазного роз'їзду [29]. Так, наприклад, третя фаза може обслуговувати два зустрічних лівих поворотних потоків. У іншому варіанті можливо об'єднання в третій фазі лівого поворотного потоку з потоком у прямому попутньому напрямку при його високій інтенсивності. Можливо також виділення окремої пішохідної фази або використання третьої фази для пропускання правих поворотних потоків із метою забезпечення безпеки руху пішоходів. Можуть бути застосовані й інші схеми пофазного роз'їзду.

При розробці схеми пофазного роз'їзду необхідно дотримуватися таких вимог [29]:

1. Припускається сполучати в одній фазі лівий поворотний потік, що конфліктує із зустрічним потоком прямого напрямку, якщо інтенсивність лівого поворотного потоку не більше 120 авт./год.

2. Пішохідний і конфліктуючі з ним поворотні транспортні потоки можуть сполучатися в одній фазі, якщо інтенсивність пішохідного потоку не перевищує 900 чол./год а інтенсивність кожного з поворотних транспортних потоків не перевищує 120 авт./год.

3. Смути руху необхідно закріплювати за визначеними фазами. Не планувати виїзд транспортних засобів, що одержують право руху в різних фазах, з однієї смуги.

4. Прагнути до того, щоб інтенсивність руху, яка у середньому припадає на одну смугу руху, не перевищувала 600...700 авт./год.

З метою вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниці, зважаючи на результати, подані у табл. 3.4, розрахованих величин ступеня насичення напрямку руху та питомої затримки на досліджуваному перехресті, в роботі пропонується:

– виділити три смуги руху по вулиці Келецька в зоні перехрестя в перерізах I і III (ліва смуга – тільки для поворотів наліво, з виділенням окремого часу у фазі, середня – рух прямо, права – рух прямо і направо);

– в перетинах II і IV ліву смугу призначити тільки для поворотів наліво, з виділенням окремого часу у фазі.

З урахуванням вище сказаного, удосконалений пофазовий роз'їзд перехрестя покажемо на рисунках 3.3-3.5.

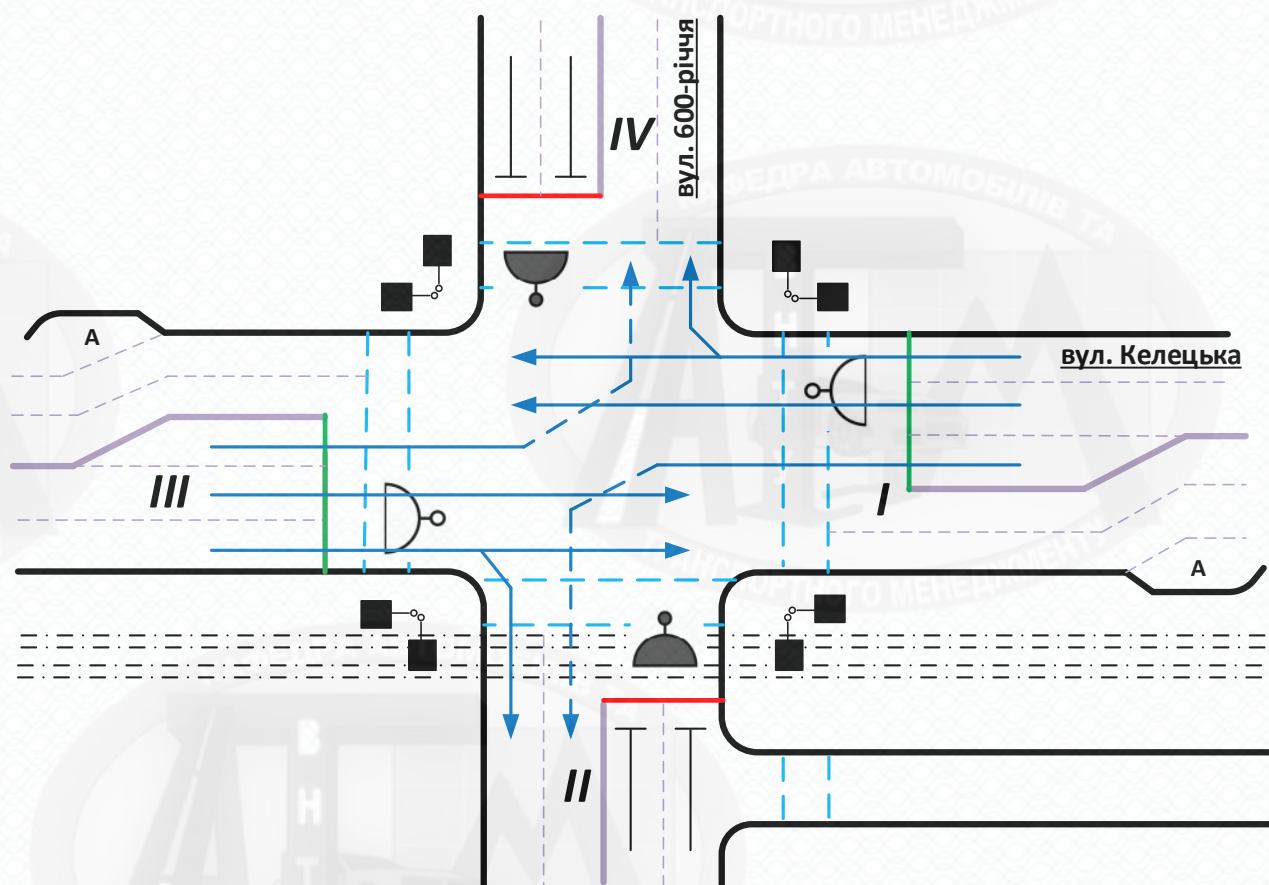


Рисунок 3.3 – Рух транспортних потоків через перехрестя у фазі 1

Кількість фаз світлофорного регулювання не збільшуємо, оскільки їх збільшення призводить до збільшення загальної тривалості світлофорного циклу і зменшення пропускної здатності перехрестя. Регулювання здійснюється без додаткових секцій, всі напрямки руху дозволені на одну загальну фазу.

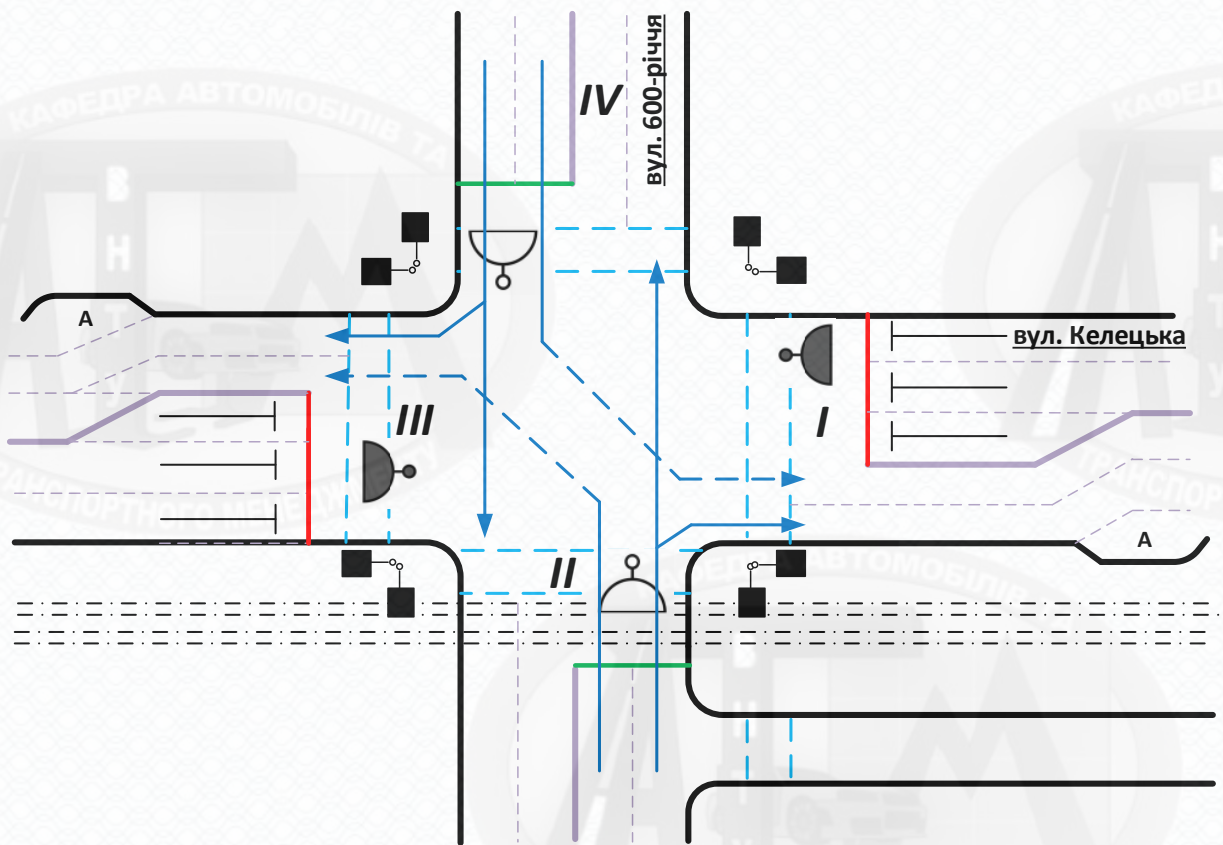


Рисунок 3.4 – Рух транспортних потоків через перехрестя у фазі 2

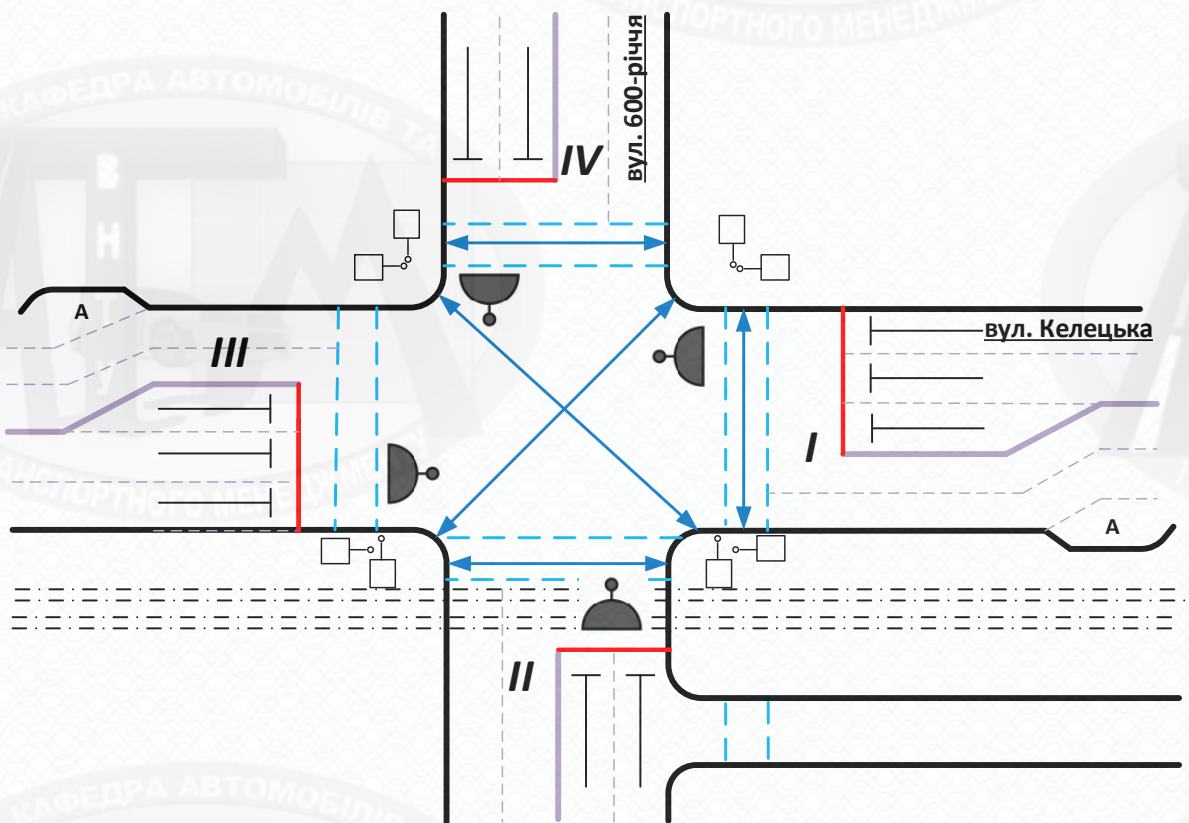


Рисунок 3.5 – Рух пішохідних потоків через перехрестя у фазі 3

Тобто у даній роботі пропонується збільшити до 3 смуг для руху по вулиці Келецькій в обох напрямках зоні дії досліджуваного перехрестя та дозволити тільки лівосторонній рух по лівим смугам по вулиці 600-річчя. Далі слід провести розрахунок оптимальної тривалості світлофорного циклу та дозвільних сигналів у фазах регулювання.

3.5 Розрахунок оптимальної тривалості світлофорного циклу та дозвільних сигналів у фазах регулювання для удосконаленого варіанту пофазного роз'їзду

Цикл світлофорного регулювання складається з фаз регулювання. Фаза регулювання – це тривалість основного та наступного за ним проміжного такту. Такт світлофорного регулювання – це період дії деякої комбінації світлофорних сигналів. Такти регулювання бувають основними та проміжними. Під час дії основного такту рух дозволено. В період дії проміжного такту працює попереджувальний сигнал.

Кількість фаз у світлофорному циклі та розподіл потоків за напрямками показано на рисунках 3.3-3.5.

Для знаходження оптимальної тривалості світлофорного циклу та дозвільних сигналів у фазах регулювання необхідно знати значення двох параметрів: інтенсивності транспортного потоку і потоку насичення в певному напрямку i -ї фази на перехресті.

Для початку необхідно визначити фазові коефіцієнти для 2 фаз, під час яких відбувається рух транспортних потоків, користуючись схемами пофазного роз'їзду досліджуваного перехрестя у кожній фазі запропонованого світлофорного регулювання за формулою [29, 35, 40]:

$$y_{ij} = \frac{N_{ij}}{M_{Hij}}, \quad (3.7)$$

де y_{ij} – фазовий коефіцієнт j -го напрямку руху в i -й фазі регулювання;

N_{ij} – інтенсивність руху в j -му напрямку руху в i -ї фазі регулювання;

M_{Hij} – потік насичення руху в j -му напрямку руху в i -ї фазі регулювання.

Як розрахункові фазові коефіцієнти для кожної фази y_i , приймають найбільші значення y_{ij} в кожній фазі ($y_i = \max\{y_{ij}\}$).

Значення інтенсивностей для напрямків руху вибираємо з таблиці 3.4.

Значення потоків насичення для усіх напрямків розраховуємо за емпіричною формулою [27]:

$$M_{Hij} = 525 \cdot B_{nc} \cdot K_i \cdot K_R \cdot K_C, \quad (3.8)$$

де B_{nc} – ширина проїзної частини у напрямку руху, м;

K_i – коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього ухилу дороги на потік насичення;

K_R – коефіцієнт, що враховує вплив радіусу кривизни траєкторії руху поворотних потоків на потік насичення;

K_C – коефіцієнт, що враховує вплив складу транспортних потоків на потік насичення.

Коефіцієнт K_i визначаємо за формулою:

$$K_i = 1 \pm \frac{3 \cdot i}{100}, \quad (3.9)$$

де i – поздовжній ухил, %.

Оскільки досліджуване перехрестя знаходиться на рівній площині (без ухилів), то приймаємо для розрахунків значення $K_i = 1$.

Коефіцієнт K_R визначаємо за формулою:

$$K_R = \frac{1}{1 + \frac{1,525}{R}}, \quad (3.10)$$

де R – радіус кривизни траєкторії руху поворотних потоків, м.

Якщо з якоїсь смуги транспортні засоби рухаються в різних напрямках, потік насичення зменшується через взаємні перешкоди автомобілів. В цьому випадку K_R не використовується в формулі (3.8). Замість цього використовується коефіцієнт K_C

$$K_C = \frac{100}{a + k_l \cdot b + k_n \cdot c}, \quad (3.11)$$

де a, b, c – частки інтенсивності руху транспортних засобів відповідно прямо, ліворуч і праворуч від загальної інтенсивності руху по смугі, %;

k_l, k_n – коефіцієнти, що враховують затримки при розділенні потоків ліворуч та праворуч відповідно.

Оскільки, потоки по всім напрямкам у всіх фазах розділяються, то коефіцієнт K_R не використовуємо.

Тоді, за формулою (3.11), для прикладу, розрахуємо коефіцієнт K_C для напрямку I-II:

$$K_{C I-II} = \frac{100}{a + 1,75 \cdot b} = \frac{100}{70 + 1,75 \cdot 30} = 0,82.$$

Для напрямку *I-II*, за формулою (3.8) і враховуючи ширину смуги 3 м за ДБН [10], потік насичення становитиме, авт/год

$$M_{H\ I-II} = 525 \cdot 3,0 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1 = 1465.$$

Розрахунок фазового коефіцієнту для фази 1 при виїзді у напрямку *I-II*:

$$y_{I-II} = \frac{N_{I-II}}{M_{H\ I-II}} = \frac{292}{1465} = 0,199.$$

Решту значень потоків насичення та фазових коефіцієнтів для відповідних напрямків розраховуємо аналогічно та заносимо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку фазових коефіцієнтів

Напрямок	Інтенсивність руху N_i , авт/год	Коефіцієнт, K_C / K_R	Потік насичення M_{Hj} , авт/год	Фазовий коефіцієнт
I-II	292	1 / 0,93	1465	0,199
I-III	709	0,93 / 1	3040	0,233
I-IV	130	0,93 / 0,93	1362	0,095
II-I	158	0,93 / 0,93	1362	0,116
II-III	295	1 / 0,93	1465	0,201
II-IV	518	1 / 1	1575	0,329
III-I	850	0,93 / 1	3040	0,280
III-II	335	0,93 / 0,93	1362	0,246
III-IV	184	1 / 0,93	1465	0,126
IV-I	252	1 / 0,93	1465	0,172
IV-II	598	1 / 1	1575	0,380
IV-III	191	0,93 / 0,93	1362	0,140

Отже, за даними таблиці 3.5, для кожної фази запропонованого світлофорного регулювання обираємо фазовий коефіцієнт з умови $y_i = \max\{y_{ij}\}$:

$$y_1 = \max\{y_{1j}\} = 0,28;$$

$$y_2 = \max\{y_{2j}\} = 0,38.$$

Тривалість циклу світлофорного регулювання розраховують за формулою Вебстера [27], с:

$$T_u = \frac{1,5 \cdot \sum_{i=1}^n t_{ni} + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} + T_n, \quad (3.12)$$

де t_{ni} – тривалість перехідного інтервалу в i -й фазі регулювання, с;

y_i – фазовий коефіцієнт i -ї фази регулювання;

T_n – тривалість дозвільної фази для руху пішохідних потоків через перехрестя, с.

Тривалості перехідних інтервалів в усіх фазах регулювання лишаємо незмінними – 6 с, тривалість фази для руху пішохідних потоків через перехрестя – 20 с. Тоді, визначимо тривалість циклу світлофорного регулювання, с:

$$T_u = \frac{1,5(6+6)+5}{1-(0,28+0,38)} + 20 = 88.$$

Тривалість дозвільного сигналу t_s в i -й фазі регулювання пропорційна до розрахункового фазового коефіцієнта цієї фази [27]:

$$t_3 = \frac{\left(T_u - \sum_{i=1}^n t_{ni} - T_n \right) \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n y_i}, \quad (3.13)$$

Тоді, t_3 в i -й фазі регулювання, с:

$$t_{31} = \frac{(88 - 12 - 20) \cdot 0,28}{0,66} \approx 24;$$

$$t_{32} = \frac{(88 - 12 - 20) \cdot 0,38}{0,66} \approx 32;$$

Отже, приймаємо такі параметри світлофорного регулювання на досліджуваному перехресті:

- тривалість циклу $T_u = 88$ с;
- тривалість 1-ї фази – 30 с, з тривалістю основного такту $t_{31} = 24$ с;
- тривалість 2-ї фази – 38 с, з тривалістю основного такту $t_{32} = 32$ с;
- тривалість 3-ї (пішохідної) фази – $T_n = 20$ с.

Побудуємо циклограму світлофорного регулювання перехрестя, з урахуванням проведених розрахунків, на рисунку 3.6.

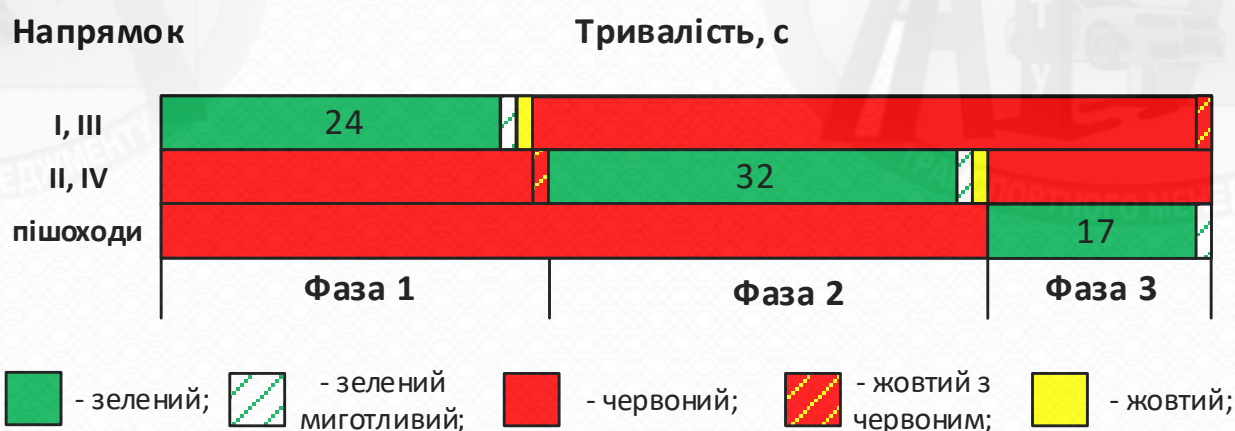


Рисунок 3.6 – Запропонована циклограма світлофорного регулювання перехрестя

Виділення додаткових смуг для лівоповоротного руху у перетинах I та III збільшить пропускну здатність досліджуваного перехрестя. Загальна тривалість розрахованого світлофорного циклу – 88 с.

3.6 Аналіз якості вдосконаленої схеми організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті

Для порівняння з існуючою схемою організації дорожнього руху на перехресті розрахуємо ступінь насичення напрямків руху та транспортні затримки на перехресті з урахуванням запропонованих заходів удосконалення.

Знайдемо, для прикладу, ступінь насичення напрямку руху x_{I-II} , використовуючи формулу (3.4) та значення з таблиці 3.5:

$$x_{I-II} = \frac{292 \cdot 88}{1465 \cdot 24} = 0,731.$$

Визначимо, для прикладу, питому затримку транспортних засобів на перехресті для напрямку I-II, с:

$$d_{I-II} = 0,9 \cdot \left(\frac{88 \left(1 - \frac{24}{88}\right)^2}{2 \left(1 - \frac{24}{88} \cdot 0,731\right)} + \frac{0,731^2}{2 \cdot \frac{292}{3600} (1 - 0,731)} \right) = 39,8.$$

Отже, різниця між фактичною тривалістю проїзду транспортним потоком напрямку I-II досліджуваного перехрестя та тривалістю проїзду його ж у вільних умовах без дії світлофорного регулювання становить 46,5 с.

Аналогічно розраховуємо ступінь насичення та питому затримку транспортних засобів для решти напрямків та заносимо величини до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розраховані значення ступеня насичення рухом та питомої транспортної затримки після запроваджених змін у світлофорному регулюванні

Напря- мок	Інтенсивність руху N_i , авт/год	Потік насичення M_{Hj} , авт/год	Тривалість дозвільного сигналу у фазі, с	Ступінь насичення напрямку руху x_i	Питома затримка d_j , с
I-II	292	1465	24	0,731	39,8
I-III	709	3040	24	0,855	40,3
I-IV	130	1362	24	0,350	31,1
II-I	158	1362	32	0,319	26,7
II-III	295	1465	32	0,554	29,0
II-IV	518	1575	32	0,904	51,8
III-I	850	3040	24	1,025	32,0
III-II	335	1362	24	0,902	68,9
III-IV	184	1465	24	0,461	32,3
IV-I	252	1465	32	0,473	27,9
IV-II	598	1575	32	1,044	28,0
IV-III	191	1362	32	0,386	27,3

На основі порівняння таблиць 3.4 і 3.6, можна дійти до висновку, що після запропонованих змін у регулюванні дорожнього руху на досліджуваному перехресті ступінь насичення руху знизився для більшості напрямів руху, а питома транспортна затримка значно знижується. На рисунку 3.7 показано діаграму значень питомої затримки до вдосконалення та після.



Рисунок 3.7 – Діаграма значень питомої затримки для аналізу запропонованих заходів з удосконалення дорожнього руху

Згідно проведених розрахунків, найбільше питома транспортна затримка зменшилась за напрямками: IV-I (з 368,8 с до 27,9 с) та II-III (з 343,5 с до 29,0 с).

3.7 Розрахунок пропускної здатності перехрестя з урахуванням змін

Розрахунок пропускної здатності транспортних потоків на досліджуваному перехресті проводимо у перетинах I-IV (див. рис. 3.2).

Враховуючи особливості запропонованого пофазового роз'їзду на перехресті 600-річчя-Келецька, поданого на рисунках 3.3-3.4, проведемо розрахунок пропускної здатності його перетинів.

Перетин I та III.

У даних перетинах стоп-лінії мають три смуги руху. Прямі потоки займають середню і праву смуги, праві повороти здійснюються з правої смуги, ліві – з лівої, не створюючи при цьому перешкоди для наступного за ними прямого потоку. Регулювання здійснюється без додаткових секцій, всі напрямки руху дозволені на одну загальну фазу з тривалістю дозвільного сигналу $t_3 = 24$ с. Отже, пропускну

здатність магістралі (трьох смуг руху) в перетині стоп-лінії *I* чи *III* можна визначити за формулою [29]

$$P_{II,III} = \eta_n \cdot P_{II} (n-1), \quad (3.14)$$

де P_{II} – пропускна здатність однієї смуги для руху, за формулою 3.1;

n – кількість смуг руху в перетині стоп-лінії;

η_n – коефіцієнт, що враховує пропускну здатність смуги лівоповоротного руху, приймається $\eta_n = 1,1-1,2$ [29].

Тоді, пропускна здатність перехрестя у перетині *I* та *III*, авт/год:

$$P_{II,III} = \frac{1,2 \cdot 3600(24-1) \cdot 2}{88 \cdot 1,5} = 1505.$$

Перетин *II* та *IV*.

У перетинах стоп-лінії дві смуги руху. Прямі потоки займають праву смугу, праві повороти здійснюються також з правої смуги, ліві – з лівої, не створюючи при цьому перешкоди для наступного за ними прямого потоку. Регулювання здійснюється без додаткових секцій, всі напрямки руху дозволені на одну загальну фазу з тривалістю дозвільного сигналу $t_3 = 32$ с.

За формулами 3.1 та 3.14 визначаємо пропускну здатність магістралі в перетині стоп-лінії *II* та *IV*, авт/год:

$$P_{II,IV} = \frac{1,2 \cdot 3600(32-1)}{88 \cdot 1,5} = 1015.$$

Отже, розраховано наступні значення пропускної здатності перехрестя 600-річчя-Келецька, після запропонованих заходів щодо змін в управлінні дорожнім рухом, для перетинів *I-IV* в приведених авт./год:

- перетин *I* – $P_{II} = 1505$ (вул. Келецька, рух від центру міста);
- перетин *II* – $P_{III} = 1015$ (вул. 600-річчя, рух від вул. А. Первозванного);
- перетин *III* – $P_{III} = 1505$ (вул. Келецька, рух до центру міста);
- перетин *IV* – $P_{IV} = 1015$ (вул. 600-річчя, рух від вул. В. Порика).

Пропускна здатність перехрестя, авт/год

$$P_{II} = P_I + P_{II} + P_{III} + P_{IV} = 1505 + 1015 + 1505 + 1015 = 5040.$$

Враховуючи запропоновані зміни в режимі роботи світлофорного регулювання, отримали покращення пропускної здатності досліджуваного перехрестя на $a = \frac{5040 - 4594}{5040} \cdot 100\% \approx 9\%$.

3.8 Висновки до розділу 3

На досліджуваному перехресті транспортні потоки повністю використовують пропускну здатність перехрестя по перетинам, їх рівні завантаження перевищують допустимі, що пояснює утворення черг на всіх перетинах у години «пік». Існуюча пропускна здатність досліджуваного перехрестя – 4594 авт/год.

Найбільш насичені напрямки руху на досліджуваному перехресті – *I-II* (виїзд з вулиці Келецької від центру міста на вулицю 600-річчя); та *II-III* (виїзд з вулиці 600-річчя від вулиці А. Первозванного на вулицю Келецьку в напрямку від центра міста). Найбільші питомі транспортні затримки отримали за напрямками *II-III* – 343,5 с та *IV-I* – 368,8 с. Ці напрямки є лівоповоротними на виїзд з вулиці 600-річчя.

Для збільшення пропускної здатності досліджуваного регульованого перехрестя у перетинах *I* та *III* пропонується збільшити кількість смуг на в'їзд до перехрестя, а саме додати на вказаних перетинах по 1 смузі для повороту ліворуч за напрямками *I-II* та *III-IV* відповідно. В перетині *II*, у лівій смузі дозволити

лише поворот наліво (напрямок II-III), в перетині IV у лівій смузі також дозволити лише поворот наліво (напрямок IV-I).

Запропоновані заходи з удосконалення організації дорожнього руху надають можливість зменшити питомі транспортні затримки в цілому, наприклад за напрямками *IV-I* (з 368,8 с до 27,9 с) та *II-III* (з 343,5 с до 29,0 с).

Запропоновано такі параметри світлофорного регулювання на досліджуваному перехресті: тривалість циклу – 88 с; тривалість 1-ї фази – 30 с, з дозвільним сигналом – 24 с; тривалість 2-ї фази – 38 с, з дозвільним сигналом – 32 с; тривалість 3-ї (пішохідної) фази – 20 с.

Розрахункова пропускна здатність досліджуваного перехрестя, після впровадження запропонованих рішень збільшується на 9% до 5040 авт/год.

РОЗДІЛ 4. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ З УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

4.1 Вибір програмного забезпечення для побудови імітаційної моделі

З метою оптимізації рішень і мінімізації трудовитрат при розробці заходів з підвищення ефективності дорожнього руху на ВДМ, доцільно застосовувати наявні математичні моделі роботи транспортних систем міст. На сьогоднішній день в світі накопичено позитивний досвід реалізації математичних моделей, що дозволяють оцінити [21]:

- результати підвищення пропускної здатності дорожньої мережі;
- результати вдосконалення організації дорожнього руху, включно із застосуванням автоматизованих систем управління дорожнім рухом;
- регулювання обсягу і структури транспортного попиту.

Незважаючи на велику кількість засобів імітаційного моделювання транспортних потоків, коло програм для використання в некомерційних цілях вельми обмежений. Одним з найбільш популярних програмних рішень для виявлення факторів, що впливають на зародження і формування транспортних проблем і знаходження оптимальних шляхів їх врегулювання, залишається PTV VISSIM [21]. На рисунку 4.1 наведено задачі, що дозволяє вирішувати дане програмне забезпечення. Програма PTV VISSIM представляє собою повнофункціональний комплекс інструментів, призначений для моделювання перехресть, транспортних розв'язок різних рівнів складності з метою аналізу пропускної здатності транспортних мереж міст, оцінювання впливу типу перехресть та організації дорожнього руху на його пропускну здатність тощо.

Завдання, які потрібно виконати за допомогою програми PTV Vissim, становлять загальну методику аналізу. До них належать розглянуті нижче.

1. Моделювання дорожнього полотна із створенням відповідних напрямів руху.

2. Нанесення на дорожнє полотно пішохідних переходів.



Рисунок 4.1 – Задачі, що дозволяє вирішувати PTV VISSIM [21, 22]

3. Розгляд конфліктних зон з розстановкою пріоритету руху згідно з Правилами дорожнього руху.

4. Завдання інтенсивностей та складу транспортних потоків на вхідних ділянках перехрестя.

5. Введення в створювану модель можливих маршрутів ТЗ.

6. Пробна імітація моделі перевірки її адекватності.

7. Формування списку результатів з необхідних аналізу параметрів.

У створювану модель введено такі спрощення:

1. Рух трамваїв через вулицю Зодчих у перетині II не враховуємо, оскільки він не впливає на пропускну здатність досліджуваного перехрестя.

2. Рух інтенсивностей пішохідних потоків через перехрестя не враховуємо.

3. Розклад руху громадського транспорту не враховуємо.

4.2 Моделювання дорожнього полотна

Початковим етапом у створенні імітаційної моделі ділянки ВДМ є побудова дорожнього полотна, яка реалізована з допомогою функції «Відрізки», що

дозволяє задавати напрямок руху ТЗ, довжину дорожнього відрізка та його ширину, кількість смуг руху з візуалізацією дорожнього полотна (залізниця, пішохідна зона, дорога сірого кольору), тип манери поведінки водія (місто, автострада, пішохідна доріжка, велосипедна доріжка), поздовжній ухил дороги, критерії обгону ТЗ по смузі зустрічного руху, зокрема й громадського транспорту. Функція «Відрізки» дозволяє створювати як ділянки доріг прямого напрямку (основні відрізки), так і поворотного (з'єднувальні відрізки), які утворюють повноцінний транспортний вузол. Побудоване дорожнє полотно та пішохідні переходи з відповідною дорожньою розміткою для досліджуваної ділянки ВДМ представлено на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Побудоване дорожнє полотно та пішохідні переходи

За допомогою функції «Відрізки» можна нанести на дорожнє полотно також пішохідні переходи, при цьому вибравши тип полотна «пішохідна зона» для можливості імітації пересування пішоходів на даній ділянці ВДМ. Для візуалізації

пішохідної зони за допомогою функції "Розмітка смуг руху" на проїзну частину наноситься розмітка у вигляді зебри.

4.3 Розгляд конфліктних зон

Проїзд ТЗ на перехресті характеризується неминучим перетином транспортних потоків, що, у свою чергу, викликає їх конфлікти, які утворюють окремі небезпечні зони на проїжджій частині. З метою можливості проїзду ТЗ таких ділянок необхідно встановити правила пріоритету для конфліктуючих напрямів руху, обов'язково керуючись при цьому правилами дорожнього руху (ПДР) України. Програма дозволяє реалізувати цю функцію з за допомогою окремої вкладки «Конфліктні зони». При створенні моделі пріоритети проїзду ТЗ були дозволені відповідно до правил дорожнього руху. Приклад зображення конфліктних зон для транспорту показано на рис. 4.3.

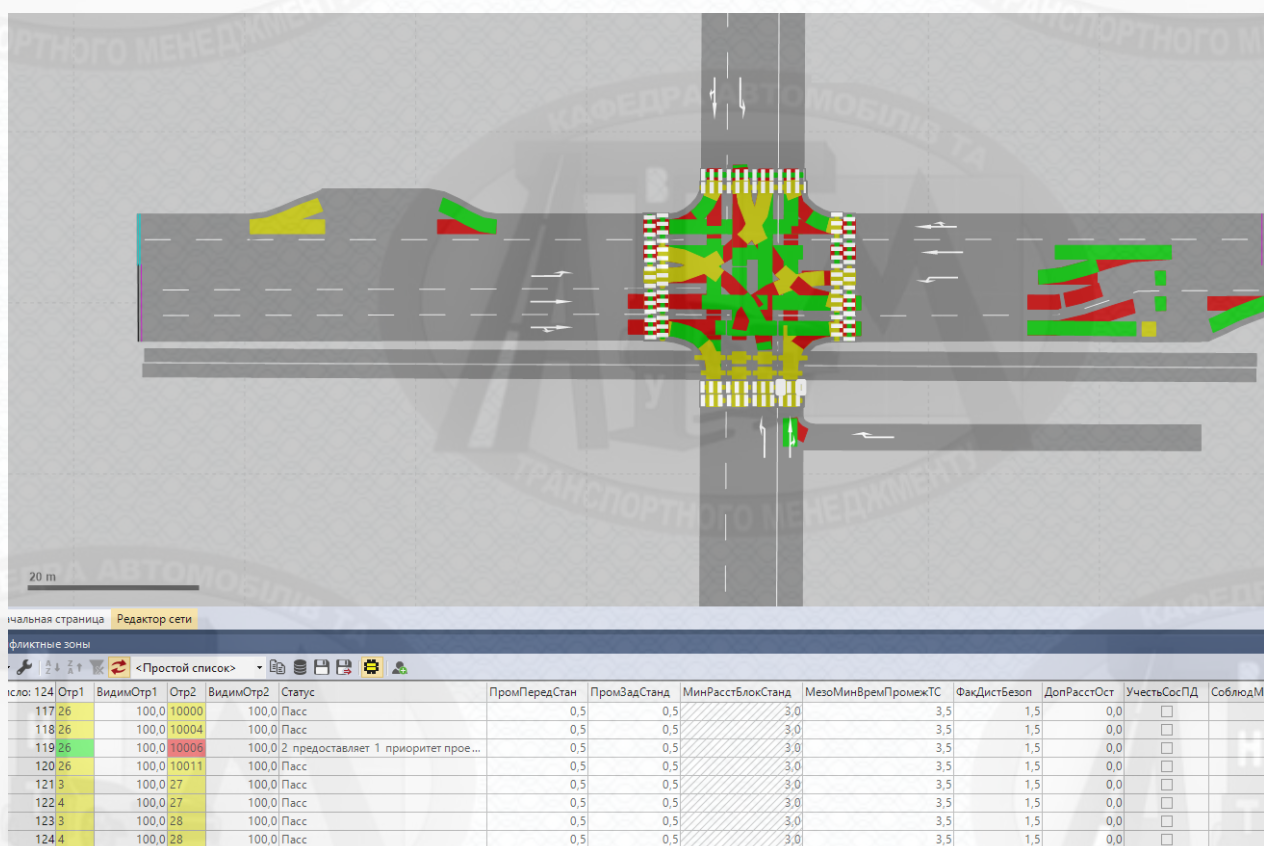


Рисунок 4.3 – Приклад зображення конфліктних зон для транспорту

На перехрестя, що моделюється припадає 124 конфліктні зони для транспорту та пішоходів. Наявність такої великої кількості конфліктів пояснюється складністю проїзду та маневрування ТЗ на даному перехресті, обумовленому різноманітністю учасників дорожнього руху.

4.4 Введення інтенсивності та складу транспортних і пішохідних потоків

Напрямок та склад вхідних потоків ТЗ задається за допомогою функції «Вхідні потоки ТЗ». За замовчуванням їх склад складається з легкових автомобілів, вантажних автомобілів, автобусів, проте додатково передбачено його коригування у відповідності до умов модельованого транспортного вузла, а саме, зміна типу ТЗ та його відсоткового співвідношення у загальному потоці.

Наступним етапом після створення вхідних потоків для різних напрямків є введення транспортних навантажень (інтенсивностей). Приклад введення інтенсивностей та складу транспортних потоків показано на рисунку 4.4.

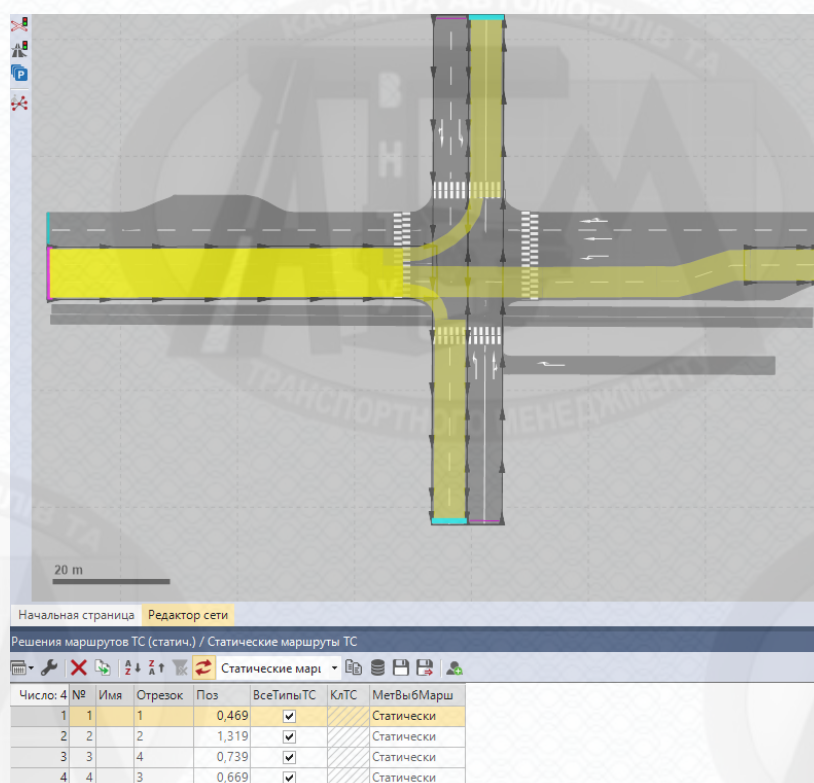


Рисунок 4.4 – Приклад введення інтенсивності та складу транспортного потоку

Для пішохідних потоків використовується функція «Вхідні пішохідні потоки», що також дозволяє моделювати їх інтенсивність та склад. Він може включати жінок, чоловіків, жінок з дітьми, інвалідів або пасажирів, які збиратимуться на зупинках громадського транспорту. Програма дозволяє враховувати, зокрема, манеру ходьби кожного типу пішоходів.

4.5 Введення в створювану модель можливих маршрутів ТЗ та громадського транспорту

Для вхідних потоків необхідно створити маршрути, під якими розуміється фіксована послідовність відрізків, що має початок (червона лінія) та призначення (блакитна лінія). Маршрут, в залежності від розмірів створюваної моделі відповідає тільки руху ТЗ на перехресті, або простягається через всю ВДМ. Напрямок маршруту будь-якого ТЗ може бути прямо, ліворуч, праворуч або являти собою розворот. Програма дозволяє враховувати відсоткові частки кожного з таких маршрутів у загальному транспортному потоці для різних сторін руху. Для ділянки ВДМ, що розглядається, використовувалися всі варіанти, крім розвороту, оскільки в «польових» умовах було встановлено, що розворот ТЗ на даному перехресті практично відсутній, що дозволяє знехтувати ним при створенні моделі (див. рис. 4.5).

Досліджуваний транспортний вузол включає рух громадського транспорту у вигляді маршрутних транспортних засобів і трамваїв. Моделювання маршрутів громадського транспорту виконується з допомогою функції «Маршрути ГТ». При цьому вхідними параметрами даних маршрутів є інтервал руху, швидкість ТЗ та час їх під'їзду до перехрестя.

Маршрути громадського транспорту в моделі перехрестя показані на рис. 4.6. Зупинки громадського транспорту моделюються за допомогою функції "Зупинки ГТ". При цьому існує можливість вказати розмір зупинки, який впливає на ту кількість громадського транспорту, які здатні одночасно здійснювати

посадку та висадку пасажирів, а також задання статусу зупинки для певних маршрутів.

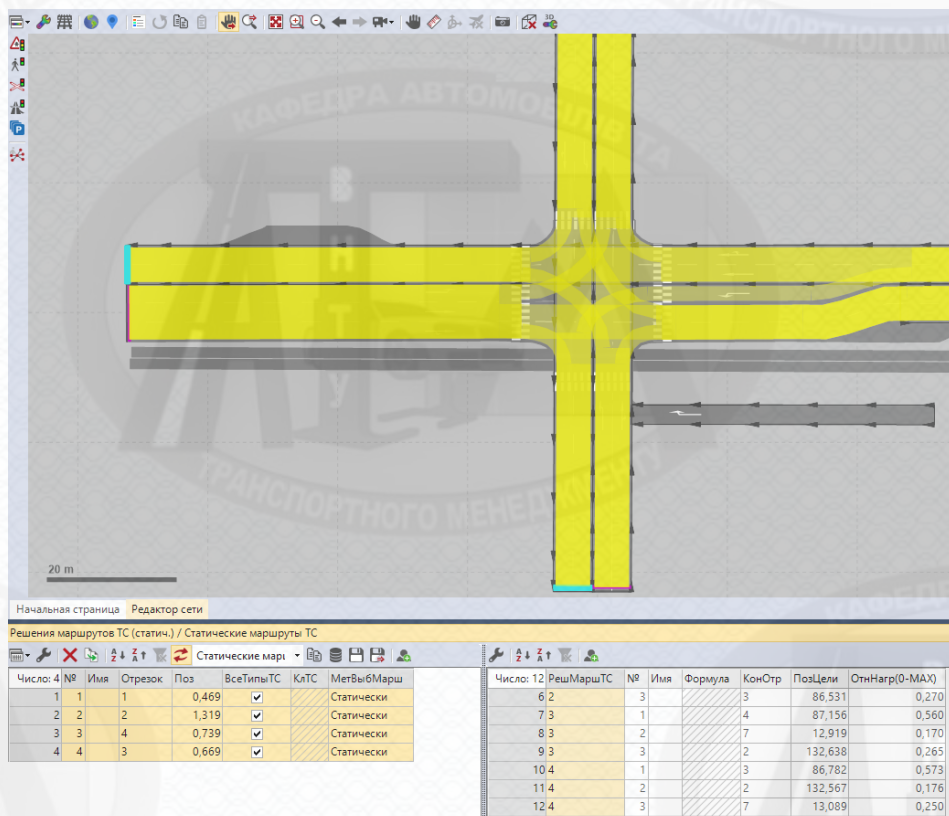


Рисунок 4.5 – Створення маршрутів ТЗ на напрямках

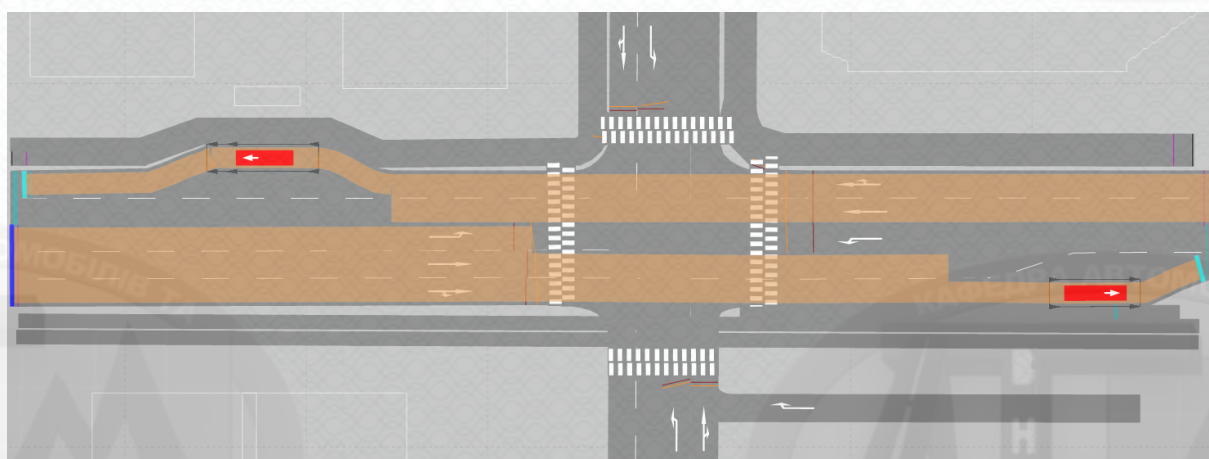


Рисунок 4.6 – Маршрути громадського транспорту

Зупинка характеризується такими статусами: може бути необов'язковою, коли ТЗ можуть зупинятися або не зупинятися на даному об'єкті, активною

(червоний колір), та не активною для засобів громадського транспорту (зелений). Автобусну зупинку можна розташовувати в кишені проїжджої частини або на ділянці крайньої правої смуги.

4.6 Імітація моделі та формування необхідного списку результатів моделювання

Після побудови моделі перехрестя проводиться пробна імітація її функціонування, що полягає у перевірці відповідності руху ТЗ та пішоходів вимогам правил дорожнього руху. Скріншот пробного запуску імітаційної моделі перехрестя вулиць 600-річчя – Келецька показано на рис. 4.7.



Рисунок 4.7 – Пробна імітація організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті

Після того, як пробна імітація показала відповідність розробленої моделі реальним умовам, імітаційна модель вважається готовою для формування списку результатів у вигляді звіту, що дозволяє робити обґрунтовані висновки. Наприклад, при необхідності модернізації транспортного вузла або підвищення

його безпеки; як для пішоходів, так автомобільного транспорту. Збір результатів моделювання проводиться на основі активації датчиків та лічильників (рис. 4.8).

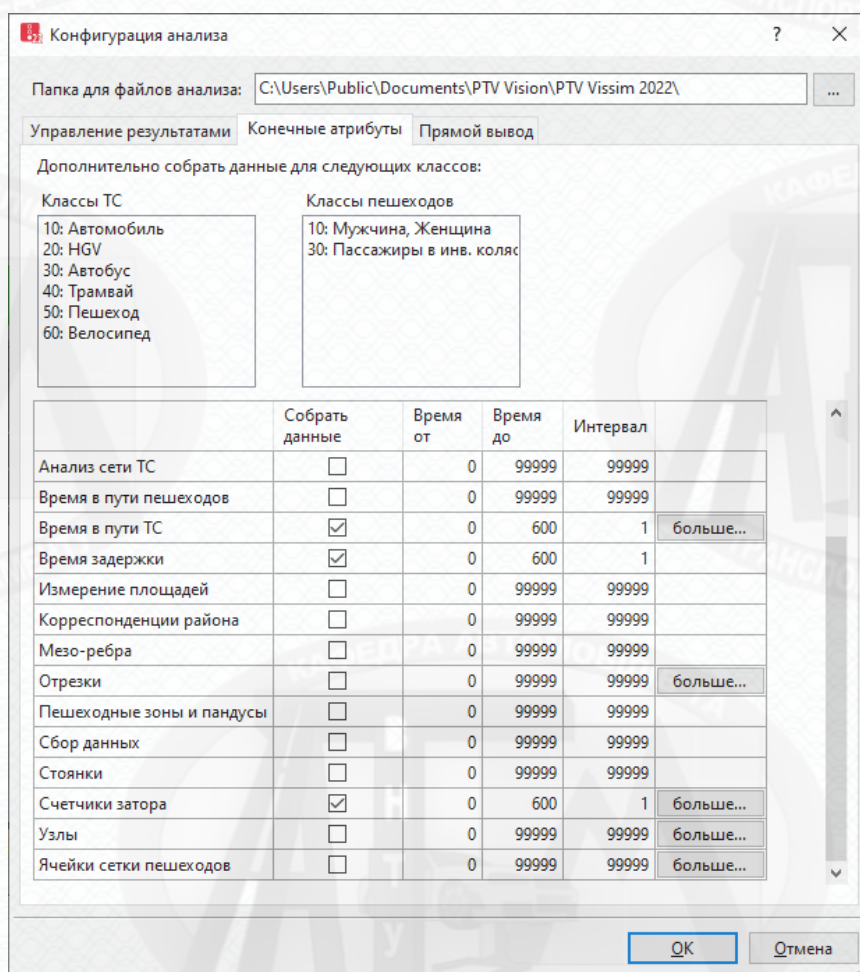


Рисунок 4.8 – Увімкнення та завдання параметрів датчиків «Час у дорозі ТЗ» та лічильників «Лічильник заторів»

Датчик «Час у дорозі ТЗ» задається відрізком, на якому фіксуватиметься тривалість перебування ТЗ. «Лічильник затору», призначений для фіксації довжини затору та часу його утворення, встановлюється у місцях найбільшої ймовірності виникнення транспортної пробки.

Час у дорозі ТЗ по окремим маршрутам і довжини черг, що утворюються, можуть бути представлені в табличному вигляді (рис. 4.9).

281 / 54...	Ци...	ИнтвР	Изм...	ВрП	Останов...	ТСЗадерж...	ТС(В...	ВрЗадержки
118 6	310-3...	7	20,85	2,00	34,14	1		
119 6	410-4...	6	179,06	5,00	206,30	1	2	
120 6	410-4...	7	83,12	1,00	96,76	1		
121 6	420-4...	6	82,70	1,00	90,01	2		
122 6	420-4...	7	84,52	2,00	100,84	2	1	
123 6	430-4...	6	35,19	2,20	49,99	5		
124 6	430-4...	7	51,60	2,50	100,843954			
125 6	440-4...	7	29,34	2,00	48,25	1		
126 6	530-5...	6	86,22	1,50	99,31	2		
127 6	530-5...	7	88,70	1,67	101,13	3	1	
128 6	540-5...	6	85,80	1,60	97,83	5		
129 6	540-5...	7	44,45	0,50	50,76	2		
130 6	550-5...	7	46,12	2,50	60,13	2		
131 7	60-70	6	24,73	1,00	35,68	5		
132 7	170-1...	6	97,24	2,00	111,71	1	1	
133 7	170-1...	7	88,20	1,00	101,95	1	1	
134 7	180-1...	6	90,84	1,25	105,17	4	1	
135 7	180-1...	7	94,26	1,67	105,26	3	1	
136 7	190-2...	6	35,33	1,80	47,00	5		
137 7	190-2...	7	86,44	2,33	102,61	3	1	
138 7	290-3...	6	101,64	2,00	116,16	2	1	
139 7	300-3...	6	90,09	1,75	101,35	4	1	

Число: 62400	ЦиклИмит	ИнтвР	СчЗат	ДлЗат	ДлЗатМакс	ОстЗат
8826 2	503-5...	2		41,23	41,69	0
8827 2	503-5...	3		34,25	34,62	0
8828 2	503-5...	4		37,08	37,82	0
8829 2	503-5...	5		40,46	40,46	0
8830 2	503-5...	6		40,50	40,50	0
8831 2	503-5...	7		40,44	40,44	0
8832 2	503-5...	8		0,00	0,00	0
8833 2	504-5...	1		40,87	41,05	0
8834 2	504-5...	2		40,70	40,89	1
8835 2	504-5...	3		33,85	33,95	1
8836 2	504-5...	4		35,26	36,09	0
8837 2	504-5...	5		40,46	40,46	0
8838 2	504-5...	6		40,50	40,50	0
8839 2	504-5...	7		40,44	40,44	0
8840 2	504-5...	8		0,00	0,00	0
8841 2	505-5...	1		40,10	40,49	0
8842 2	505-5...	2		39,93	40,32	1
8843 2	505-5...	3		33,80	33,80	0
8844 2	505-5...	4		33,20	34,23	0
8845 2	505-5...	5		40,46	40,46	0
8846 2	505-5...	6		40,50	40,50	0
8847 2	505-5...	7		40,44	40,44	0

Рисунок 4.9 – Результаты розрахунку затримок ТЗ та лічильника заторів

Виходячи з проведених досліджень, що полягають у вдосконаленні організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька у місті Вінниця, можна зробити висновок, що створена імітаційна модель досліджуваного перехрестя у програмному комплексі PTV Vissim підтвердила адекватність запропонованих рішень щодо удосконалення організації та регулювання дорожнього руху на досліджуваному перехресті.

Висновки до розділу 4

Аналіз якості вдосконаленої схеми організації дорожнього руху на перехресті дозволив визначити тривалість транспортної затримки у перетині вулиці Келецька, яка становить 50,5 с, що менше транспортної затримки до вдосконалення на 93 с.

Створена імітаційна модель перехрестя у програмному комплексі PTV Vissim підтвердила адекватність запропонованих рішень щодо удосконалення організації та регулювання дорожнього руху на досліджуваному перехресті.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Головна задача охорони праці – мінімізація вірогідності виникнення виробничого травматизму та захворювань при забезпеченні нормованих параметрів умов праці.

Неналежний стан охорони праці спроможний викликати соціально-економічні проблеми працівників та їх сімей. Саме тому соціально-економічна важливість охорони праці полягає в наступному: зростанні продуктивності праці, зростанні валового внутрішнього продукту, скороченні виплат за лікарняними і компенсаційних виплат за шкідливі умови праці тощо.

В даному розділі наводиться аналіз небезпечних, шкідливих і уражаючих для працівника і навколишнього середовища чинників, які утворюються при проведенні вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниці. Тут висвітлюються, в тому числі, технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці, технічні рішення з безпеки під час проведення вдосконалення, безпека у надзвичайних ситуаціях.

Під час вдосконалення даного процесу на працюючих діють ті або інші небезпечні та шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп згідно [33].

Фізичні НШВФ: понижена або підвищена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, недостатність або відсутність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, підвищена яскравість світла, відбита або пряма блискучість.

Психофізіологічні НШВФ: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці.

5.1 Технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці

5.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони.

Під мікрокліматом розуміють клімат внутрішнього середовища, що визначається діючими на організм людини поєднаннями температури, вологості та швидкості руху повітря, а також інтенсивності теплового випромінювання.

Коли з технічних чи економічних міркувань оптимальні норми не забезпечуються, то встановлюються допустимі величини параметрів мікроклімату.

Визначаємо для робочого місця, де проводяться роботи з вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниці, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іа.

Відповідно до [15] допустимі параметри температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні для холодного та теплої періодів року наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Допустимі показники мікроклімату [15]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іа	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий	Іа	22-28	20-30	55 при 28°С	0,1-0,2

Розкид значень температури повітря вздовж висоти робочої зони для всіх категорій робіт допускається до 3°С. Для опромінення менше 25% поверхні тіла працівника, нормована інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м².

Повітря робочої зони не повинно містити шкідливих речовин з концентраціями вище гранично допустимих концентрацій (ГДК). ГДК шкідливих речовин, що утворюються на даному робочому місці наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр, що нормується	Значення	Клас небезпеки
Бензин	ГДК, мг/м ³	100	4
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м ³	0,15	4

З метою забезпечення нормованих показників мікроклімату та чистоти повітря робочої зони запропоновано такі заходи:

- 1) природна вентиляція;
- 2) вологе прибирання кожного дня.

5.1.2 Виробниче освітлення.

З метою забезпечення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги висуваються щодо кількісних та якісних показників освітлення.

З погляду задач зорової роботи на робочому місці, де проводяться роботи з вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниці, відповідно до [5] визначаємо, що вони відповідають III розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об'єкта з фоном – середній та характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт *в*.

Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) і мінімальні значення освітленості при штучному освітленні приведені в таблиці 5.3.

Оскільки робочому місці розташоване в місті Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), то для таких умов КПО визначатиметься за виразом [5]

$$e_N = e_H m_N [\%], \quad (5.1)$$

де e_H – табличне значення КПО, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

Таблиця 5.3 – Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення та мінімальні освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	в	середній	середній	750	200	300	2	1,2

Підставляючи відомі значення отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,b} = 2 \cdot 0,85 = 1,7 (\%);$$

$$e_{N,c} = 1,2 \cdot 0,85 = 1,02 (\%).$$

З метою встановлення нормативних значень показників освітлення передбачено такі заходи:

1) за недостатнього природного освітлення у світлу пору доби доповнення штучним завдяки використанню газорозрядних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;

2) застосування штучного освітлення у темну пору доби.

5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання.

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого устаткування використовується обладнання, робота якого генерує шум та вібрацію, потрібно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Встановлено, що робоче місце, де відбувається робота з вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниці може мати робочі місця із шумом та вібрацією, що створюється двигунами внутрішнього згорання.

Для запобігання травмуванню працюючих від дії шуму та вібрації вони підпадає під нормування. Головним документом з питань виробничого шуму, що діє в Україні, є [13], у відповідності з яким допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні шуму на робочих місцях не мають перевищувати значень, що приведені у таблиці 5.4. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці 5.5 для 1-ї категорії (транспортна).

Таблиця 5.4 – Нормовані рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця 5.5 – Нормовані рівні віброприскорення [14]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних смугах із середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
68	65	65	71	77	83	62

З метою встановлення нормованих параметрів віброакустичних коливань на робочому місці передбачено здійснення перевірки рівнів шуму та вібрації.

5.2 Технічні рішення щодо безпеки під час проведення вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниці

5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць.

Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психофізіологічним характеристикам людини, а також характеру праці [17].

5.2.2 Заходи безпеки дорожнього руху на перехресті.

З метою забезпечення безпеки дорожнього руху на перехресті черговість проїзду перехрестя встановлюється дорожніми знаками:

- знаками пріоритету: «дати дорогу» (водій повинен дати дорогу транспортним засобам, що під'їжджають до нерегульованого перехрестя по головній дорозі, а за наявності таблички – транспортним засобам, що рухаються по головній дорозі), «головна дорога» (надається право першочергового проїзду нерегульованих перехрестя), «кінець головної дороги» (скасовується право першочергового проїзду нерегульованих перехрестя), «перевага перед зустрічним рухом» (вузька ділянка дороги, під час руху якою водій має перевагу стосовно зустрічних транспортних засобів, встановлюються безпосередньо перед перехрестям);

- попереджувальними знаками: «напрямок об'їзду центра перехрестя з круговим рухом», «перехрещення з рухом по колу», «перехрещення з трамвайною колією» (вказує місце перетинання дороги з трамвайною колією на перехресті з обмеженою оглядовістю чи поза ним), «перехрещення рівнозначних доріг», «перехрещення з другорядною дорогою», «світлофорне регулювання»;

- наказовим знаком «круговий рух» (вимагає об'їзду клумби (центрального острівця) в напрямку, показаному стрілками на перехресті з круговим рухом);

- інформаційно-вказівними знаками: «напрямки руху по смугах» (показує кількість смуг на перехресті і дозволені напрямки руху по кожній з них), «початок

додаткової смуги руху» (позначає додаткову смугу зліва або початок смуги гальмування перед перехрестям, призначеної для повороту ліворуч або розвороту), «рекомендована швидкість», (зона дії знака поширюється до найближчого перехрестя), «діагональний пішохідний перехід» (застосовується лише на регульованих перехрестях (на яких сигнал світлофора не переводять у режим жовтого миготіння), де дозволено перехід по діагоналі), «схема руху» (позначає маршрут руху, якщо на перехресті рух в окремих напрямках заборонено, або позначає дозволені напрямки руху на перехресті із складним плануванням), «номер і напрямок маршруту (дороги)» (застосовуються перед перехрестям для зазначення номера дороги, що перетинається, інформування щодо зміни на перехресті напрямку маршруту (дороги) із зазначеним номером, організації виїзду на дорогу із зазначеним номером на транспортній розв'язці у різних рівнях чи транспортній розв'язці в одному рівні із складним плануванням (кільцеві розв'язки, пересічення більш ніж двох доріг тощо);

- табличкою до дорожніх знаків «напрямок головної дороги» (вказує напрямок головної дороги на перехресті).

Безпеки дорожнього руху на перехресті регулюється також дорожньою розміткою та дорожнім обладнанням:

- горизонтальна розмітка: напрямна розмітка – переривчаста лінія позначає напрямок смуг руху в межах перехрестя в разі необхідності вказати траєкторію руху транспорту, позначає розриви в суцільній розмітці для можливості здійснення повороту чи розвороту; широка переривчаста лінія позначає межу між основною смугою руху і смугами гальмування чи розгону, зокрема на перехрестях; розмітка, яка позначає місця на смузі (смугах) руху перед перехрестям навпроти в'їзду/виїзду до прилеглої території, на яке заборонено в'їзд, якщо попереду зупинилися інші транспортні засоби; позначає місце (резервний майданчик) для тимчасової зупинки транспорту екстрених служб (швидкої медичної допомоги, поліції та інших) і де заборонено стоянку інших транспортних засобів вздовж доріг, вулиць та на майданчиках для паркування; коробчаста розмітка жовтого кольору наноситься на проїзну частину в зоні

перехрестя для попередження про заборону в'їзду на перехрестя в разі виникнення затору; розмітка, що показує дозволені напрямки руху по смугах на перехресті; розмітка, що попереджає про наближення до місця, де влаштовано підвищене перехрестя для примусового зниження швидкості;

- дорожнє обладнання – опуклі дзеркала для розширення оглядовості водіям транспортних засобів, які проїжджають перехрестя чи інше небезпечне місце з недостатньою оглядовістю.

На регульованому перехресті рух транспорту упорядковується за допомогою регулювальника або світлофора. За сигналами світлофорів пішоходи переходять вулиці та перехрестя, не заважаючи одні одним і не ризикуючи потрапити під транспортний засіб. Сигнали світлофорів допомагають водіям уникнути зіткнень та інших нещасних випадків: зелений дозволяє рух, жовтий забороняє рух і попереджає про наступну зміну сигналів; жовтий миготливий сигнал або два жовтих миготливих сигнали дозволяють рух і інформують про наявність небезпечного нерегульованого перехрестя або пішохідного переходу, червоний сигнал, у тому числі миготливий, або два червоних миготливих сигнали забороняють рух. Переходити дорогу необхідно тільки на зелене світло світлофора. Якщо перехрестя регулюється регулювальником, то слід підкорятися його сигналам. Пішоходи не повинні затримуватися чи зупинятися на дорозі, переходити перехрестя по діагоналі. За відсутності і світлофора, і регулювальника перехрестя є нерегульованим. Для забезпечення безпеки дорожнього руху пішоходи зобов'язані переходити проїжджу частину біля знаку «Пішохідний перехід» або по дорожній розмітці «зебра». За відсутності дорожньої розмітки межі пішохідного переходу визначаються відстанню між дорожніми знаками або пішохідними світлофорами, а на перехресті за відсутності пішохідних світлофорів, дорожніх знаків та розмітки – шириною тротуарів чи узбіч.

Для забезпечення безпеки дорожнього руху велосипедистів влаштовується велосипедний переїзд, який являє собою місце перетину велосипедистами проїзної частини в межах перехрестя або поза ними, позначене дорожньою розміткою «велосипедний переїзд».

Правилами дорожнього руху забороняються місця зупинки або стоянки, зокрема на перехрестях та ближче 10 метрів від краю перехрещуваної проїзної частини за відсутності на ній пішохідного переходу, за винятком зупинки для надання переваги в русі та зупинки проти бокового проїзду на Т-подібних перехрестях, де є суцільна лінія розмітки або розділювальна смуга.

Для запобігання ускладненням дорожнього руху патрульний працівник поліції повинен за необхідності (наприклад, затор на перехресті, ДТП, чи непрацюючий світлофор) забезпечити регулювання проїзду перехрестям, вказати на об'їзні маршрути руху.

Не рекомендується здійснювати зупинку та перевірку транспорту на дорогах з обмеженою видимістю, на поворотах та перед ними, на перехрестях, підйомах і спусках, залізничних переїздах. Зупинка на цих ділянках проводиться тільки в невідкладних випадках, коли виникла в цьому крайня необхідність.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Згідно нормативного документу [16], незалежно від типу, автомобіль повинен бути обладнаний одним портативним вогнегасником.

5.4 Висновки до розділу 5

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, технічні рішення з безпеки під час проведення вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниці, безпека в надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Виконано аналіз існуючого стану організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця. Режим роботи світлофорної сигналізації на досліджуваному перехресті не враховує реальну ситуацію із завантаженістю напрямків руху транспорту, оскільки спостерігаються значні черги у години пік під час виїзду транспортних засобів з вулиці 600-річчя на вулицю Келецьку. Також, завантаженим перетином перехрестя є III перетин, оскільки з даного напрямку рухається значний транспортний потік у ранішню годину пік в напрямку до центру міста по вулиці Келецькій, яка є однією з магістральних вулиць міста Вінниця.

Проведений облік інтенсивності руху транспортного потоку надав можливість виявити склад потоку, за яким легкові автомобілі є переважаючими і на 73 % транспортний потік через досліджуване перехрестя – легковий.

На регульованих перехрестях найчастіше застосовують однопрограчне жорстке управління рухом. Розрахунок тривалості світлофорного циклу та його елементів ґрунтується на опосередкованих значеннях інтенсивності транспортного потоку в попередні періоди.

З метою оцінювання ефективності впровадження змін на регульованих перехрестях використовують різні критерії якості управління дорожнім. При значній інтенсивності дорожнього руху, критеріями можуть бути: тривалість поїздки, транспортні затримки та пропускна здатність перехрестя.

На досліджуваному перехресті транспортні потоки повністю використовують пропускну здатність перехрестя по перетинам, їх рівні завантаження перевищують допустимі, що пояснює утворення черг на всіх перетинах у години «пік». Існуюча пропускна здатність досліджуваного перехрестя – 4594 авт/год.

Найбільш насичені напрямки руху на досліджуваному перехресті – *I-II* (виїзд з вулиці Келецької від центру міста на вулицю 600-річчя); та *II-III* (виїзд з вулиці 600-річчя від вулиці А. Первозванного на вулицю Келецьку в напрямку від центра міста). Найбільші питомі транспортні затримки отримали за напрямками *II-III* –

343,5 с та *IV-I* – 368,8 с. Ці напрямки є лівоповоротними на виїзд з вулиці 600-річчя.

Для збільшення пропускної здатності досліджуваного регульованого перехрестя у перетинах I та III пропонується збільшити кількість смуг на в'їзд до перехрестя, а саме додати на вказаних перетинах по 1 смузі для повороту ліворуч за напрямками I-II та III-IV відповідно. В перетині II, у лівій смузі дозволити лише поворот наліво (напрямок II-III), в перетині IV у лівій смузі також дозволити лише поворот наліво (напрямок IV-I).

Запропоновані заходи з удосконалення організації дорожнього руху надають можливість зменшити питомі транспортні затримки в цілому, наприклад за напрямками *IV-I* (з 368,8 с до 27,9 с) та *II-III* (з 343,5 с до 29,0 с).

Запропоновано такі параметри світлофорного регулювання на досліджуваному перехресті: тривалість циклу – 88 с; тривалість 1-ї фази – 30 с, з дозвільним сигналом – 24 с; тривалість 2-ї фази – 38 с, з дозвільним сигналом – 32 с; тривалість 3-ї (пішохідної) фази – 20 с.

Розрахункова пропускна здатність досліджуваного перехрестя, після впровадження запропонованих рішень збільшується на 9% до 5040 авт/год.

Аналіз якості вдосконаленої схеми організації дорожнього руху на перехресті дозволив визначити тривалість транспортної затримки у перетині вулиці Келецька, яка становить 50,5 с, що менше транспортної затримки до вдосконалення на 93 с.

Створена імітаційна модель перехрестя у програмному комплексі PTV Vissim підтвердила адекватність запропонованих рішень щодо удосконалення організації та регулювання дорожнього руху на досліджуваному перехресті.

Питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях – опрацьовані.

Вважаю, що всі завдання, поставлені в магістерській кваліфікаційній роботі, виконані.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамова Л. С., Наглюк І. С., Птиця Г. Г. Аналіз методів визначення складу транспортного потоку. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2012. № 17. С. 35–41.
2. Алексієв О. П., Неронов С. М. Інструментальні засоби інформаційно-комунікаційної технології моніторингу руху автомобілів. *Матер. III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху»*. Харків : ХНАДУ, 2013. С. 212–213.
3. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану: ДСТУ 3587-97. [Чинний від 1997-07-31]. К. : Держстандарт України, 1997. 23 с. (Державний стандарт України).
4. Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки: ДСТУ 4092-2002. [Чинний від 2003-01-01]. К. : Держстандарт України, 2002. 27 с. (Державний стандарт України).
5. Бондаренко Є. А., Дрончак В. О. Освітлення виробничих приміщень : довідник. Вінниця : ВНТУ, 2011. 61 с.
6. Васильєва Г. Ю. Методи мінімізації затримок транспорту на магістральній вулично-дорожній мережі міст України : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.20 «Містобудування та територіальне планування» / Ганна Юріївна Васильєва. Київ, 2007. 19 с.
7. Гілевич В. В., Могила І. А. Вплив змін динамічних характеристик транспортних засобів на значення коефіцієнтів зведення. *Тези доповідей Всеукр. наук.-теор. конф. «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання»*. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. С. 27–29.
8. Гілевич В. В., Могила І. А. Моделювання проїзду регульованого перехрестя з урахуванням впливових чинників. *Збірник тез доповідей LXXI Наук. конф. професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К. : НТУ, 2015. С. 534.

9. Гілевич В. В. Підвищення ефективності роботи регульованих перехресть з жорсткими світлофорними циклами : дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / Володимир Васильович Гілевич. Львів, 2016. 169 с.
10. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. URL: https://dorndi.org.ua/files/upload/8g_Зміна%20№1%20до%20ДБН%20В%202%203-5%20-%2021.02.2020.pdf (Дата звернення 12.09.2023).
11. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. URL: https://ledeffect.com.ua/images/_branding/dbn2018.pdf (Дата звернення 10.11.2023).
12. Дзюба О. П., Кунда Н. Т Елементи теорії масового обслуговування в організації дорожнього руху. К. : УТУ, 1996. 28 с.
13. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text> (Дата звернення 10.11.2023).
14. ДСН 3.3.6.039 99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99#Text> (Дата звернення 10.11.2023).
15. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text> (Дата звернення 10.11.2023).
16. Закон України «Про дорожній рух» Документ 3353-ХІІ, чинний, поточна редакція – Редакція від 17.03.2021, підстава - 1231-ІХ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text> (Дата звернення 10.10.2023).
17. Законодавство України [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/4880> (Дата звернення: 22.10.23).
18. Енглезі І. П. Ефективність координованого управління транспортними потоками : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 «Транспортні системи» / Ірина Павлівна Енглезі. К. : НТУ, 2004. 120 с.
19. Єресов В. І., Христенко О. В. Комплексна оцінка ефективності світлофорного регулювання на перехрестях. *Вісник НТУ*. К., 2009. № 19, ч. 2. С. 72-77.

20. Кашканов А. А., Кужель В. П. Організація дорожнього руху : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 125 с.

21. Кашканов В. А. Актуальність використання програм з імітаційного моделювання транспортних потоків для підготовки фахівців автотранспортної галузі. *Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Полтава, 20-21 березня 2023 року)*. Полтава: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2023. С. 403-407.

22. Кашканов В. А., Лужанський Д. М. Необхідність покращення ефективності організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міст. *Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 25-27 жовтня 2021 року: збірник наукових праць*. Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 95-97.

23. Кашканов В. А., Осьмірко С. О. Актуальність вдосконалення організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міста Вінниця. *Матеріали XVI-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року*, м. Вінниця, ВНТУ. 396с. С. 169-170. https://atm.vntu.edu.ua/konf/Zbirnyk_STPR_AT_2023.pdf

24. Кашканов В. А., Осьмірко С. О. Дослідження руху транспортного потоку на вулично-дорожній мережі міста. *Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.].* Вінниця: ВНТУ, 2022. (PDF 331 с.) URL: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/683/1213/2431-1>

25. Кір'янов О. Ф., Переверзева Г. Г. Напрямки вирішення проблеми перевантаження транспортних вузлів ВДМ. *Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту*. Дніпропетровськ, 2011. № 36. С. 181–184.

26. Кузькін О. Ф. Пошук шляхів у маршрутних мережах міст методом відгалужень і меж. *Комунальне господарство міст*. Харків, 2012. № 103. С. 378–388.

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

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

29. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Організація дорожнього руху» (для студентів 4 курсу денної форми навчання та 2 курсу заочної форми навчання напряму підготовки 6.070101 – Транспортні технології (за видами транспорту)). Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. О. Лобашов, І. О. Толмачов. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 28 с.

30. Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов'язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням. Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. Вінниця: ВНТУ, 2012. 64 с.

31. Могила І. А., Дяк М. А., Шварик І. Є. Адаптивний алгоритм керування рухом на регульованому Т-подібному перехресті та його ефективність. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2013. № 1. С. 61–68.

32. Наказ 09.07.2012 № 964 Про затвердження Правил охорони праці на автомобільному транспорті. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1299-12#Text> (Дата звернення 10.11.2023).

33. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс]. URL: <http://online.budstandart.com/ua>

/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14_nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html (Дата звернення 10.11.23).

34. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0554-04#Text> (Дата звернення 10.11.23).

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

36. Пальчик А. М. Транспортні потоки. К. : Національний транспортний університет, 2010. 172 с.

37. Парасюк В. М., Демків Р. Я., Когут В. М. Безпека дорожнього руху : навчальний посібник. Львів : Львівський державний університет внутрішніх справ, 2022. 340 с.

38. Поліщук В. П., Дзюба О. П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. К. : Знання України, 2008. 175 с.

39. Поліщук В. П., Красильнікова О. В., Дзюба О. П. Транспортне планування міст ; за заг. ред. В. П. Поліщука. К. : Знання України, 2014. 371 с.

40. Попович П. В., Шевчук О. С. Методичні вказівки для виконання курсової роботи з дисципліни «Організація дорожнього руху» для студентів спеціальності 275 - Транспортні технології (на автомобільному транспорті). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. 91 с.

41. Проект стандарту «Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування. ДСТУ XXXX:201X. Електронний ресурс. URL: <http://www.tk307.in.ua/wpcontent/uploads/2018/03/proekt-DSTU-po-Intensivnosti-ruhu.pdf> (дата звернення 22.09.2023 р.)

42. Рябушенко, О. В., Склярів, М. В. і Кашканов, В. А. 2023. Дослідження показників якості організації дорожнього руху в умовах міста методом GPS-треків. *Вісник машинобудування та транспорту*. 17, 1 (Вер 2023), 129–137. DOI:<https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-17-1-129-137>.

43. Сватко В. В. Методика визначення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля з використанням моделі ефективного транспортного засобу [Електронний ресурс]. 2013. Режим доступу до статті: <http://www.sworld.com.ua/konfer30/1005.pdf>

44. 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. Дмитриченко. К. : Знання України, 2005. 452 с.

45. Сисюк Г. Ю., Мотолига О. М., Скриль І. К. Імітаційна модель транспортного потоку на перехресті. *Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту ім. М.Остроградського*. 2009. № 1 (59). С. 28–32.

46. Славич В. П. Методи і моделі системи автоматизованого управління транспортними потоками міста : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 «Інформаційні технології». В'ячеслав Петрович Славич. Херсон : ХНТУ, 2009. 193 с.

47. Форнальчик Є. Ю., Могила І. А., Трушевський В. Е., Гілевич В. В. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія ; за ред. Є. Ю. Форнальчика. Львів. 2018. 236 с.

48. Webster F. V. Traffic signal Settings and Expected Delay / F. V. Webster. Italy : International Study Week in Traffic Engineering, 1956. pp. 315.

49. Webster F. V. Traffic Signals: Technical Paper No. 56 / F. V. Webster, B. M. Cobbe. London : Road Research Laboratory, 1966. 111 p.

50. VISSIM. [Електронний ресурс]. URL: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ВДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА
ПЕРЕХРЕСТІ ВУЛИЦІ 600-РІЧЧЯ ТА ВУЛИЦІ КЕЛЕЦЬКА
МІСТА ВІННИЦЯ

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Ілюстративний матеріал до
магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

**Вдосконалення організації дорожнього руху
на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця**

спеціальність 275 – Транспортні технології
за спеціалізацією 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

Розробив: ст. гр. 1ТТ-22м
Осьмірко С. О.

Керівник: к.т.н., доц.
Кашканов В. А.

Вінниця – 2023 р.

Мета дослідження – покращення показників організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця.

Завдання дослідження

- провести аналіз стану організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця;
- навести наукові підходи до вдосконалення організації дорожнього руху на регульованому перехресті;
- розрахувати показники організації дорожнього руху на перехресті 600-річчя-Келецька та запропонувати заходи щодо їх покращення;
- розробити імітаційну модель удосконаленої схеми організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті.
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Методи досліджень

У роботі використовувались методи системного підходу та системного аналізу для теоретичних і практичних положень в сфері організації та управління дорожнім рухом, теорія транспортних потоків, теорія прийняття рішень, імітаційне моделювання.

Об'єкт дослідження – організація дорожнього руху на ізольованому регульованому перехресті.

Предмет дослідження – показники організації дорожнього руху на перехресті.

Новизна одержаних результатів.

Отримали подальший розвиток теоретичні положення та практичні аспекти проїзду транспортними засобами регульованих перехресть.

Практичне значення одержаних результатів

Отримано та досліджено актуальні показники стану організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниці, що дало змогу запропонувати заходи щодо її вдосконалення.

Ілюстрація візуалізації досліджуваного перехрестя



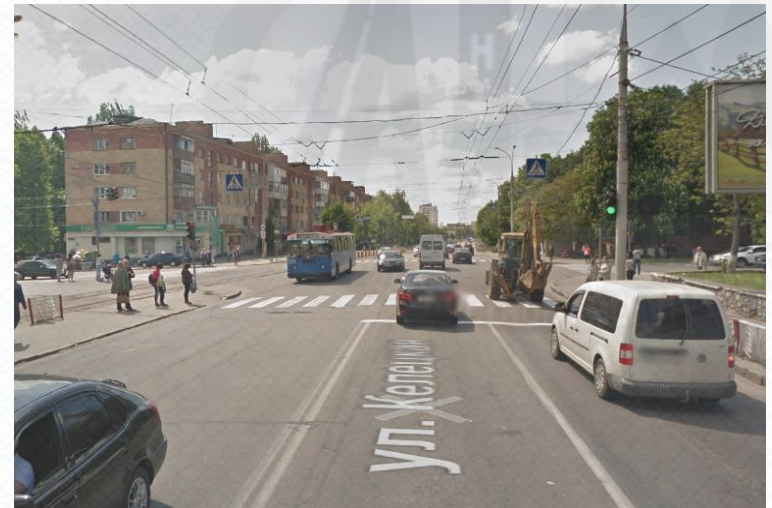
в напрямку від вулиці Андрія Первозванного



в напрямку від Хмельницького шосе

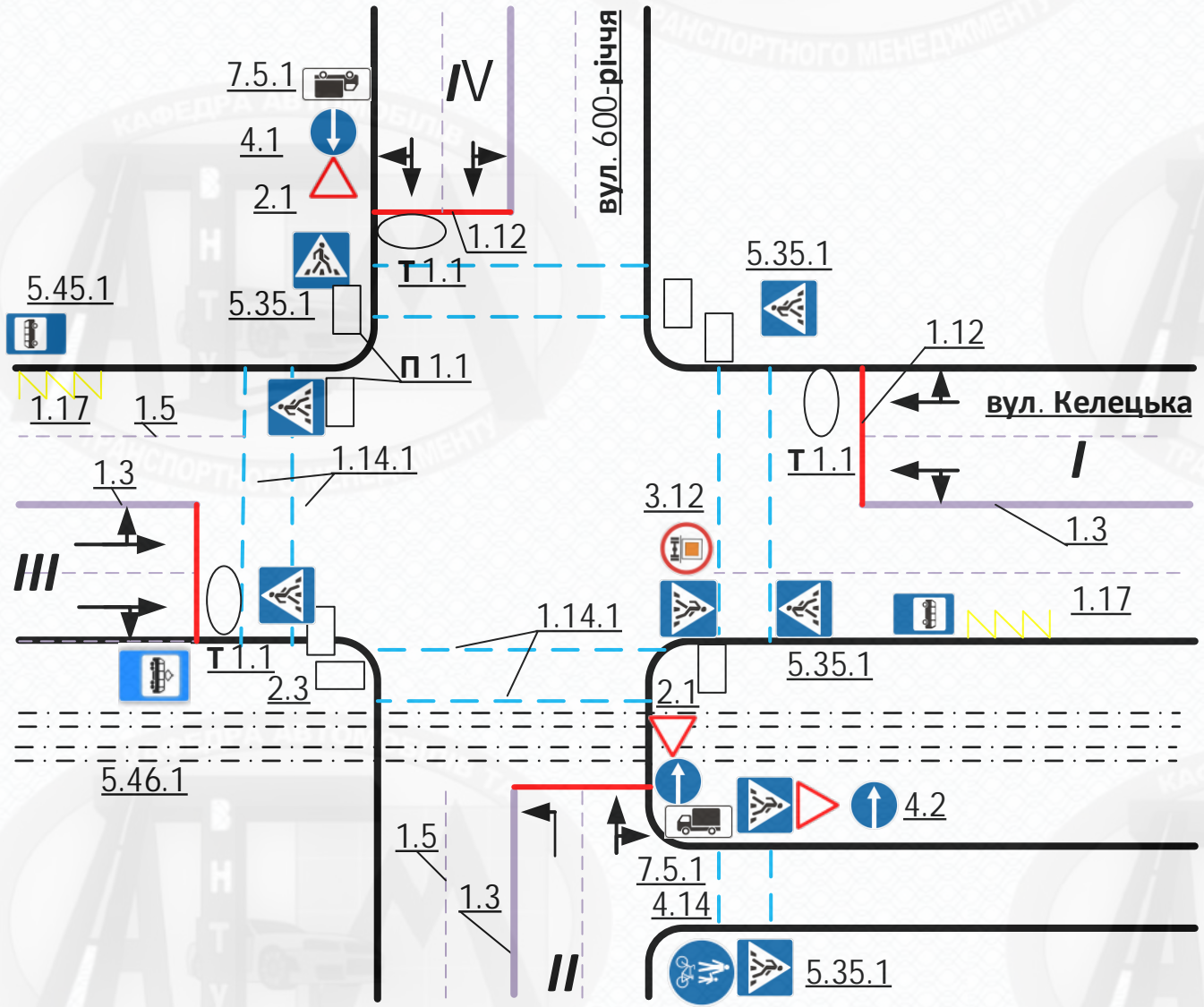


в напрямку до центру міста



в напрямку від центру міста

Схема організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті



Аналіз існуючого режиму роботи світлофорного регулювання

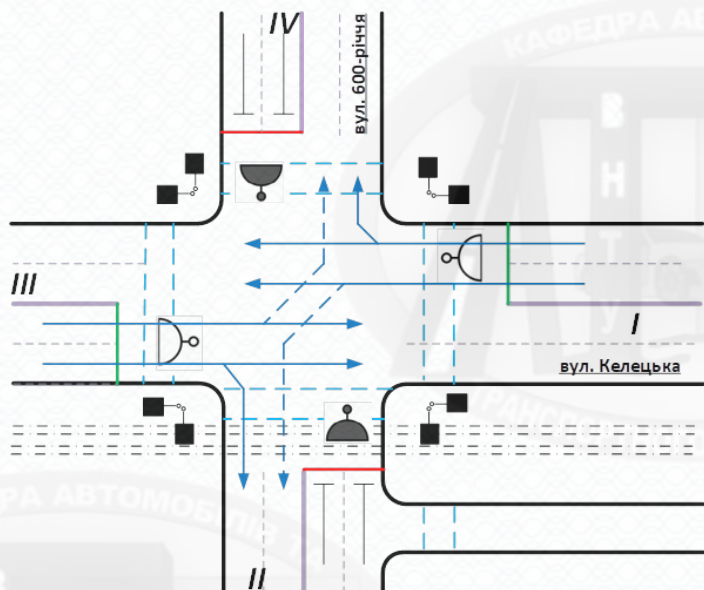


Схема руху на перехресті у фазі 1

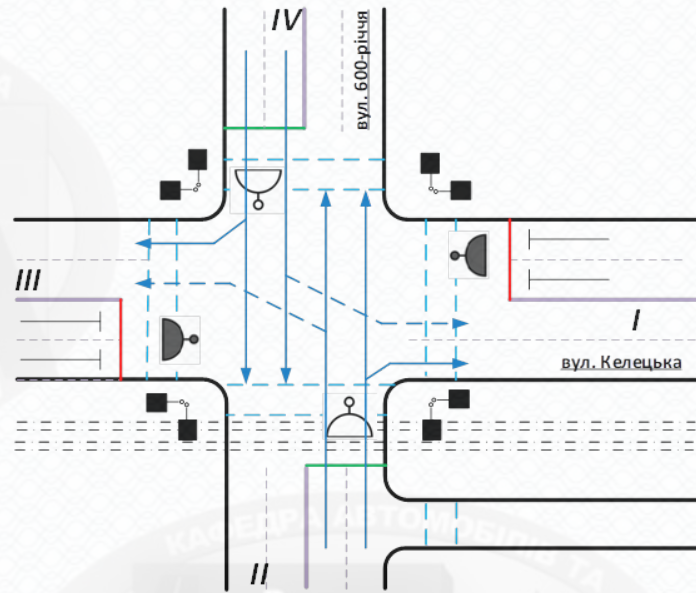


Схема руху на перехресті у фазі 2

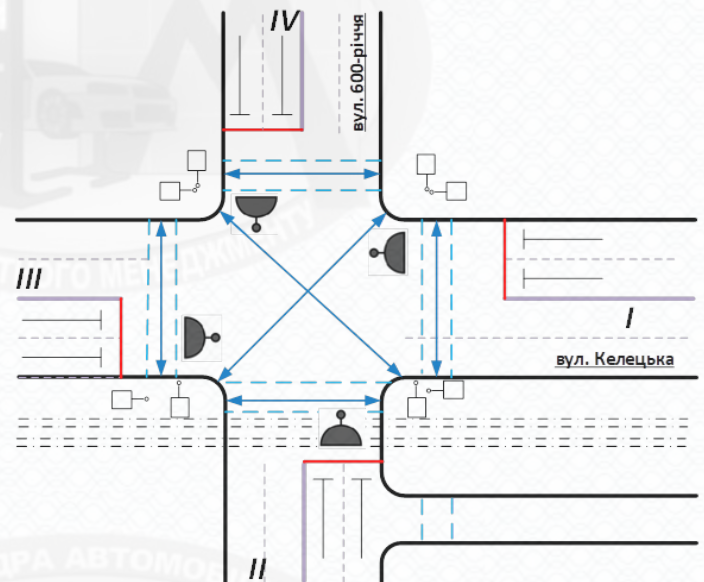
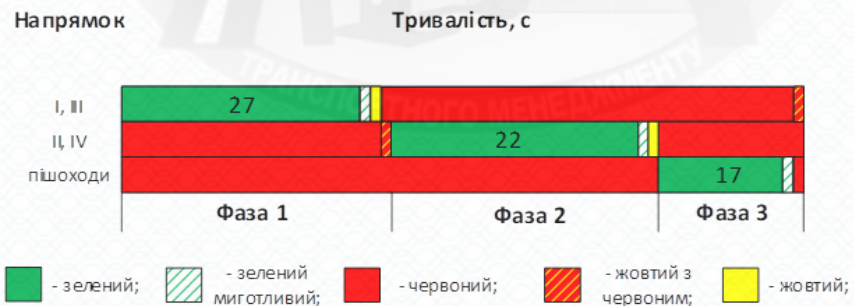


Схема руху на перехресті у фазі 3 (пішохідна фаза)

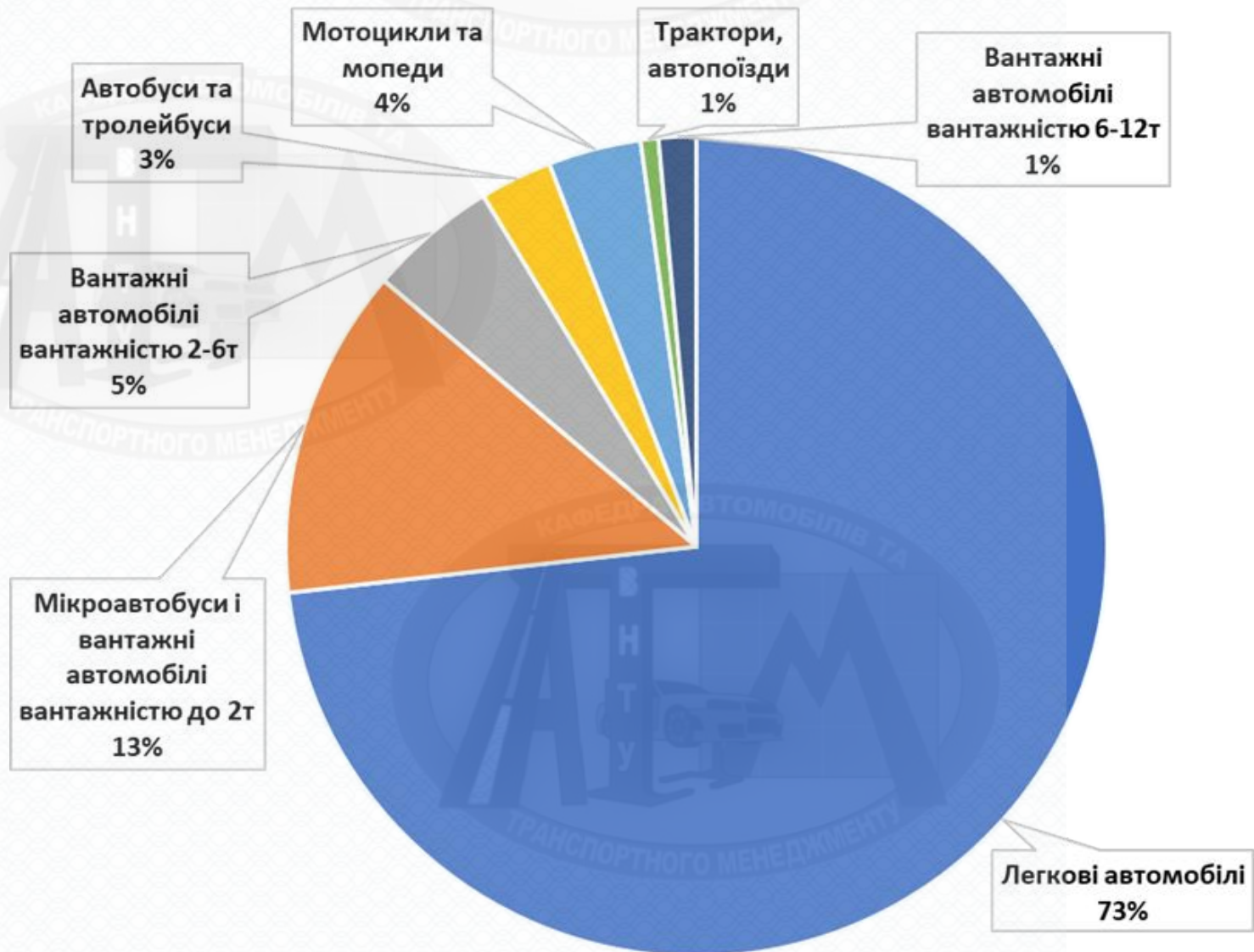


Циклограма існуючого світлофорного регулювання

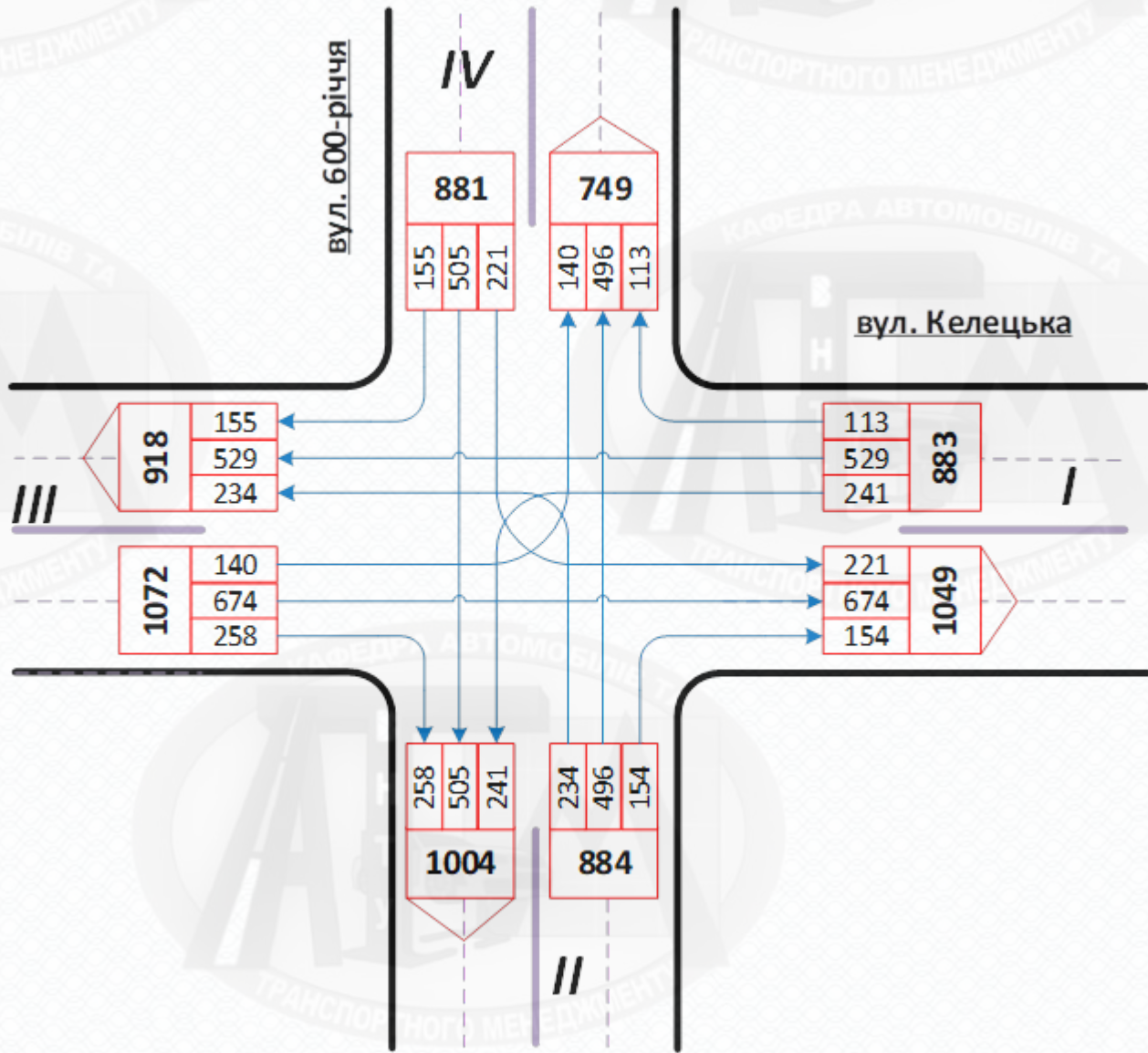
Дослідження існуючого транспортного потоку

Вид транспортних засобів	Напрямок руху												Всього у фізичних од./год	Всього у приведених од./год
	I-II	II-I	I-III	III-I	I-IV	IV-I	II-III	III-II	II-IV	IV-II	III-IV	IV-III		
Легкові автомобілі, $K_n = 1,0$	175	122	375	512	79	147	135	144	452	389	88	105	2723	2723
Мікроавтобуси і вантажні автомобілі вантажністю до 2т, $K_n = 1,5$	33	14	46	55	16	61	48	59	27	73	31	22	485	727,5
Вантажні автомобілі вантажністю 2-6т, $K_n = 2,0$	18	6	27	24	6	4	33	27	8	11	7	18	189	378
Автобуси та тролейбуси, $K_n = 3,0$	0	0	48	53	2	0	0	0	0	3	0	0	106	318
Мотоцикли та мопеди, $K_n = 0,5$	8	12	18	19	9	9	14	18	7	11	5	6	136	68
Трактори, автопоїзди, $K_n = 4,0$	3	0	9	4	1	0	3	4	0	0	0	2	26	104
Вантажні автомобілі вантажністю 6-12т, $K_n = 3,5$	4	0	6	7	0	0	1	6	2	18	9	2	55	192,5
Всього	241	154	529	674	113	221	234	258	496	505	140	155	3720	4511
	291	161	708	852	130	251	296	333	519	598	183	192		

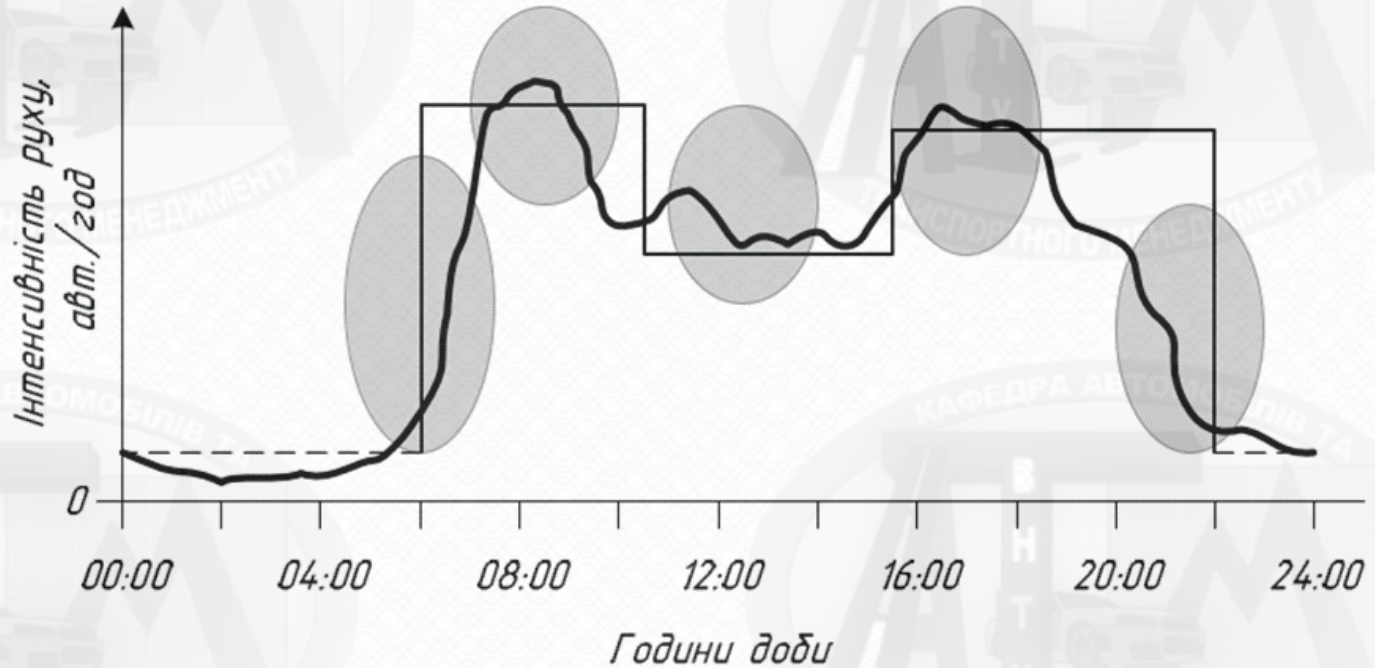
Дослідження існуючого транспортного потоку



Дослідження існуючого транспортного потоку



Типова добова зміна інтенсивності руху транспортного потоку



----- Період жовтого миготливого сигналу

————— Період роботи багатoprogramного жорсткого керування

Період доцільного застосування адаптивного керування

Розрахунок основних параметрів світлофорного управління

Тривалість світлофорного циклу за формулою Вебстера, с:

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \sum_{i=1}^n t_{mi} + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}$$

де t_{mi} – тривалість перехідного інтервалу в i -й фазі регулювання, с;
 y_i – фазовий коефіцієнт i -ї фази, який визначають через співвідношення

$$y_i = \frac{N_i}{S_i}$$

де N_i – інтенсивність руху ТЗ у цьому напрямку в i -й фазі регулювання, авт./с;
 S_i – потік насичення в цьому самому напрямку, авт./с.

Тривалість дозвільного сигналу, с

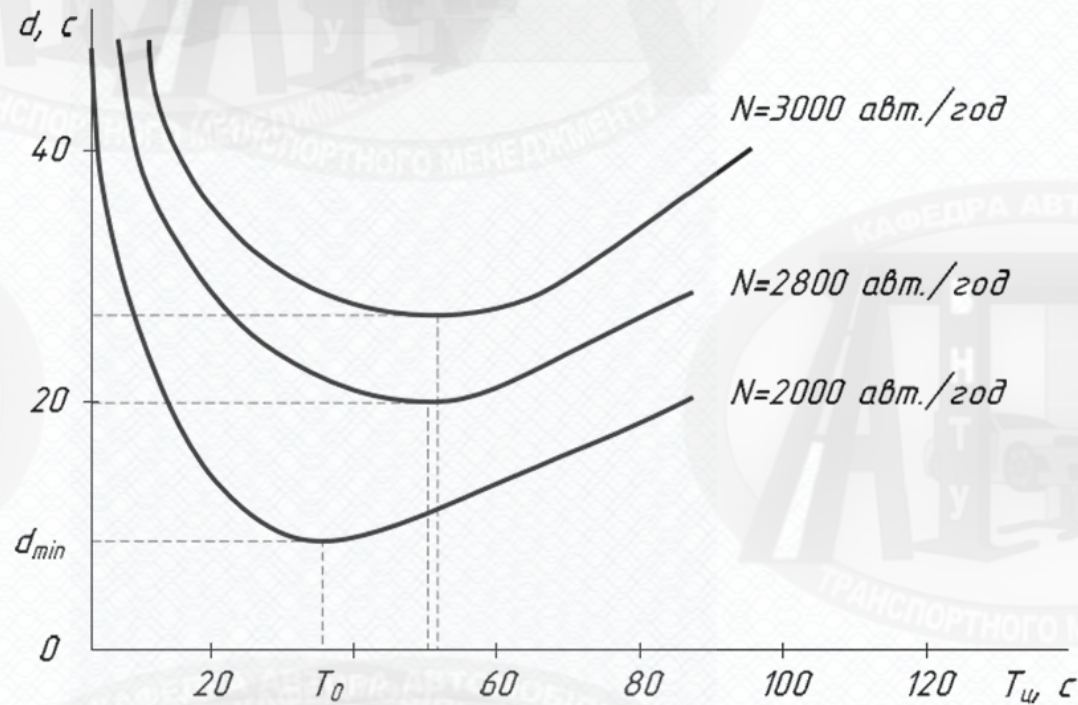
$$t_{\text{з}} = \frac{\left(T_{\text{ц}} - \sum_{i=1}^n t_{mi} \right) \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n y_i}$$

Критерії якості керування дорожнім рухом на елементах ВДМ



Визначення транспортної затримки

Залежність середньої затримки транспортних засобів від тривалості світлофорного циклу



Формула Вебстера

$$d = \frac{T_u (1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1 - x)} - 0,65 \cdot x^{2+5\lambda} \cdot \sqrt[3]{\frac{T_u}{N^2}}$$

де λ – відношення тривалості горіння зеленого сигналу до тривалості циклу;

x – ступінь насичення напрямку руху;

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

Результати розрахунку існуючих показників організації дорожнього руху

Напрямок	Середня довжина черги, авт	Інтенсивність руху, авт/с	Потік насичення, авт/с	Ступінь насичення напрямку руху	Питома затримка, с
I-II	14	0,081	0,156	1,500	293,9
I-III	26	0,197	0,63	0,903	143,5
I-IV	10	0,036	0,148	0,703	217,2
II-I	12	0,044	0,209	0,608	227,8
II-III	16	0,082	0,182	1,302	343,5
II-IV	22	0,144	0,436	0,954	206,4
III-I	37	0,236	0,77	0,885	162,9
III-II	11	0,093	0,378	0,711	106,2
III-IV	9	0,051	0,141	1,045	210,5
IV-I	21	0,070	0,218	0,928	368,8
IV-II	18	0,166	0,473	1,014	163,1
IV-III	8	0,053	0,309	0,496	115,2

Запропонована схема пофазового роз'їзду

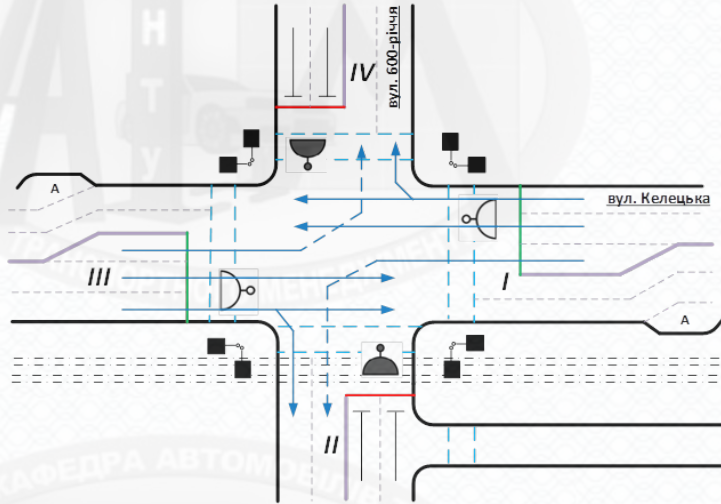


Схема руху на перехресті у фазі 1

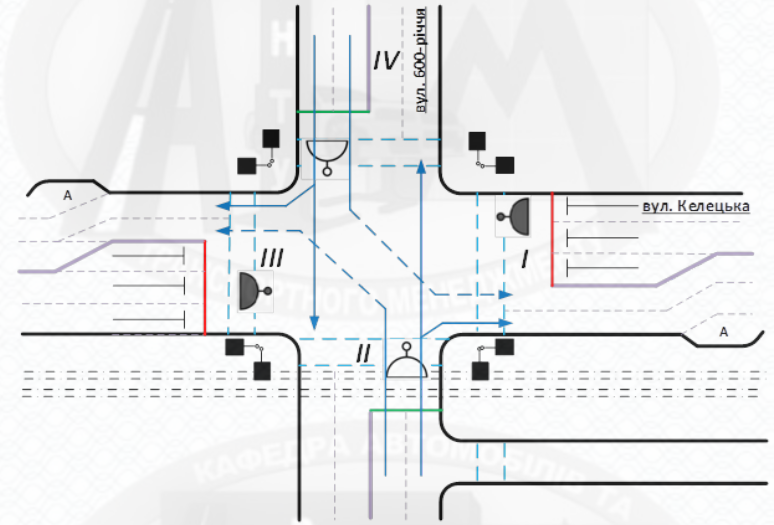


Схема руху на перехресті у фазі 2

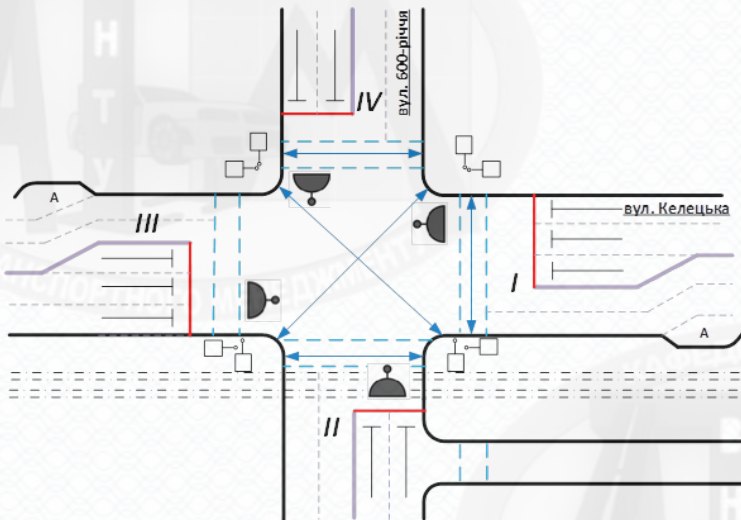
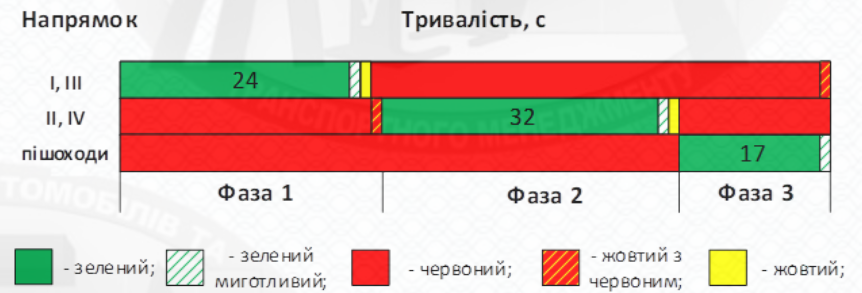
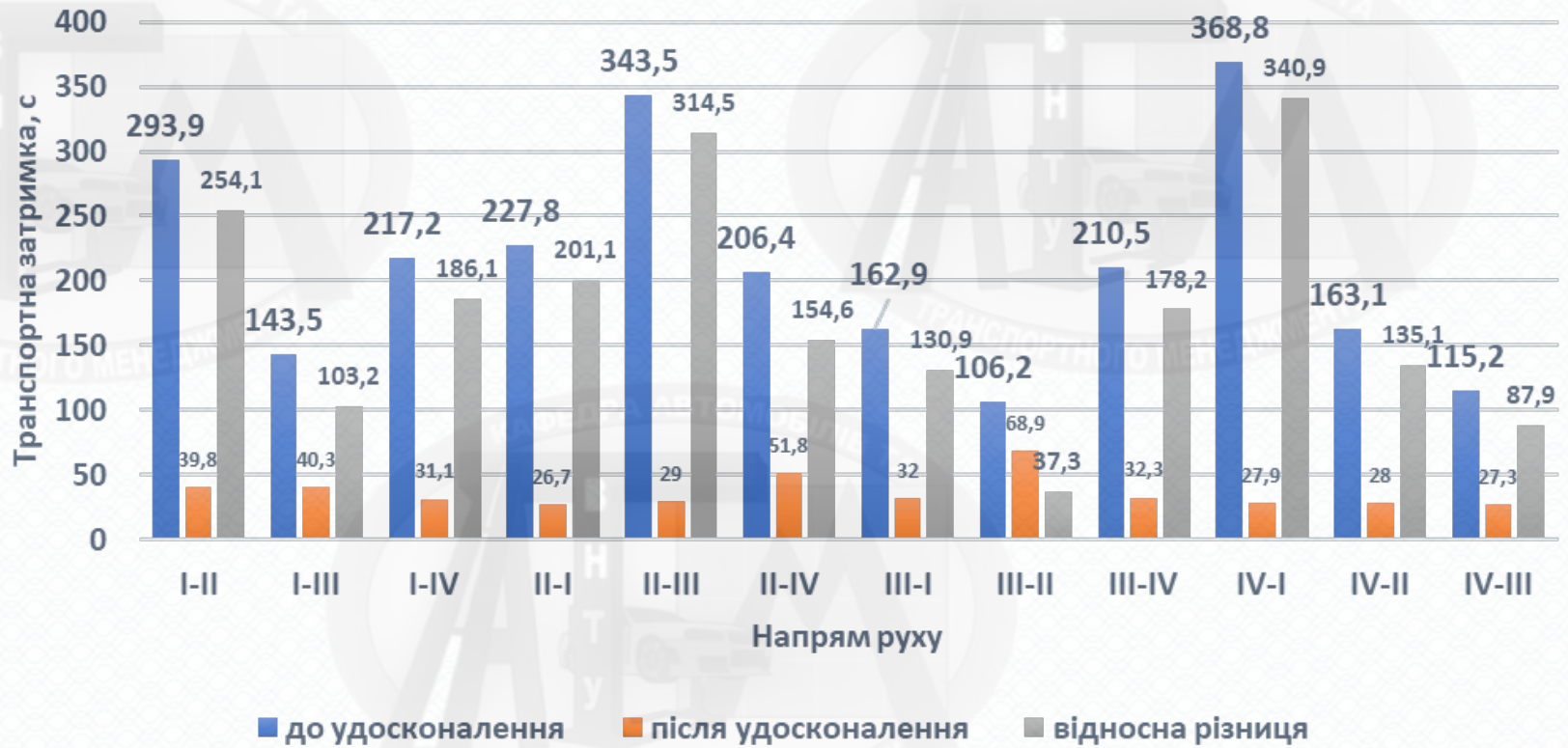


Схема руху на перехресті у фазі 3 (пішохідна фаза)

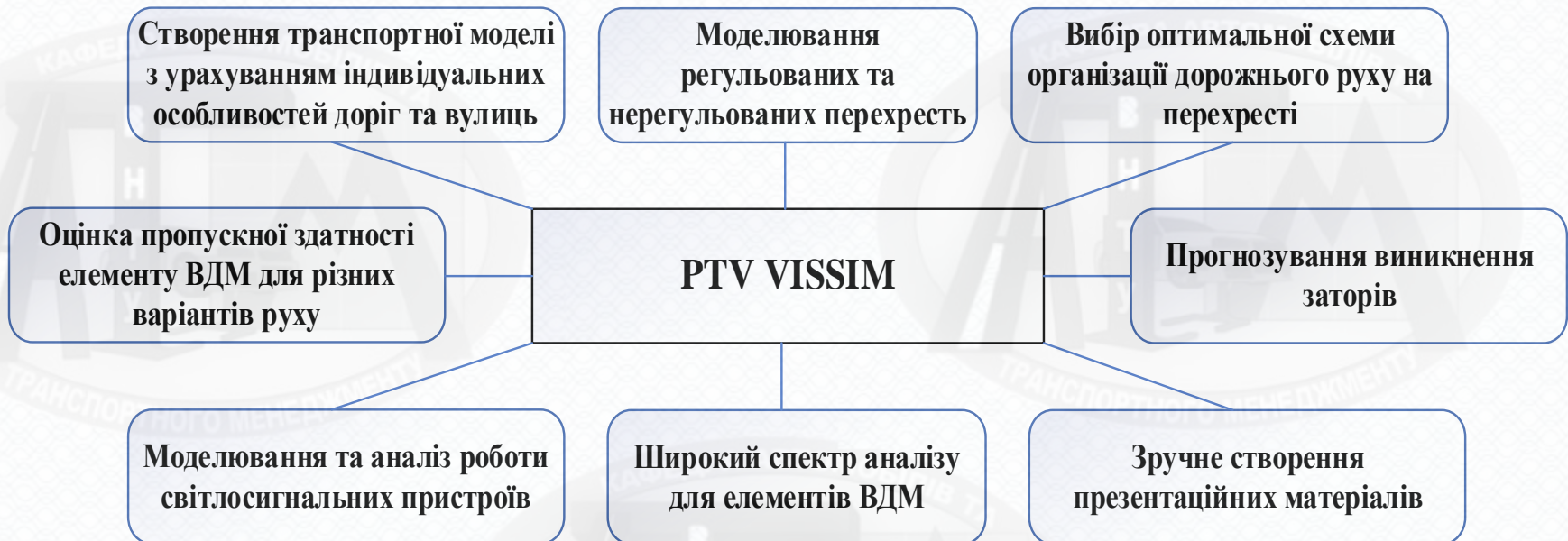


Циклограма існуючого світлофорного регулювання

Порівняння показників організації дорожнього руху до та після вдосконалення



Програмне забезпечення для розробки імітаційної моделі



Списки результатов анализа модели у PTV Vissim

Результаты времени задержек								Результаты очередей							
281 / 54...	Ци...	ИнтВр	Изм...	ВрП	Останов...	ТСЗадерж(...)	ТС(В...	ВрЗадержки(...)	Число: 62400	ЦиклИмит	ИнтВр	СчЗат	ДлЗат	ДлЗатМакс	ОстЗат
118	6	310-3...	7	20,85	2,00	34,14	1		8826	2	503-5...	2	41,23	41,69	0
119	6	410-4...	6	179,06	5,00	206,30	1	2	8827	2	503-5...	3	34,25	34,62	0
120	6	410-4...	7	83,12	1,00	96,76	1		8828	2	503-5...	4	37,08	37,82	0
121	6	420-4...	6	82,70	1,00	90,01	2		8829	2	503-5...	5	40,46	40,46	0
122	6	420-4...	7	84,52	2,00	100,84	2	1	8830	2	503-5...	6	40,50	40,50	0
123	6	430-4...	6	35,19	2,20	49,99	5		8831	2	503-5...	7	40,44	40,44	0
124	6	430-4...	7	51,60	2,50	100,843954	6		8832	2	503-5...	8	0,00	0,00	0
125	6	440-4...	7	29,34	2,00	48,25	1		8833	2	504-5...	1	40,87	41,05	0
126	6	530-5...	6	86,22	1,50	99,31	2		8834	2	504-5...	2	40,70	40,89	1
127	6	530-5...	7	88,70	1,67	101,13	3	1	8835	2	504-5...	3	33,85	33,95	1
128	6	540-5...	6	85,80	1,60	97,83	5		8836	2	504-5...	4	35,26	36,09	0
129	6	540-5...	7	44,45	0,50	50,76	2		8837	2	504-5...	5	40,46	40,46	0
130	6	550-5...	7	46,12	2,50	60,13	2		8838	2	504-5...	6	40,50	40,50	0
131	7	60-70	6	24,73	1,00	35,68	5		8839	2	504-5...	7	40,44	40,44	0
132	7	170-1...	6	97,24	2,00	111,71	1	1	8840	2	504-5...	8	0,00	0,00	0
133	7	170-1...	7	88,20	1,00	101,95	1	1	8841	2	505-5...	1	40,10	40,49	0
134	7	180-1...	6	90,84	1,25	105,17	4	1	8842	2	505-5...	2	39,93	40,32	1
135	7	180-1...	7	94,26	1,67	105,26	3	1	8843	2	505-5...	3	33,80	33,80	0
136	7	190-2...	6	35,33	1,80	47,00	5		8844	2	505-5...	4	33,20	34,23	0
137	7	190-2...	7	86,44	2,33	102,61	3	1	8845	2	505-5...	5	40,46	40,46	0
138	7	290-3...	6	101,64	2,00	116,16	2	1	8846	2	505-5...	6	40,50	40,50	0
139	7	300-3...	6	90,09	1,75	101,35	4	1	8847	2	505-5...	7	40,44	40,44	0

Візуалізація роботи імітаційної моделі досліджуваного перехрестя



Основні висновки по роботі

Виконано аналіз існуючого стану організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниця. Режим роботи світлофорної сигналізації на досліджуваному перехресті не враховує реальну ситуацію із завантаженістю напрямків руху транспорту, оскільки спостерігаються значні черги у години пік під час виїзду транспортних засобів з вулиці 600-річчя на вулицю Келецьку. Також, завантаженим перетином перехрестя є III перетин, оскільки з даного напрямку рухається значний транспортний потік у ранішню годину пік в напрямку до центру міста по вулиці Келецькій, яка є однією з магістральних вулиць міста Вінниця. Проведений облік інтенсивності руху транспортного потоку надав можливість виявити склад потоку, за яким легкові автомобілі є переважаючими і на 73 % транспортний потік через досліджуване перехрестя – легковий.

З метою оцінювання ефективності впровадження змін на регульованих перехрестях використовують різні критерії якості управління дорожнім. При значній інтенсивності дорожнього руху, критеріями можуть бути: тривалість поїздки, транспортні затримки та пропускна здатність перехрестя.

На досліджуваному перехресті транспортні потоки повністю використовують пропускну здатність перехрестя по перетинам, їх рівні завантаження перевищують допустимі, що пояснює утворення черг на всіх перетинах у години «пік». Існуюча пропускна здатність досліджуваного перехрестя – 4594 авт/год.

Найбільш насичені напрямки руху на досліджуваному перехресті – I-II (виїзд з вулиці Келецької від центру міста на вулицю 600-річчя); та II-III (виїзд з вулиці 600-річчя від вулиці А. Первозванного на вулицю Келецьку в напрямку від центра міста). Найбільші питомі транспортні затримки отримали за напрямками II-III – 343,5 с та IV-I – 368,8 с. Ці напрямки є лівоповоротними на виїзд з вулиці 600-річчя.

Для збільшення пропускної здатності досліджуваного регульованого перехрестя у перетинах I та III пропонується збільшити кількість смуг на в'їзд до перехрестя, а саме додати на вказаних перетинах по 1 смузі для повороту ліворуч за напрямками I-II та III-IV відповідно. В перетині II, у лівій смузі дозволити лише поворот наліво (напрямок II-III), в перетині IV у лівій смузі також дозволити лише поворот наліво (напрямок IV-I).

Запропоновані заходи з удосконалення організації дорожнього руху надають можливість зменшити питомі транспортні затримки в цілому, наприклад за напрямками IV-I (з 368,8 с до 27,9 с) та II-III (з 343,5 с до 29,0 с). Запропоновано такі параметри світлофорного регулювання на досліджуваному перехресті: тривалість циклу – 88 с; тривалість 1-ї фази – 30 с, з дозвільним сигналом – 24 с; тривалість 2-ї фази – 38 с, з дозвільним сигналом – 32 с; тривалість 3-ї (пішохідної) фази – 20 с. Розрахункова пропускна здатність досліджуваного перехрестя, після впровадження запропонованих рішень збільшується на 9% до 5040 авт/год. Аналіз якості вдосконаленої схеми організації дорожнього руху на перехресті дозволив визначити тривалість транспортної затримки у перетині вулиці Келецька, яка становить 50,5 с, що менше транспортної затримки до вдосконалення на 93 с.

Створена імітаційна модель перехрестя у програмному комплексі PTV Vissim підтвердила адекватність запропонованих рішень щодо удосконалення організації та регулювання дорожнього руху на досліджуваному перехресті.

Питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях – опрацьовані.

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Вдосконалення організації дорожнього руху на перехресті вулиці 600-річчя та вулиці Келецька міста Вінниці

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

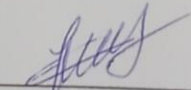
Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

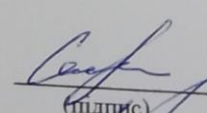
Оригінальність 82 % Схожість 18,0 %

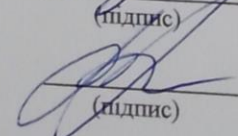
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Цимбал О.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  Осьмірко С.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Кашканов В.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)