

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Вдосконалення організації дорожнього руху на елементах вулично-
дорожньої мережі міста Вінниці (на прикладі перехрестя вулиця Пирогова -
вулиця Зодчих)»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ТТ-20м
спеціальності 275 – Транспортні технології
(за видами), спеціалізація 275.03 –
Транспортні технології (на автомобільному
транспорті)

_____ Лужанський Д.М.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ

_____ Кашканов В.А.

« ____ » _____ 2021 р.

Опонент: _____

« ____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

_____ к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« ____ » _____ 2021 р.

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.

«___» _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лужанському Дмитру Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення організації дорожнього руху на елементах вулично-дорожньої мережі міста Вінниці (на прикладі перехрестя вулиця Пирогова - вулиця Зодчих)

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

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

затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2021 року № 277.

2. Строк подання студентом роботи: 08.12.2021 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. Пирогова – вул. Зодчих м. Вінниця; особливості руху транспортних потоків в умовах міста; засоби організації дорожнього руху на перехресті вул. Пирогова – вул. Зодчих м. Вінниця; об'єкт дослідження – управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі міста. похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

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

1. Обґрунтування актуальності підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста.

2. Теоретичні дослідження методів вдосконалення організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі.

3. Аналіз стану організації дорожнього руху на перехресті вулиця Пирогова - вулиця Зодчих міста Вінниця.

4. Розробка заходів з удосконалення організації дорожнього руху та їх моделювання у PTV Vissim.

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 Аналіз факторів, що впливають на транспортний потік.

5 Фактори, що впливають на ефективність функціонування ВДМ.

6 Вибір програмного забезпечення для реалізації мети кваліфікаційної роботи.

7 Типова добова зміна інтенсивності руху транспортного потоку.

8 Розрахунок основних параметрів світлофорного управління

9 Критерії якості керування дорожнім рухом на елементах ВДМ.

10 Визначення транспортної затримки.

11 Ілюстрація візуалізації досліджуваного перехрестя.

12 Схема організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті.

13 Картка обліку інтенсивності руху транспортного потоку.

14 Діаграма складу транспортного потоку.

15 Схеми пофазного роз'їзду перехрестя.

16 Циклограма світлофорного регулювання перехрестя.

17 Списки результатів аналізу моделі у PTV Vissim.

18 Візуалізація роботи імітаційної моделі досліджуваного перехрестя.

19 Основні висновки по роботі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Розв'язання основної задачі | Кашканов В.А., доцент кафедри АТМ | | |
| Економічна частина | Макарова Т.В., доцент кафедри АТМ | | |
| Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | Дембіцька С.В., професор кафедри БЖДПБ | | |

7. Дата видачі завдання « 27 » вересня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1 | Вивчення об'єкту та предмету дослідження | 27.09-04.10.2021 | |
| 2 | Аналіз відомих рішень, постановка задач | 27.09-04.10.2021 | |
| 3 | Обґрунтування методів досліджень | 27.09-04.10.2021 | |
| 4 | Розв'язання поставлених задач | 05.10-15.11.2021 | |
| 5 | Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів | 16.11-30.11.2021 | |
| 6 | Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» | 08.11-21.11.2021 | |
| 7 | Виконання розділу «Економічна частина» | 08.11-21.11.2021 | |
| 8 | Нормоконтроль МКР | 01.12-08.12.2021 | |
| 9 | Попередній захист МКР | 09.12-10.12.2021 | |
| 10 | Рецензування МКР | 13.12-17.12.2021 | |
| 11 | Захист МКР | 20.12-24.12.2021 | |

Студент

(підпис)

Лужанський Д. М.

Керівник роботи

(підпис)

Кашканов В. А.

АНОТАЦІЯ

УДК 656.11

Лужанський Д.М. Вдосконалення організації дорожнього руху на елементах вулично-дорожньої мережі міста Вінниці (на прикладі перехрестя вулиця Пирогова - вулиця Зодчих). 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: 2021. 102 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 53 назв; рис.: 34; табл. 10.

У магістерській кваліфікаційній роботі вдосконалено організацію дорожнього руху на перехресті вулиця Пирогова - вулиця Зодчих міста Вінниця. Виконано імітаційне моделювання організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті у програмному середовищі PTV Vissim. У загальній частині роботи обґрунтовано актуальність підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста. Проведено теоретичні дослідження методів вдосконалення організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі. Виконано аналіз стану організації дорожнього руху на перехресті вулиця Пирогова - вулиця Зодчих міста Вінниця. Розроблено заходи з удосконалення організації дорожнього руху та їх моделювання у PTV Vissim.

Графічна частина складається з 19 слайдів із результатами моделювання.

У розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях опрацьовано такі питання, як аналіз потенційних небезпек при роботі дослідника транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста; наїзд на пішохода: обов'язки водія та пішохода; забруднення повітря вихлопними газами автомобілів; транспортний шум, оцінку рівня транспортного шуму та заходи щодо його зниження.

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

ABSTRACT

Luzhansky D.M. Improving the organization of traffic on the elements of the street and road network of the city of Vinnytsia (for example, the intersection of Pirogov Street - Architect Street). Master's degree in specialty 275 - Transport Technology (by type), specialization 275.03 - Transport Technology (road transport) educational and professional program - Transport Technology in road transport. Vinnytsia: VNTU: 2021. 102 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 53 titles; fig.: 34; table 10.

In the master's qualification work the organization of traffic at the intersection of Pirogova Street and Zodchykh Street in Vinnytsia was improved. Simulation modeling of traffic organization at the investigated intersection in the software environment PTV Vissim was performed. In the general part of the work the urgency of increasing the efficiency of the city road network is substantiated. Theoretical researches of methods of improvement of the organization of traffic on a street and road network are carried out. An analysis of the state of traffic organization at the intersection of Pyrohova Street and Zodchykh Street in Vinnytsia was performed. Measures have been developed to improve the organization of traffic and their modeling in PTV Vissim.

The graphic part consists of 19 slides with simulation results.

The section on labor protection and safety in emergency situations deals with such issues as the analysis of potential hazards in the work of the researcher of traffic flows on the street and road network of the city; pedestrian collision: responsibilities of driver and pedestrian; air pollution by car exhaust; traffic noise, assessment of traffic noise level and measures to reduce it.

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

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| ВСТУП | 3 |
| РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА | 5 |
| 1.1 Аналіз елементів вулично-дорожньої мережі міста та її структури | |
| 1.2 Закономірності руху транспортних потоків і виникнення заторів | 11 |
| 1.3 Фактори, які впливають на функціонування вулично-дорожньої мережі | 16 |
| 1.4 Вибір програмного забезпечення для реалізації мети кваліфікаційної роботи | 20 |
| Висновки до розділу 1 та постановка задач дослідження | 22 |
| РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ | 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. АНАЛІЗ СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ ВУЛИЦЯ ПИРОГОВА - ВУЛИЦЯ ЗОДЧИХ МІСТА ВІННИЦЯ | 44 |
| 3.1 Характеристика досліджуваного перехрестя | 44 |
| 3.2 Облік інтенсивності руху транспортного потоку | 49 |
| 3.3 Дослідження режиму роботи світлофорного регулювання на перехресті | 54 |
| 3.4 Оцінка пропускнуої здатності перехрестя | 59 |
| 3.5 Аналіз якості схеми організації дорожнього руху на перехресті | 65 |
| Висновки до розділу 3 | 68 |

| | |
|--|------------|
| РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З УДОСКОНАЛЕННЯ | |
| ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ТА ЇХ МОДЕЛЮВАННЯ У | |
| PTV VISSIM | 69 |
| 4.1 Розрахунок оптимальної тривалості світлофорного циклу та дозвільних сигналів у фазах регулювання | 69 |
| 4.2 Аналіз якості вдосконаленої схеми організації дорожнього руху на перехресті | 72 |
| 4.3 Побудова моделі перехрестя в програмному середовищі PTV Vissim .. | 73 |
| 4.3.1 Моделювання дорожнього полотна | 73 |
| 4.3.2 Розгляд конфліктних зон | 74 |
| 4.3.3 Введення інтенсивностей та складу транспортних і пішохідних потоків | 76 |
| 4.3.4 Введення в створювану модель можливих маршрутів ТЗ та громадського транспорту | 77 |
| 4.3.5 Імітація моделі та формування необхідного списку результатів моделювання | 79 |
| Висновки до розділу 4 | 82 |
| РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ | |
| СИТУАЦІЯХ | 83 |
| 5.1 Аналіз потенційних небезпек при роботі дослідника | 83 |
| 5.2 Наїзд на пішохода: обов'язки водія та пішохода | 84 |
| 5.3 Забруднення повітря вихлопними газами автомобілів | 86 |
| 5.4 Транспортний шум | 89 |
| 5.5 Оцінка рівня транспортного шуму та заходи щодо його зниження | 91 |
| Висновки до розділу 5 | 93 |
| ВИСНОВКИ | 94 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 96 |
| ДОДАТКИ | 102 |
| Додаток А. Технічне завдання | |
| Додаток Б. Ілюстративна частина | |

ВСТУП

Актуальність теми. При зростаючих темпах автомобілізації гостро постає проблема ефективності функціонування саме вулично-дорожньої мережі міст [23-25]. Для пошуку шляхів вирішення даної проблеми необхідно проаналізувати основні принципи підвищення транспортно-експлуатаційних якостей існуючих автомобільних доріг і міських вулиць, забезпечення безпеки дорожнього руху на елементах вулично-дорожньої мережі та підвищення їх пропускної здатності. Для підвищення ефективності роботи транспортних засобів у міському середовищі, швидкості доставки вантажів і перевезення пасажирів, комфортності і безпеки руху, а також для зниження собівартості перевезень необхідне покращення умов їхнього руху на автомобільних дорогах і міських вулицях. 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 2020-2021 рр.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – покращення показників управління дорожнім рухом на перехресті вулиця Пирогова – вулиця Зодчих міста Вінниця.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати актуальність підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста;
- виконати теоретичні дослідження методів вдосконалення організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі;

– виконати аналіз стану організації дорожнього руху на перехресті вулиця Пирогова - вулиця Зодчих міста Вінниця;

– розробити заходи з удосконалення організації дорожнього руху та їх моделювання у PTV Vissim.

– розробити заходи з охорони праці при натурних обстеженнях транспортних потоків на досліджуваному перехресті.

Об'єкт дослідження – управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі міста.

Предмет дослідження – показники управління дорожнім рухом на 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 вулиця Пирогова - вулиця Зодчих міста Вінниця та запропоновано рішення щодо їх 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 XIV міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Вінниця: ВНТУ, 25-27 жовтня 2021 року).

Публікації. Деякі результати досліджень за участі автора опубліковано в публікації [23].

РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

1.1 Аналіз елементів вулично-дорожньої мережі міста та її структури

Вулично-дорожня мережа (ВДМ) призначена для руху транспортних засобів і пішоходів. До складу ВДМ входять міські вулиці, дороги загального призначення, проїзди, тротуари, пішохідні та велосипедні доріжки, вуличні автомобільні стоянки, площі, майдани з інженерними та допоміжними спорудами і технічними засобами організації дорожнього руху [8, 36, 48].

Конфігурація ВДМ визначає планувальну структуру міста, яка також залежить від рельєфу місцевості, історичних особливостей міста, наявності водотоків тощо. Основними схемами ВДМ є: радіальна, радіально-кільцева, прямокутна, прямокутно-діагональна, трикутна, шестикутна, комбінована та довільна. На рисунку 1.1 представлені схеми ВДМ, де 1...6 – магістральні вулиці.

Радіальна схема використовується в невеликих містах (з населенням до 100 000 жителів). Розбудова подібних міст велася вздовж вулиць, які перетиналися в центрі міста. Зв'язок між периферійними районами при такій схемі дещо ускладнений, тому виникає перевантаження центру. Такі схеми використовуються тільки в малих містах з низькою щільністю транспортних потоків.

Радіально-кільцева схема є дещо удосконаленою версією радіальної схеми, має кільцеві магістралі, які призначені для забезпечення зв'язку між периферійними районами. Кількість кільцевих магістралей залежить від розмірів міста. Схеми таких міст України, як Чернігів, Львів, Івано-Франківськ можна віднести до радіально-кільцевих.

Кільцеві магістралі – це розподільні магістралі, які з'єднують радіальні магістралі та забезпечують переміщення транспортних потоків між радіальними магістралями. Вони допомагають також встановити транспортний зв'язок між окремими районами міста.

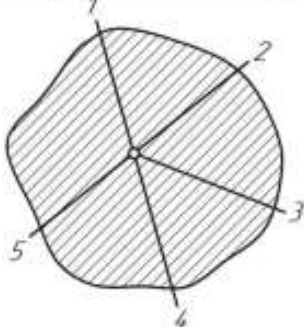
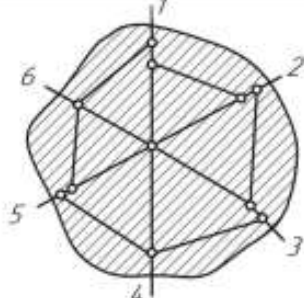

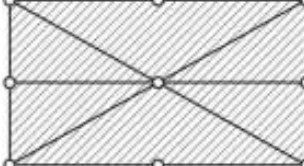
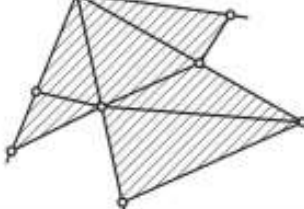
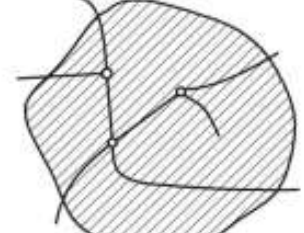
| Графічний вигляд | Назва схеми |
|---|------------------------|
|  <p>A diagram showing a central point with five lines radiating outwards to the perimeter of an irregular polygon. The lines are numbered 1 through 5. The area between the lines is shaded with diagonal lines.</p> | Радіальна |
|  <p>A diagram showing a central point with six lines radiating outwards to the perimeter of an irregular polygon. The lines are numbered 1 through 6. A ring of six nodes is connected to the radiating lines, forming a ring structure. The area between the lines is shaded with diagonal lines.</p> | Радіально-кільцева |
|  <p>A diagram showing a rectangular area divided into a grid of smaller rectangles by perpendicular lines. The area is shaded with diagonal lines.</p> | Прямокутна |
|  <p>A diagram showing a rectangular area divided into a grid of smaller rectangles by perpendicular lines. Two diagonal lines cross the grid from corner to corner. The area is shaded with diagonal lines.</p> | Прямокутно-діагональна |
|  <p>A diagram showing a triangular area divided into several smaller triangles by lines connecting the vertices to the midpoints of the opposite sides. The area is shaded with diagonal lines.</p> | Трикутна |
|  <p>A diagram showing an irregular polygonal area divided into several irregular shapes by lines connecting the vertices to the midpoints of the opposite sides. The area is shaded with diagonal lines.</p> | Довільна |

Рисунок 1.1 – Основні схеми ВДМ

Прямокутна схема є системою перпендикулярних і паралельних вулиць, вона характерна для більш сучасних міст, що розбудовувалися за задалегідь

складеним планом. До переваг такої схеми можна віднести: краща пропускна здатність мережі, можливість розосередження транспорту, зручність в орієнтуванні в процесі руху, відсутність перевантаження центральної частини міста. До недоліків такої схеми можна віднести значну віддаленість периферійних районів один від одного та від центру міста, високе значення коефіцієнту непрямолінійності – 1,25-1,29.

Використання прямокутно-діагональної схеми дозволяє зв'язати найвіддаленіші частини міста за найкоротшими напрямками. Прикладом такої схеми в Україні є місто Харків. Коефіцієнт непрямолінійності, завдяки діагоналям, знижується до 1,1...1,2. Проте, пересічення з багатьма вхідними вулицями значно погіршують розміщення будівель та організацію руху.

Трикутна схема забудови міст не набула розповсюдження через гострі кути, які виникають у пересіченнях елементів ВДМ.

Гексагональна схема заснована на використанні комбінації шестикутників. Використання такої схеми виключає утворення складних вузлів на пересіченнях магістральних вулиць та протяжних прямолінійних напрямків, що разом сприяє умовам для швидкісного руху транспорту. Нажаль, схема не набула поширення.

Комбінована схема основана на поєднанні в собі різноманітних схем. Найбільшого поширення вона набула для при забудові найзначніших міст-мегаполісів. Часто в центральних зонах таких міст зустрічається вільна, радіальна або радіально-кільцева схема, а в нових районах ВДМ будується за прямокутною чи прямокутно-діагональною схемою. Довільна схема також властива для старих міст з неупорядкованою вулично-дорожньою мережею. Для неї характерні зігнуті в плані, вузькі вулиці з частими перетинами, що є суттєвою перешкодою для організації дорожнього руху міського громадського та вантажного транспорту.

Вулично-дорожню мережу утворюють вулиці та дороги, функції яких принципово розрізняються. Функції вулиць полягають у:

– забезпеченні доступу до об'єктів масового тяжіння жителів міст, до об'єктів інфраструктури міста, до домоволодінь;

– наданні простору для переміщення пішоходів, велосипедистів, автомобілів комунальних служб, торгівлі, сервісу, громадського транспорту, легкових автомобілів населення, стоянки транспортних засобів тощо.

Автомобільна дорога – це частина території, зокрема у населеному пункті, з усіма розташованими на ній спорудами (надземними і підземними пішохідними переходами, мостами, естакадами, шляхопроводами,) та засобами організації дорожнього руху. Автомобільна дорога обмежена по ширині зовнішнім краєм тротуарів чи краєм смуги відводу та призначена для руху транспортних засобів і пішоходів.

Розв'язками на ВДМ є всі пересічення, примикання та транспортні площі, які визначають пропускну здатність ВДМ та рівень безпеки дорожнього руху [36, 48].

Перехрестя – це вузол, в якому перетинаються або зустрічаються магістралі, і хоча б дві з них взаємно з'єднуються у горизонтальній площині. Перехрестя розрізняють за категоріями вулиць, які перехрещуються, за геометричною схемою перехрещення; за способом організації дорожнього руху. Конфігурації основних видів пересічень представлені на рисунку 1.2.

Всі вузли можна розділити на групи за транспортно-планувальною характеристикою та способом організації дорожнього руху, а саме: нерегульовані; регульовані; саморегульовані (рис. 1.3).

Перехрестя міських вулиць і доріг у різних рівнях дозволяють, якщо не вирішити повністю, то, принаймні, зменшити гостроту таких проблем, як мала пропускну здатність перехрестя, значні витрати часу та низька безпека руху на ньому. Достатня пропускну здатність на такому перехресті може забезпечуватися за рахунок рознесення прямих потоків у рівнях та будівництва з'їздів для транспортних потоків, які повертають. Класифікують перехрестя за кількістю рівнів перехрестя, за повнотою розділення потоків, які повертають, та схемою організації лівоповоротного руху.

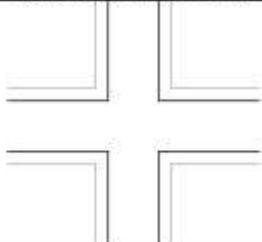
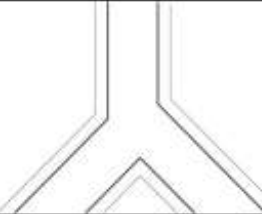

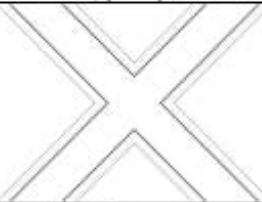
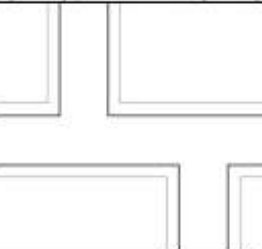


| Графічний вигляд | Вид пересічення |
|---|-------------------|
|  | Пряме |
|  | Y-подібне |
|  | T-подібне |
|  | X-подібне |
|  | Змішане |
|  | У вигляді тризуба |
|  | Складне |

Рисунок 1.2 – Основні види пересічень за конфігурацією

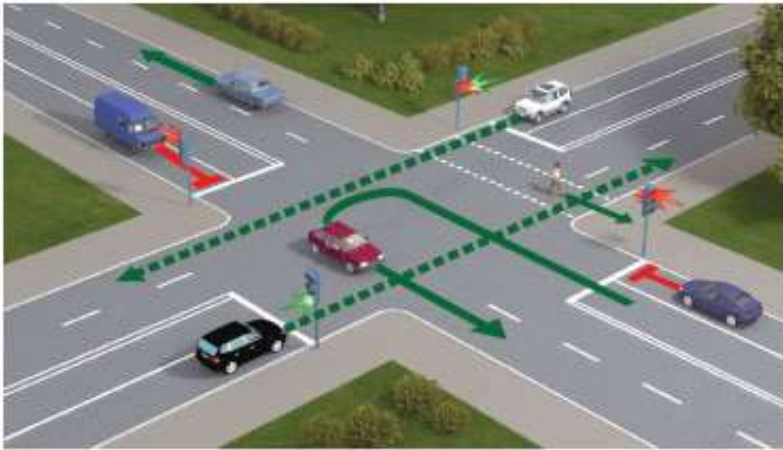


| Приклад | Вид перехрестя |
|--|-----------------------------------|
|  | <p>Регульоване перехрестя</p> |
|  | <p>Нерегульоване перехрестя</p> |
|  | <p>Саморегульоване перехрестя</p> |

Рисунок 1.3 – Регульовані, не регульовані та саморегульовані перехрестя [48]

За повнотою розділення потоків, які повертають, перехрестя бувають повні та неповні. Ті, на яких відсутні конфліктні місця називають повними, тобто в яких

кожний з потоків руху, що повертає, має по окремому з'їзду. При відсутності хоча б одного з лівоповоротних з'їздів, перехрестя відноситься до неповних і має потенційно небезпечні місця. За кількістю рівнів, перехрестя бувають з розв'язками в двох, трьох і чотирьох рівнях. Розв'язки в двох рівнях є найбільш поширеними. Транспортна розв'язка в трьох рівнях має у декілька разів дорожчу вартість побудови ніж розв'язки в двох рівнях. Залежно від повноти розв'язки і рівня гарантування безпеки руху, може значно відрізнятись вартість різних варіантів однієї і тієї ж транспортної розв'язки.

Зростання транспортного навантаження на перехрестя вимагає збільшення розмірів транспортної розв'язки. Економічна доцільність робіт з будівництва чи реконструкції транспортної розв'язки у декількох рівнях визначається порівнянням витрат на її будівництво з економією коштів за рахунок зменшення витрат від затримок транспорту та дорожньо-транспортних пригод на перехресті.

1.2 Закономірності руху транспортних потоків і виникнення заторів

Розвиток автомобілізації у світі сприяв накопиченню досвіду гарантування безпеки, ефективності та зручності дорожнього руху методами та технічними засобами організації дорожнього руху.

Всі автомобілі, які рухаються по дорогах, у сукупності створюють транспортні потоки. Транспортний потік, який рухається по ВДМ, складається з різноманітних автомобілів, що мають різні початкові та кінцеві пункти руху.

У будь-якому транспортному потоці здійснюється взаємодія між ТЗ, а саме:

- встановлюються інтервали між ТЗ, величина яких залежить від швидкості руху, дорожніх умов та індивідуальних особливостей водія;
- виконуються обгони тих ТЗ, які їдуть з меншою швидкістю;
- здійснюється гальмування ТЗ та їх зупинка, у випадку виникнення на дорозі затору.

Всі види взаємодій (обгони, встановлення інтервалів, гальмування) створюють перешкоди руху, знижують пропускну здатність, збільшують час,

який необхідний для здійснення запланованої поїздки, підвищує витрати пального тощо.

Управління складними об'єктами, до яких відносять транспортні потоки, є досить складним процесом, оскільки їх функціонування проходить під впливом зовнішнього середовища. Дослідження та розробка методів управління транспортними потоками потребують знання закономірностей поведінки транспортних потоків на ВДМ.

Головним завданням під час ефективного управління транспортними потоками є необхідність організувати дорожній рух так, щоб задоволення зростаючих автомобільних потреб, відбувалось з мінімальними людськими та екологічними втратами. Перевантаження транспортних мереж – одна з важливих соціально-економічних проблем на сьогодні, яка виникла в більшості розвинених країнах світу. Тому, актуальним завданням постає ретельне вивчення причин, які викликають виникнення дорожніх заторів.

На ступінь зручності руху автомобіля по дорозі безпосередньо впливає завантаження дороги транспортними засобами, а також на ефективність його використання. Розрізняють декілька характерних режимів транспортних потоків, залежно від завантаження дороги, пов'язуючи з ними таке поняття, як рівень зручності руху.

Режим руху характеризується швидкістю транспортних засобів (поодиноких і всього потоку), інтервалами між ТЗ в потоці (щільністю потоку), кількістю обгонів і їх траєкторіями, режимами гальмування і прискорення.

Розрізняють такі режими (транспортні потоки) [18, 38].

Вільний потік – це поодинокі автомобілі, які, рухаючись на дорозі один за одним, практично не створюють взаємних перешкод, тобто не здійснюють вплив на умови руху. Швидкість вільного потоку визначається тільки елементами траси й індивідуальними якостями водіїв. Умови роботи водія задовільні. Обґрунтовуючи вимоги до окремих елементів доріг раніше якраз і виходили з цих умов.

Частково пов'язаний потік. Рух на дорозі здійснюється окремими групами ТЗ із різними динамічними можливостями. Такі ТЗ рухаються на досить близькій відстані один за одним, і, як наслідок, тихохідний передній автомобіль затримує більш швидкохідні автомобілі до того часу, поки не з'явиться можливість здійснити обгін за допомогою виїзду на зустрічну смугу. Потім швидкохідний автомобіль рухається зі швидкістю поодинокого автомобіля доти, доки не наздожене іншу групу.

У частково пов'язаному потоці відчувається взаємний вплив ТЗ, але інтервали між ТЗ такі, що водії окремих ТЗ можуть маневрувати всередині потоку. У такому випадку знижуються середні швидкості ТЗ і ускладнюється керування ними; вважається, що умови роботи водія нормальні.

Пов'язаний потік. Рух відбувається великими групами автомобілів. Швидкість руху диктується переднім автомобілем. Передбачається здійснення значного взаємного впливу ТЗ один на одного. Обгони виконуються поодинокими автомобілями. Ризик і складність виконання маневру обгону залежить від інтенсивності руху. Погіршуються як комфортабельність руху, так і умови роботи водія.

Щільний, або насичений, потік – це більш складна форма транспортного потоку. Для нього характерні однакові швидкості й приблизно однакові відстані між прямуючими один за одним автомобілями, немає можливості обгону, тобто рух кожного автомобіля потоку пов'язаний із діями попереднього автомобіля.

Завдяки відмінностям в умовах руху для кожного із вказаних режимів руху, виникає необхідність в застосуванні для їх описування різноманітних закономірностей теорії транспортних потоків. Відомо, що інтенсивність руху ТЗ коливається в різні дні й години доби на одній і тій самій ділянці дороги, то режими руху також змінюються.

На транспортний потік здійснює вплив значна кількість різноманітних факторів [18, 29, 43] (рис. 1.4). Створення моделей транспортного потоку, які імітують дійсні ситуації певної транспортної проблеми, за допомогою визначених символів і співвідношень, виконується так, щоб моделі відтворювали дійсність.

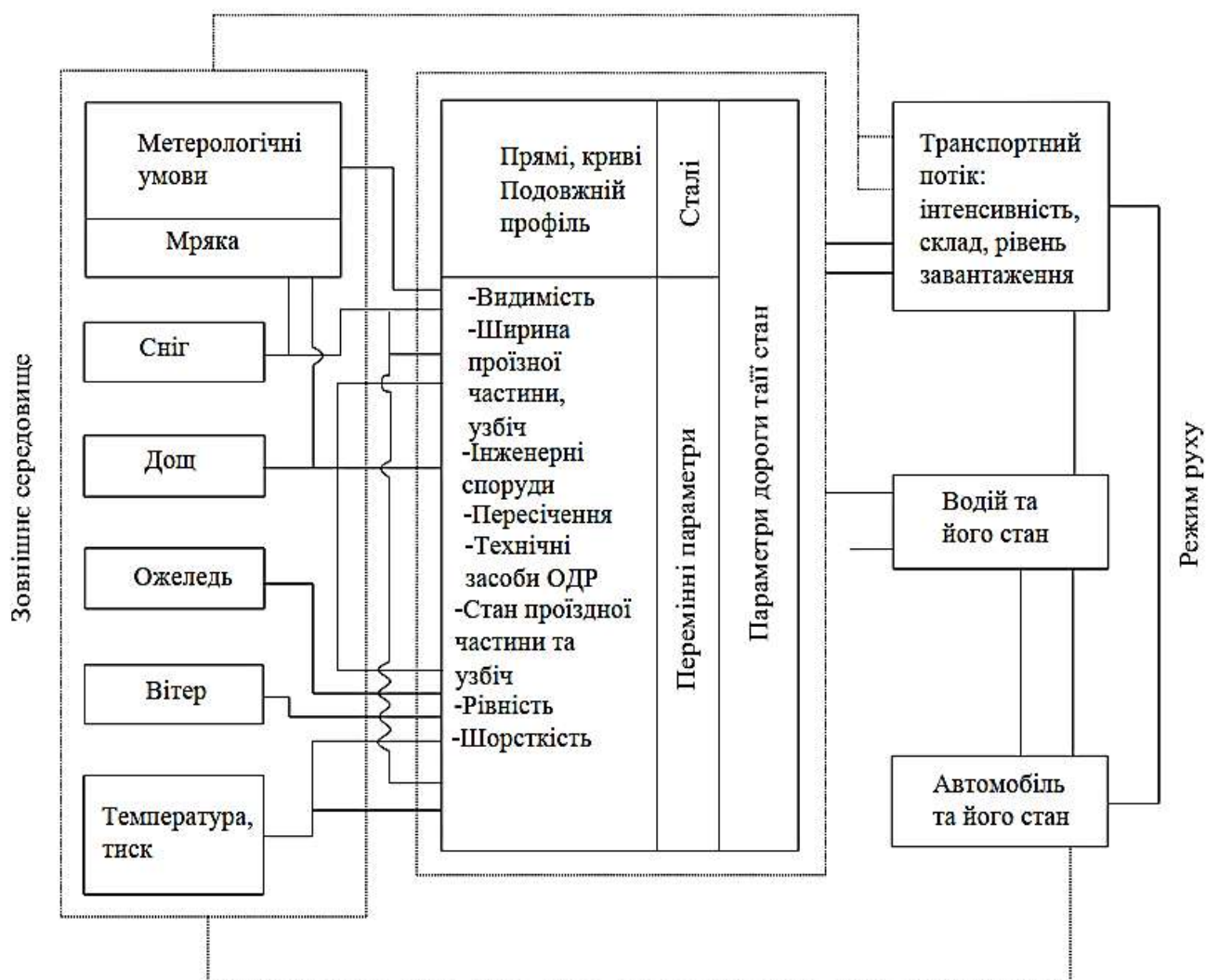


Рисунок 1.4 – Фактори, що впливають на транспортний потік [43]

Оскільки умови руху автомобілів для кожного з розглянутих режимів різні, вони описуються різними закономірностями теорії транспортних потоків. Для вирішення цієї проблеми протягом останніх шістдесяти років було створено чимало теорій і моделей.

Багато вчених робили спроби зробити математичний опис транспортного потоку. Результатом цього став широкий спектр моделей, що описують аспекти функціонування автотранспортного потоку.

Вивчення характеристик транспортного потоку та їх закономірних змін призвело до створення теорії транспортних потоків. Численні гіпотези теорії руху

моделі транспортних потоків на різних ділянках базуються на розгляді спрощених схем (моделей) і діляться на групи [48]:

1. Теорії, що ґрунтуються на динамічних моделях потоків автомобілів. Вони дають змогу досліджувати відстані між автомобілями, що прямують один за одним по одній смузі, при різних швидкостях. Автомобілі рухаються без обгонів. Одержані результати поширюються на весь потік. Ці моделі описують пов'язаний щільний або насичений транспортний потік.

2. Теорії, що ґрунтуються на ймовірнісних моделях. За цими теоріями, процеси, що відбуваються в транспортному потоці, розглядаються як випадкові, аналізується рух двох зустрічних потоків, враховуючи можливості обгонів. Ймовірнісні моделі дають змогу точніше враховувати реальні умови руху на дорозі.

Ймовірнісні моделі масового обслуговування використовують для розв'язання питань взаємодії потоків середньої інтенсивності, коли ще можливі обгони ТЗ, які рухаються по різних смугах.

Обґрунтовуючи вимоги до автомобільних доріг, найчастіше застосовують просту динамічну модель, що допускає рух ТЗ із однаковими швидкостями і на однакових відстанях.

Досконаліша теорія «рух за лідером», за якої в межах транспортного потоку відстані між автомобілями не є постійними.

3. Проведення аналогії між рухом транспортного потоку і течію в руслі в'язкої рідини спричинило появу «гідродинамічної моделі». Ця модель дає змогу досліджувати швидкості згущування і розрідження транспортних потоків при виникненні на їхньому шляху перешкоди, автомобілі рухаються з постійною швидкістю.

Рух по дорозі потоку автомобілів є своєрідним несталим процесом, в якому взаємне розташування і швидкості автомобілів увесь час міняються. Тому режим руху потоку може бути охарактеризований тільки середніми статистичними показниками. Причому, середня швидкість залежить від щільності.

Отже, основними характеристиками транспортного потоку, які описують його властивості, є: інтенсивність руху, швидкість руху, щільність потоку, склад транспортного потоку, часовий інтервал слідування, дистанція між ТЗ.

1.3 Фактори, які впливають на функціонування вулично-дорожньої мережі

Рух транспортних потоків в містах змінюється протягом періоду доби, напрямку руху (центр-околиця), складу транспортного потоку тощо. Для того, щоб врівноважити рух транспортного потоку, необхідно розуміти які фактори на нього впливають.

Інтенсивність руху транспортних потоків також визначається зміною пропускної здатності магістралей. На пропускну здатність елементів ВДМ впливає велика кількість чинників, наприклад: технічні параметри автомобільної дороги чи вулиці, організація руху на перехресті, характер руху автомобілів і т.д.. Тому, для отримання достовірних даних про пропускну здатність, повинні бути виявлені показники, які характеризують рух транспортного потоку в різних дорожніх умовах.

Розглянемо графік залежності інтенсивності та швидкості руху автомобілів (рис. 1.5). Найбільша інтенсивність проїзду ділянки дороги спостерігається при швидкості руху автомобілів 50-60 км/год. Тому, при зниженні швидкості потоку знижується інтенсивність і пропускну здатність.

Незначне зниження швидкості потоку може спостерігатися при виникненні на перегонах міських вулиць різного роду перешкод для руху (зупинки громадського транспорту, припарковані автомобілі). А, найбільше зниження швидкості, спостерігається при наближенні до перехресть з другорядними вулицями. Затори можуть утворюватися при підході до рівнозначної магістралі.

Проходження перехрестя, при достатній інтенсивності руху, може здійснюватися тільки через декілька світлофорних циклів. Зрозуміло, що на перехрестях з регульованим рухом, затримки викликаються зупинками на

червоний сигнал світлофора, проте, також негативний вплив створюється і зниженням пропускної здатності, що викликається зміною швидкісного режиму. Тобто, очевидно є нерівномірність руху транспортного потоку.

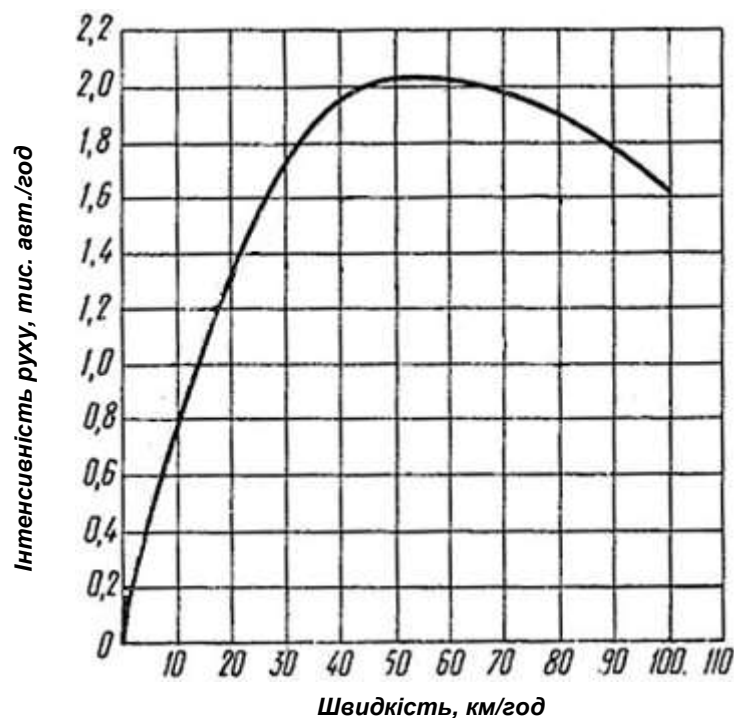


Рисунок 1.5 – Залежність інтенсивності руху від швидкості руху автомобілів [43]

Ефективність функціонування ВДМ міст багато в чому визначається швидкістю сполучення. На швидкість сполучення впливає ряд факторів, які можуть призводити до виникнення заторів на дорогах міського середовища. Фактори, які чинять вплив на ефективність функціонування ВДМ, умовно можна розділити на три групи: технічні рішення та транспортно-експлуатаційний стан вулиці, організація та управління дорожнім рухом, поведінка учасників дорожнього руху (рис. 1.6).

Суттєвий вплив на умови руху автомобілів на ВДМ має транспортна інфраструктура міста. Основна причина виникнення транспортних заторів у місті – обмеження пропускної здатності на перехрестях та наявність перешкод руху на перегонах (громадський транспорт, що зупиняється посеред проїжджої частини, припарковані на краї проїжджої частини автомобілі, і т. п.). Отже, найбільші

втрати часу руху та найбільш виражена нерівномірність руху спостерігається на ділянках ВДМ, де присутнє паркування та зупинки громадського транспорту на узбіччях вулиць і пішохідні переходи [47]. Тому, в першу чергу, необхідно звертати увагу на забезпечення рівномірності пропускної здатності елементів ВДМ, з урахуванням типу перетинів і регулювання дорожнього руху на них.

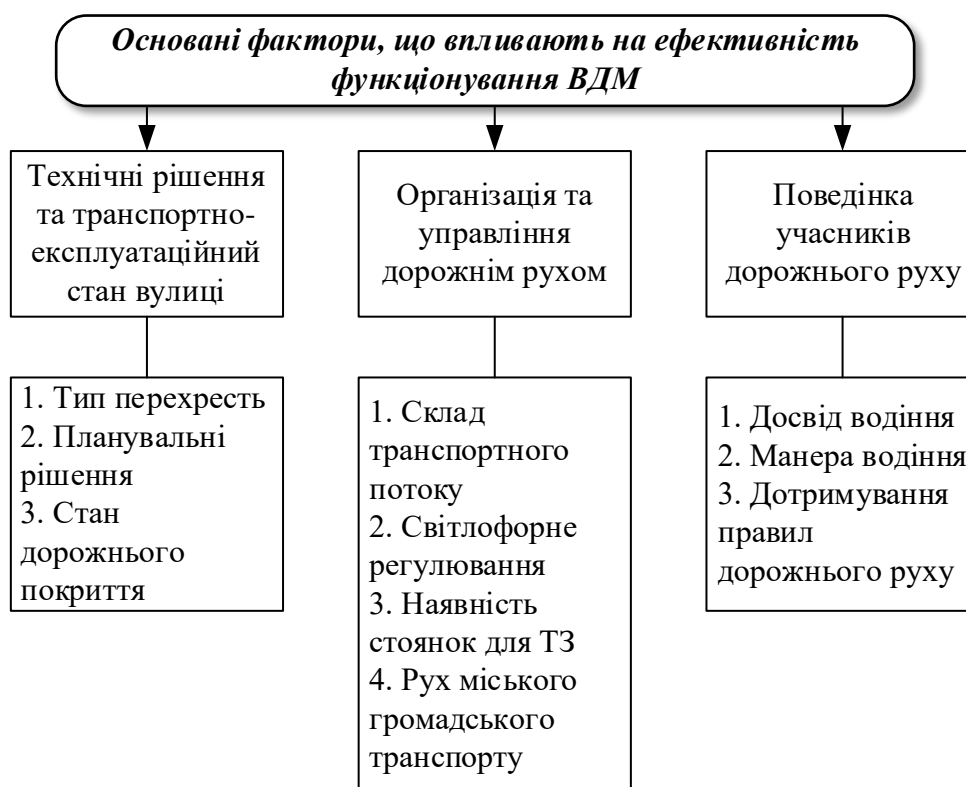


Рисунок 1.6 – Фактори, що впливають на ефективність функціонування ВДМ

Також, на пропускну здатність елементів ВДМ міста, суттєво впливає склад транспортного потоку. Склад транспортного потоку на дорозі визначають за допомогою автоматизованого або візуального обліку транспортного руху. Пропускна здатність смуги руху залежить від відстані інтервалів між автомобілями. На величину інтервалів між автомобілями впливає швидкість руху та інтенсивність руху. У разі появи в транспортному потоці вантажних автомобілів або автобусів, що рухаються з низькими швидкостями руху, спостерігається істотний перерозподіл інтервалів між автомобілями.

Рух громадського транспорту значно впливає на інтенсивність руху всього транспортного потоку. Рух автобусів в міських умовах спричинює різку зміну швидкісного режиму транспортного потоку біля зупинок, збільшення числа маневрів іншими учасниками дорожнього руху, а, отже, зміни щільності потоку [38].

Не менш важливу роль в підвищенні ефективності функціонування ВДМ має організація дорожнього руху та управління ним. Існують випадки, коли при відповідності пропускної здатності магістралі інтенсивності транспортних потоків на ній, не ефективне світлофорне регулювання на перехрестях призводить до утворення заторів.

Слід зазначити, що поведінка водіїв відноситься до факторів неупорядкованого та небезпечно руху на автомобільних дорогах. Останнім часом збільшується частка недосвідчених водіїв, що викликано темпами автомобілізації. Тобто, в складі учасників дорожнього руху присутня певна кількість учасників, які порушують правила дорожнього руху (ПДР), використовують агресивну манеру водіння, здійснюють незрозумілі маневри, що в комплексі може призводити до нестабільності транспортного потоку та підвищення аварійності на елементах ВДМ. Тобто, необхідно враховувати ступінь впливу людського фактору і створювати заходи для мінімізації його негативного впливу на ефективність функціонування елементів ВДМ. Необхідно вводити більш жорсткий контроль дотримання Правил дорожнього руху, підвищувати якість підготовки водіїв, формувати коректну поведінку всіх учасників дорожнього руху [2]. Аналіз причин дорожньо-транспортних пригод показав, що саме молоді, менш досвідчені водії в чотири рази частіше стають учасниками дорожніх пригод. Це підтверджується також анкетними опитуваннями, проведеними в деяких європейських країнах, які показали, що близько 30% аварій здійснюються недосвідченими водіями, молодше 21 року [4].

Для підвищення ефективності функціонування елементів ВДМ необхідний аналіз впливу перерахованих вище факторів. У першу чергу, необхідно здійснити оцінку зміни пропускної здатності на ділянках вулиць, потім проаналізувати

організацію руху на окремих елементах ВДМ, подивившись, наскільки ефективно організовано рух по смугах, чи раціональні заборони маневрів і т. д. У подальшому, важливо також оцінювати ефективність регулювання руху по всій протяжності магістралі, а не тільки на окремому елементі ВДМ, та визначити, наскільки скоординовано управління рухом.

1.4 Вибір програмного забезпечення для реалізації мети кваліфікаційної роботи

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 [2, 3, 17]:

- 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.

Нами було проведено аналіз сучасного програмного забезпечення з моделювання транспортних систем, серед яких можна виділити такі [23]:

- програмний пакет Emme (Канада) (<https://www.inrosoftware.com/en/products/emme/>) включає повний цикл моделювання всієї транспортної системи, починаючи від розрахунку обсягів транспортного попиту, до розрахунку характеристик транспортних потоків на ділянках ВДМ;

- програма Omnitrans (Голландія) (<https://omnitrans.org/about/about-omnitrans/>) це сучасна форма макромоделювання транспортних систем;

- програмний пакет PTV VISION (VISUM + VISSIM) (<https://company.ptvgroup.com/>) (Німеччина) складається з двох модулів, між якими здійснюється обмін даними, при цьому VISUM призначений для моделювання транспортного попиту та розподілу всіх типів поїздки за видами

транспорту, часом доби, маршрутизація поїздок, а VISSIM - це лідер ринку систем імітаційного моделювання транспортних та пішохідних потоків. Даний програмний комплекс вирішує багато завдань, серед яких: відтворення дорожньо-транспортної обстановки, планування, оптимізація, дослідження взаємодії з новими технологіями й інфраструктурою, побудова віртуальних оточень, візуалізація результатів;

– програма AIMSUN (Іспанія) (<https://www.aimsun.com/aimsun-next/>) здійснює повний цикл моделювання транспортної системи.

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. На рисунку 1.7 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.

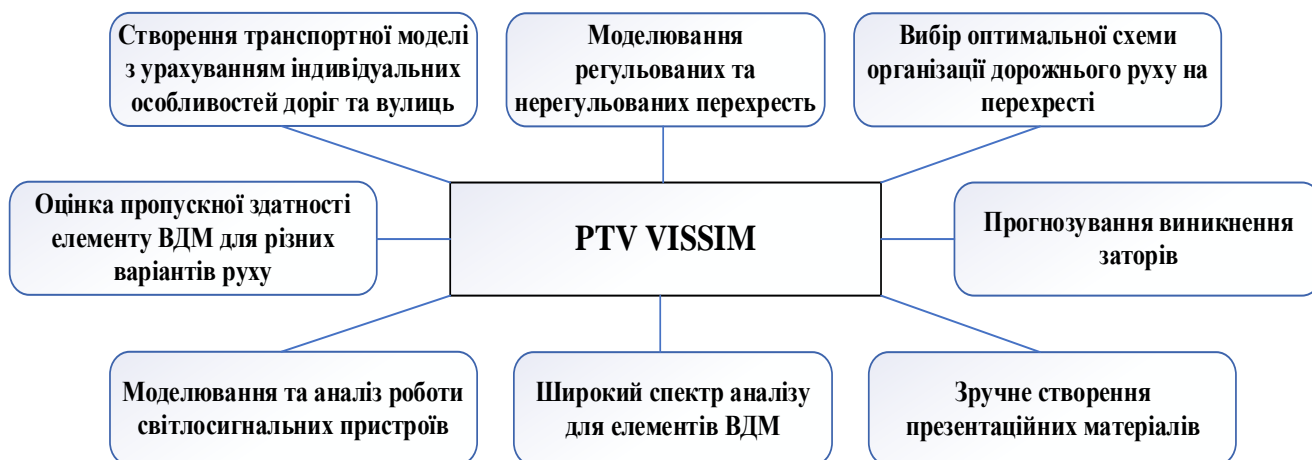


Рисунок 1.7 – Задачі, що дозволяє вирішувати PTV VISSIM [23]

У програмі реалізовано функції фіксації часу проїзду маршруту, утворення заторів, визначення тривалості очікування, рівня шуму, витрати палива, вихлопу шкідливих речовин. PTV VISSIM дозволяє врахувати відсотковий розподіл різних типів транспортних засобів у загальному потоці, а також рух пішоходів. В базовому модулі програми передбачена 2D/3D візуалізація моделювання, що дозволяє створювати презентації та відеоролики про проведену роботу.

Особливістю даної програми є безкоштовна студентська версія, що спрощує і прискорює процес її освоєння студентами. Варто зазначити, що студентська версія відрізняється від комерційної обмеженням розміру ділянки ВДМ і часу імітації. У той же час, функціонал програми залишається повноцінним, що дозволяє використовувати її у закладах вищої освіти при підготовці фахівців автомобільного профілю та підготовці ними кваліфікаційних робіт.

Висновки до розділу 1 та постановка задач дослідження

1. Затори на ВДМ великих міст України і світу вже стали звичним явищем. Накопичений раніше досвід вирішення транспортних проблем у містах на сьогодні вже не працює, оскільки принципово змінилися умови транспортного руху – значна частина ВДМ функціонує на критичних рівнях завантаження.

2. Для підвищення ефективності функціонування елементів ВДМ необхідно здійснити оцінку зміни пропускної здатності на ділянках вулиць, потім проаналізувати організацію руху на окремих елементах ВДМ, подивившись, наскільки ефективно організовано рух по смугах, чи раціональні заборони маневрів і т. д.

3. Незважаючи на велику кількість засобів імітаційного моделювання транспортних потоків, одним з найбільш популярних програмних рішень для виявлення факторів, що впливають на зародження і формування транспортних проблем і знаходження оптимальних шляхів їх врегулювання, є PTV Vissim.

Метою дослідження в даній МКР є покращення показників управління дорожнім рухом на перехресті вулиця Пирогова – вулиця Зодчих міста Вінниця.

Для досягнення мети дослідження необхідно у подальших розділах даної роботи вирішити такі завдання:

- виконати теоретичні дослідження методів вдосконалення організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі;

- виконати аналіз стану організації дорожнього руху на перехресті вулиця Пирогова - вулиця Зодчих міста Вінниця;

- розробити заходи з удосконалення організації дорожнього руху та їх моделювання у PTV Vissim.

- розробити заходи з охорони праці при натурних обстеженнях транспортних потоків на досліджуваному перехресті.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ

2.1 Формування параметрів та показників світлофорного регулювання

Управління дорожнім рухом – надзвичайно складний процес, особливо, якщо йдеться про 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, В. І. Єресов, Д. С. Самойлов, В. Т. Капітанов, Т. Хамада [14, 16, 21, 42, 44, 47, 51, 52,] 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 [46].

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 [29, 33, 37, 43]. 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 [49]. Орієнтовні періоди доцільного застосування таких типів управління (рис. 2.1) наведено у роботі [49, 52], але рішення про застосування адаптивного управління необхідно приймати у кожному конкретному випадку.

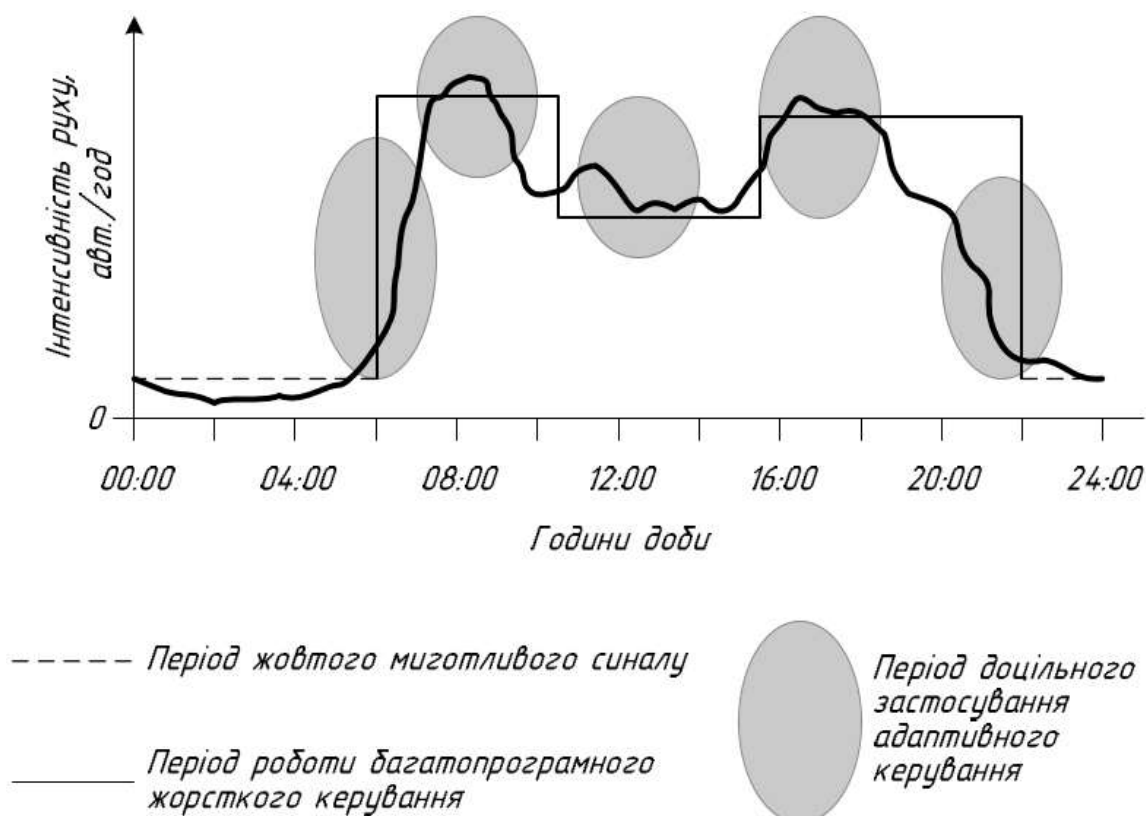


Рисунок 2.1 – Типова зміна інтенсивності руху ТП упродовж доби [49]

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 [7, 9, 11].

Тривалість світлофорного циклу T_y (с), в Україні та багатьох інших країнах, розраховують, використовуючи формулу Вебстера, яка полягає у мінімізації затримок ТЗ перед перехрестям [8, 13, 14, 18, 22, 29, 30, 32, 36, 38 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, який визначають через співвідношення

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

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 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 [49].

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 – $K_{зв} = 2,5$ [49].

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 [43]. 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 обґрунтовані 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 [49]

| 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 [29]:

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

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 останнього ТЗ з черги [27-29].

Коефіцієнти зведення за Левашевим, наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти зведення ТП до легкового автомобіля [29]

| Тип транспортного засобу | Коефіцієнти зведення, $K_{зв}$ |
|---|--------------------------------|
| 1 | 2 |
| 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 |

Продовження таблиці 2.2

| 1 | 2 |
|--|-------|
| 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 [49].

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 пропуску транспортних потоків високої інтенсивності;
- забезпечення пропускної здатності ВДМ;
- розміщення та зберігання автомобілів у місті;
- підвищення рівня 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 [22].

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 [21, 38, 44]. Слід відзначити, що одночасне виконання декількох критеріїв призводить до кращого системного ефекту, ніж сума ефектів незалежних елементів [48].

Таблиця 2.3 – Цілі, які висуваються під час проектування міських систем управління дорожнім рухом, та відповідні їм критерії якості [48]

| Мета керування | Критерії якості керування |
|--|--|
| 1 | 2 |
| 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 |

Продовження таблиці 2.3

| 1 | 2 |
|--|--|
| 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.

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.

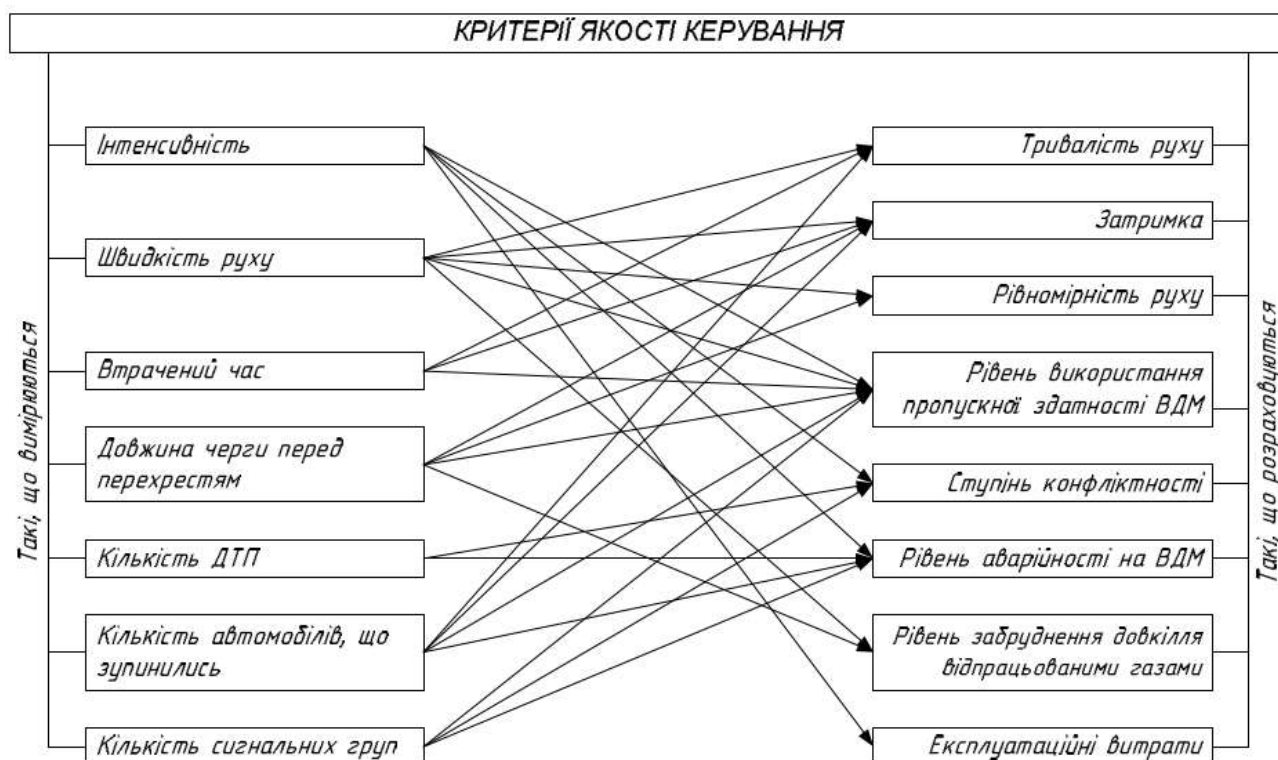


Рисунок 2.2 – Взаємозв’язок критеріїв якості керування [49]

При значній інтенсивності руху, критеріями можуть бути: тривалість поїздки, транспортні затримки та пропускна здатність [18]. Пропускную 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 [18, 49].

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 [49]. 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 необхідної 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) [48, 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 [30, 32], 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.

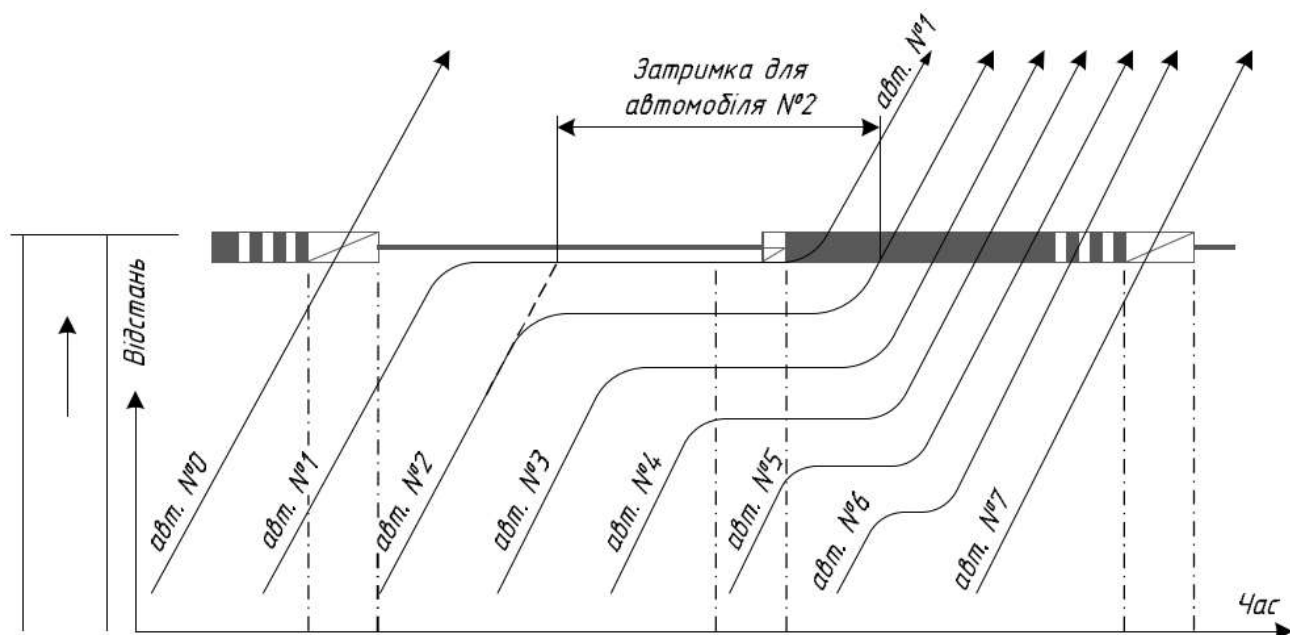


Рисунок 2.3 – Ілюстрація транспортної затримки на регульованому перехресті [49]

Таким чином, формула (2.7) вказує на те, що затримка автомобіля, який прибув до перехрестя на початку дії забороненого сигналу, рівна тривалості цього сигналу, а якщо в кінці, то рівна нулю. Дану формулу можна використовувати при рівномірних прибуттях автомобілів до перехрестя. Це реалізується лише при щільних транспортних потоках [37].

Відомо, що прибуття ТЗ до перехресть є випадковим процесом. Залежність, яка враховує випадкову природу транспортного потоку, запропонував англійський вчений Вебстер [8-10, 13, 17, 21, 29, 36, 38, 48, 49, 51, 52]:

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

де λ – відношення тривалості горіння зеленого 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 [49].

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).

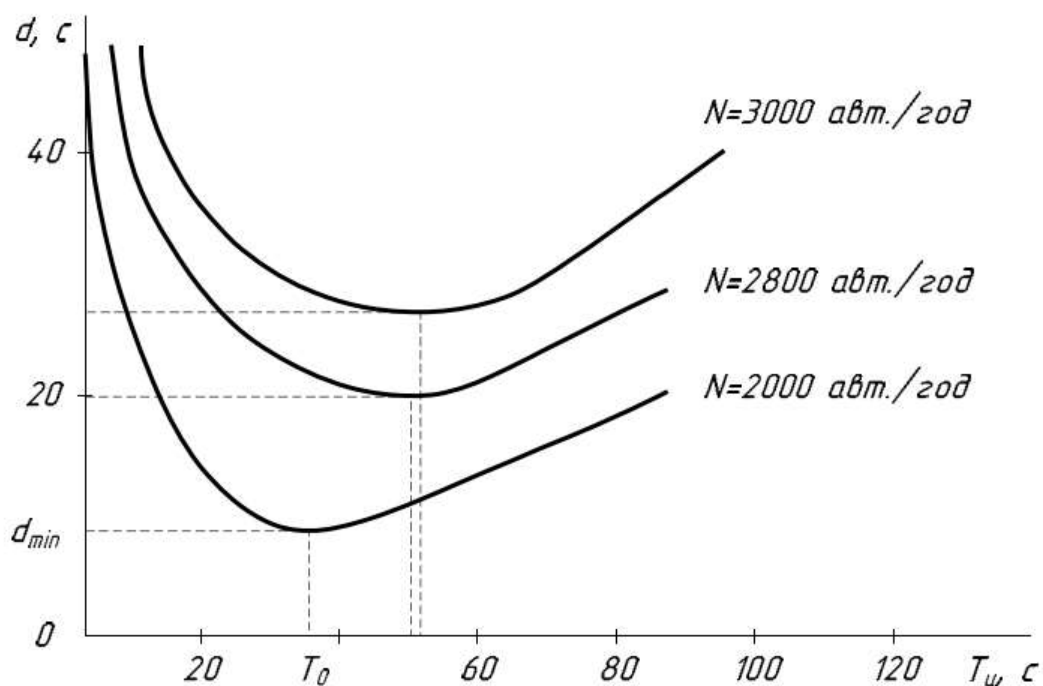


Рисунок 2.4 – Залежність середньої затримки транспортних засобів від тривалості світлофорного циклу [49]

Отже, можна зробити такі висновки [49]:

- 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 [9]:

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

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 [7], і визначається за залежністю

$$x = \frac{NT_y}{St_z}. \quad (2.10)$$

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 [7] сказано, що вона ефективно працює, якщо $x \leq 0,8$, інші науковці [27, 33] зазначають, що для забезпечення певного резерву пропускнуої здатності потрібно, щоб $x = 0,85 \dots 0,9$ (не більше). Деякі вчені [14, 22, 27] вказують на значення $x \leq 0,93$, після якого спостерігатимуться перенасичені цикли і почне утворюватися затор. Хоча, ті ж самі науковці, в іншій роботі [26] вказують на максимальне значення $x \leq 0,95$, а в роботах [37, 41], 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 [49]. Вчені використовують власний поділ, який для конкретних задач є найприйнятнішим.

Історично в моделюванні транспортних потоків склалися два основні підходи: детермінований та ймовірнісний (стохастичний) [18, 24, 26, 27]. 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 [31, 37]. 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 [18, 37, 49]. 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 [43, 49].

Отже, найбільш поширеними критеріями роботи перехрестя є:

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

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

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

Стаціонарний режим роботи перехрестя досліджують 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 [49].

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 [33], 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 [2]:

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

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 [31] 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 [45] 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 [45]. 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.
- вибрати 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

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

2. З метою оцінювання ефективності впровадження змін на ВДМ загалом та на регульованих перехрестях використовують критерії якості керування, до яких відносять транспортну затримку (середню і загальну), тривалість руху, кількість зупинок, середню швидкість руху, довжину черги (середня і максимальна), тривалість заторів, ймовірність проїзду на перший дозвільний сигнал світлофора, пропускну здатність, симетрію керування (відносно напрямків руху чи потоків, що конфліктують), ефективність використання ВДМ, викиди шкідливих речовин у довкілля, транспортний шум, витрати палива тощо.

3. 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;

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ ВУЛИЦЯ ПИРОГОВА - ВУЛИЦЯ ЗОДЧИХ МІСТА ВІННИЦЯ

3.1 Характеристика досліджуваного перехрестя

Для дослідження у даній кваліфікаційній роботі обрано перехрестя вул. Пирогова – вул. Зодчих в місті Вінниця. На ньому перетинаються одночасно транспортні та пішохідні потоки. Це зумовлено тим, що перехрестя розташоване близько до місця масового скупчення людей, оскільки знаходиться в зоні, де розташовані магазини, а також зупинки громадського транспорту.

Опис умов руху на елементах вулично-дорожньої мережі міста здійснюється за наступними показниками:

- кількість смуг руху;
- односторонній чи двосторонній рух;
- інтенсивність транспортного потоку;
- розподіл транспортного потоку;
- наявні засоби регулювання дорожнього руху;
- конфігурація циклів світлофорів;
- довжина магістралі;
- наявне обмеження швидкості.

Дане перехрестя по вулиці Пирогова містить дві смуги руху в обох напрямках та додаткову смугу для повороту праворуч на вулицю Зодчих. На вулиці Зодчих міститься три смуги для виїзду на перехрестя (додаткова смуга для повороту праворуч на вулицю Пирогова) та одну смугу на в'їзд на дану вулицю з перехрестя.

Стан дорожнього покриття у задовільному стані та не впливає на рух транспортних засобів. В досліджуваній зоні перехрестя вулицю Зодчих перетинає трамвайна колія (два напрямки руху трамваю). На рисунках 3.1-3.4 показано фотографії виїздів на досліджуване перехрестя з чотирьох напрямків.



Рисунок 3.1 – Виїзд на перехрестя з вулиці Зодчих

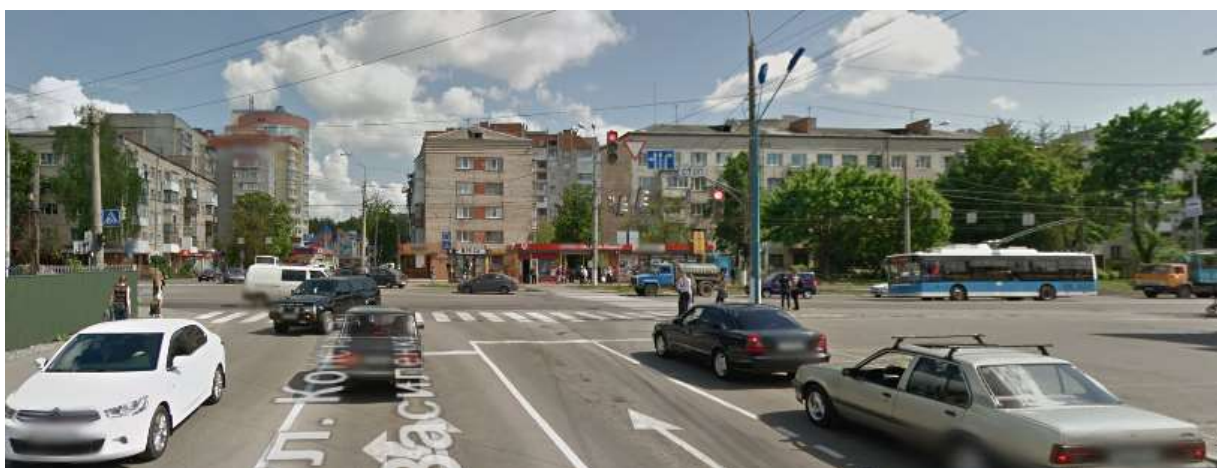


Рисунок 3.2 – Виїзд на перехрестя з вулиці Костянтина Василенка



Рисунок 3.3 – Виїзд на перехрестя з вулиці Пирогова у напрямку до центру міста



Рисунок 3.4 – Виїзд на перехрестя з вулиці Пирогова у напрямку від центру міста

По всій протяжності ділянок доріг по вулицям Пирогова та Зодчих є тротуар для безпечного руху пішоходів. Оскільки зоні досліджуваного перехрестя розміщені велика кількість магазинів, а також зупинки громадського транспорту, то рух пішоходів можна віднести до інтенсивного і необхідно забезпечувати їх безпечний перехід через проїжджу частину. Дорожня розмітка, яка позначає пішохідні переходи достатньої якості але освітлення у темну пору доби не у всіх місцях достатнє для безпечного переходу проїжджої частини. Необхідно забезпечити якісне освітлення пішохідних переходів у зоні даного перехрестя.

На досліджуваному перехресті містяться: дорожні знаки (2.1; 2.3; 5.16; 5.17.2; 5.21.1; 5.35.1; 5.62), дорожня розмітка (1.12; 1.14.1; 1.17; 1.3; 1.5), знаки зупинок громадського транспорту (5.45.1; 5.46.1), світлофори пішохідні (П 1.1) і транспортні (Т 1.1).

Для аналізу існуючого стану організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті необхідно відтворити її схему (див. рис. 3.5.). Оскільки за даною схемою можна буде оцінити наявність дорожніх знаків, розмітки та тип світлофорів, за яким відбувається регулювання потоків як транспорту так і пішоходів.

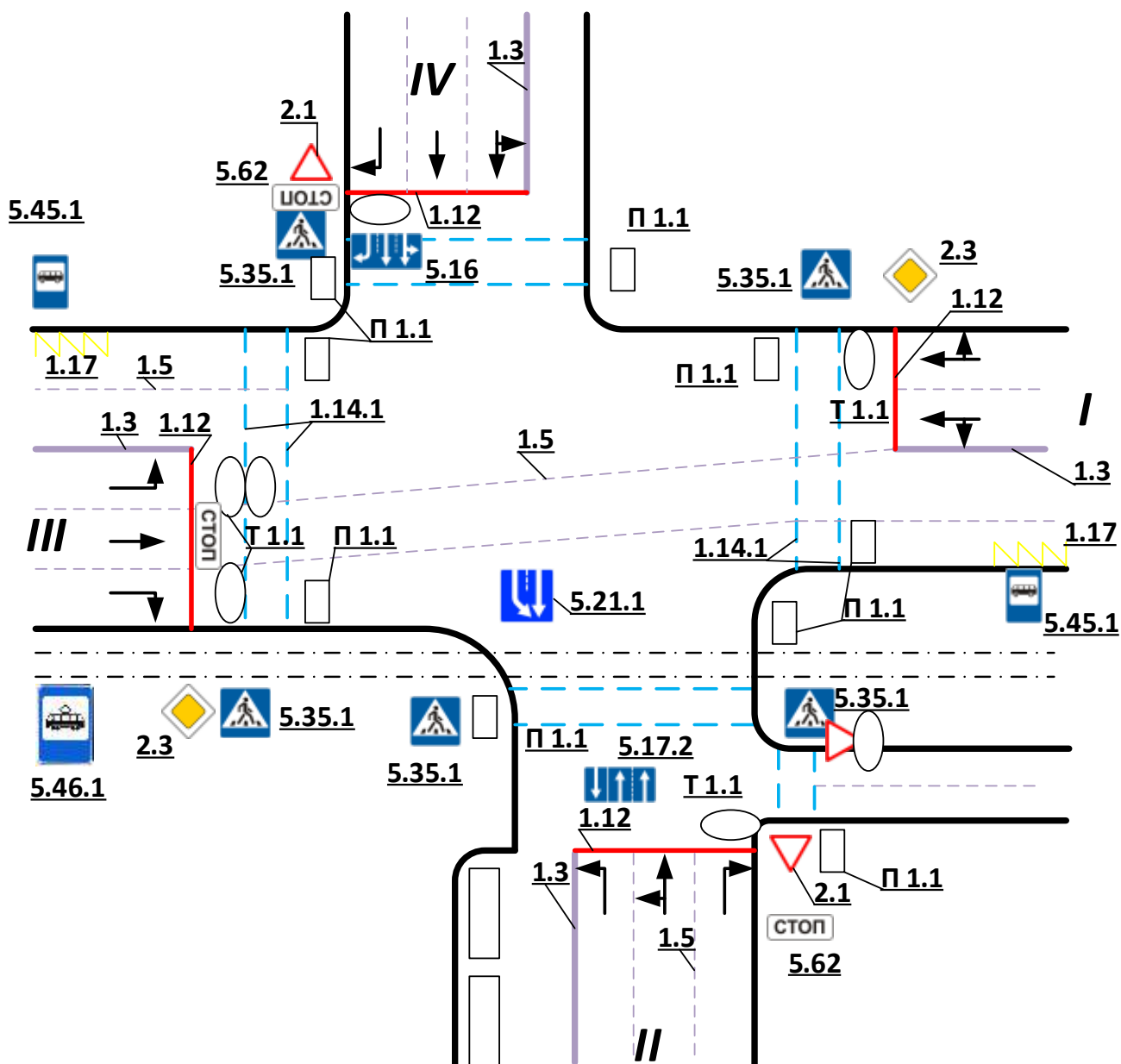


Рисунок 3.5 – Схема досліджуваного перехрестя
вулиця Пирогова – вулиця Зодчих

Аналізуючи схему зводимо всі дані про технічні засоби в специфікацію. Специфікацію технічних засобів управління дорожнім рухом на досліджуваному перехресті приведено в таблиці 3.1. Суттєвою проблемою перехрестя є значні затримки транспорту щодо перетину перехрестя у ранішні та вечірні години «пік».

Таблиця 3.1 – Специфікація технічних засобів управління дорожнім рухом на перехресті вулиця Пирогова – вулиця Зодчих

| № | 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 | 1.3 | Дві суцільних лінії | Розмітка горизонтальна |
| 5 | 1.5 | Переривчаста лінія | Розмітка горизонтальна |
| Дорожні знаки | | | |
| 1 | 2.1 | Дати дорогу | Знаки пріоритету |
| 2 | 2.3 | Головна дорога | Знаки пріоритету |
| 3 | 5.16 | Напрямок руху по смугах | Інформаційно-вказівні знаки |
| 4 | 5.17.2 | Напрямок руху по смугах | Інформаційно-вказівні знаки |
| 5 | 5.21.1 | Кінець додаткової смуги руху | Інформаційно-вказівні 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 | 5.62 | Стоп. Місце зупинки ТЗ | Інформаційно-вказівні знаки |

За даними таблиці 3.1 видно, що досліджуване перехрестя не можна відносити до простого, оскільки воно достатньо насичене технічними засобами регулювання дорожнього руху.

3.2 Облік інтенсивності руху транспортного потоку

У вітчизняній і зарубіжній практиці досліджень дорожнього руху відомо багато методів, починаючи від найпростіших, виконання яких доступно одній людині без спеціального оснащення, і закінчуючи складними і трудомісткими, вимагають застосування сучасної електронної апаратури і рухливих лабораторій. Різноманіття методів пояснюється, з одного боку, великим числом завдань, що вирішуються за допомогою організації руху, та умов, а з іншого - постійним вдосконаленням апаратури, яка застосовується для отримання первинних даних та їх обробки.

На рис. 3.6 представлена класифікація найбільш поширених методів дослідження характеристик та умов дорожнього руху, в основу якої покладено спосіб отримання необхідної інформації.



Рисунок 3.6 – Класифікація методів дослідження дорожнього руху [36, 49]

Для дослідження перехрестя у м. Вінниця використали натурний метод, який дозволяє чітко визначити інтенсивність руху транспортних засобів у години пік та порахувати кількість пішоходів у різну пору доби. Цей метод є найпростіший і водночас найпоширеніший.

Даним видом досліджень користуються у більшості країн Європи, для розвитку системи мобільності та подальшого використання даних у транспортній моделі міста.

Вони поділяються в залежності від масштабів дослідження:

- локальні;
- зональні;
- регіональні.

Локальні обстеження призначені для визначення інтенсивності, швидкості, складу потоків на перехрестях або інших ділянках.

Зональні обстеження полягають в одержанні необхідних даних по організації руху у певній зоні.

Регіональні обстеження проводяться для одержання всіх попередньо отриманих даних від регіональних і локальних досліджень та сумують значення параметрів транспортних потоків у районі, місті, області. Вони використовуються для планування транспортної інфраструктури при будівництві або реконструкції об'єктів.

Натурні обстеження можна отримати за допомогою засобів автоматичної реєстрації, а також за допомогою обліковців на постах.

Основною метою проведеного дослідження є:

- забезпечення безпеки руху пішоходів за допомогою технічних засобів організації дорожнього руху;
- безпечне розведення транспортних потоків за допомогою технічних засобів організації дорожнього руху;
- раціональне регулювання режиму світлофорної сигналізації для запобігання заторів та простоїв транспортних засобів.

Випадковим чином проводиться вибір автомобілів із транспортного потоку для виміру миттєвої швидкості руху. Попри все необхідно одержати у вибірці таку пропорцію автомобілів різних типів, яка б відтворила реальний складу транспортного потоку на досліджуваній ділянці.

У проведеному дослідженні потрібно врахувати:

- для проектування нового циклу світлофорного регулювання пішохідного руху та транспортного, тривалість обстежень на перехресті повинна становити не менше 8 год., щоб отримати максимально точні результати;

- для корекції існуючого світлофорного регулювання та його режиму тривалість обстежень може бути 1 год.

У двох випадках обстеження транспортних і пішохідних потоків проводиться одночасно.

Методика проведення обліку пішоходів:

- тривалість роботи одного обліковця не повинна перевищувати 3 год;
- обліковець відповідно до номеру посту повинен проводити обрахунок пішоходів лише в одному напрямку «до себе»;

- рахують пішоходів, які пройшли розділову смугу або осьову лінію проїзної частини і перебувають на підході до тротуару;

- результати обліку заносять в картку обліку для подальших камеральних досліджень.

- обробка даних обстеження полягає в підрахунку кількості пішоходів, що пройшли по пішохідному переходу в обох напрямках за 15-хвилинні відрізки часу.

Картка обліку містить інформацію про напрямки руху на вулицях Пирогова та Зодчих та рух по них транспортних засобів окремо у фізичних і окремо у приведених одиницях. Облік проводився 20 жовтня 2021 з 09.00 до 10.00, тривалістю в одну годину. Картка обліку інтенсивності руху транспортного потоку за напрямками на досліджуваному перехресті показано у таблиці 3.2. Напрямки руху у картці обліку співпадають з напрямками, поданими у схемі перехрестя (рис. 3.5).

Таблиця 3.2 – Картка обліку інтенсивності руху транспортного потоку за напрямками на перехресті вулиця Пирогова – вулиця Зодчих м. Вінниця

| 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, $K_n = 1,0$ | 67 | 96 | 375 | 1042 | 79 | 147 | 568 | 589 | 227 | 389 | 67 | 79 | 3725 | 3725 |
| Мікроавтобуси і вантажні автомобілі вантажністю до 2т, $K_n = 1,5$ | 16 | 24 | 46 | 93 | 16 | 61 | 62 | 79 | 27 | 73 | 31 | 22 | 550 | 825 |
| Вантажні автомобілі вантажністю 2-6т, $K_n = 2,0$ | 9 | 6 | 27 | 29 | 6 | 4 | 33 | 27 | 8 | 11 | 7 | 18 | 185 | 370 |
| Автобуси та тролейбуси $K_n = 3,0$ | 0 | 0 | 48 | 54 | 2 | 0 | 4 | 4 | 0 | 3 | 0 | 8 | 123 | 369 |
| Мотоцикли та мопеди, $K_n = 0,5$ | 6 | 12 | 18 | 19 | 9 | 9 | 14 | 18 | 7 | 11 | 5 | 6 | 134 | 67 |
| Трактори, автопоїзди, $K_n = 4,0$ | 2 | 0 | 9 | 11 | 1 | 0 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 32 | 128 |
| Вантажні автомобілі вантажністю 6-12т, $K_n = 3,5$ | 4 | 0 | 6 | 7 | 0 | 0 | 1 | 6 | 2 | 4 | 0 | 0 | 30 | 105 |
| Всього | 104 | 138 | 529 | 1255 | 113 | 221 | 685 | 727 | 271 | 491 | 110 | 135 | 4779 | 5589 |
| | 134 | 150 | 708 | 1480 | 130 | 251 | 762 | 820 | 294 | 549 | 130 | 183 | | |

За даними таблиці 3.2 формуємо діаграму складу транспортного потоку перехрестя вулиця Пирогова – вулиця Зодчих міста Вінниця (див. рис. 3.7).

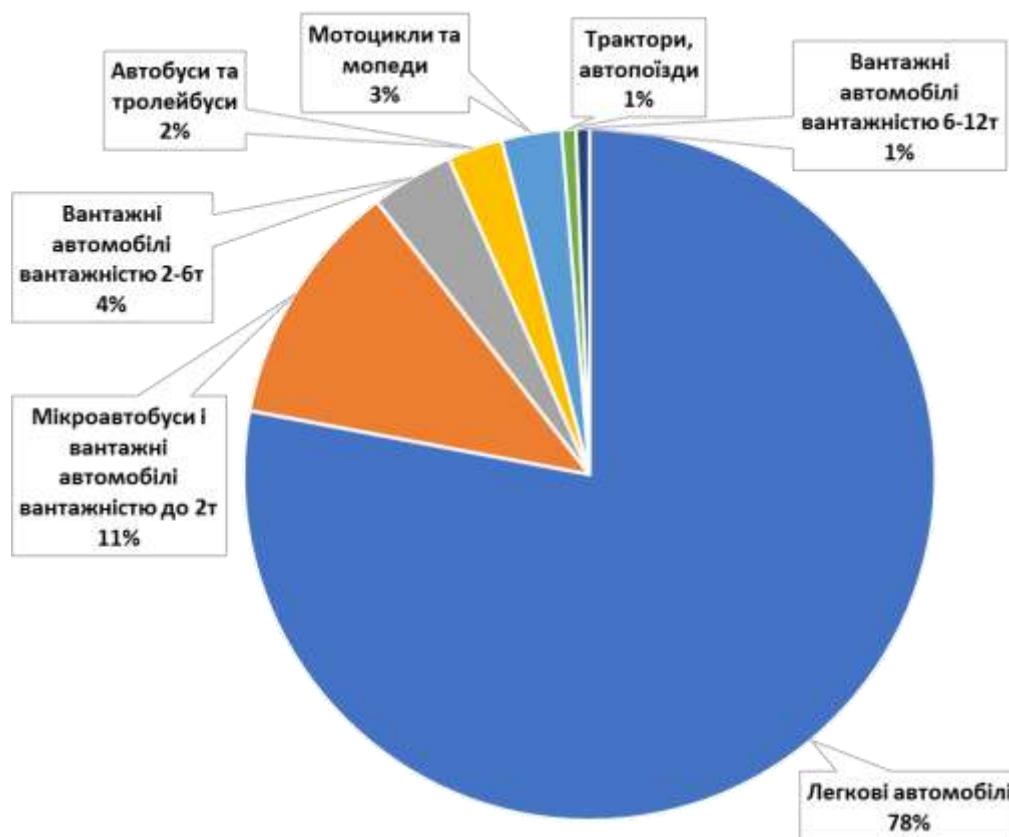


Рисунок 3.7 – Діаграма складу транспортного потоку досліджуваного перехрестя

Склад потоку транспорту – це вміст певних видів транспорту певного типу в транспортному потоці який виражають зазвичай у відсотках. Він грає 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 відрізнятись. Під час організації дорожнього руху їх поділяють на п'ять груп: автобуси, легкові автомобілі, вантажні, автопоїзди, мотоцикли. Важливим є те, яку площу займає транспортний засіб на дорозі та його габарити під час руху.

За складом потоку, що рухається по вулиці Пирогова та Зодчих можна спостерігати склад потоку в такому відсотковому співвідношенні: легкові автомобілі – 78 %, мікроавтобуси та вантажні автомобілі з вантажопідйомністю

до 2т – 11%, вантажні автомобілі з вантажопідйомністю 2-6т – 4%, вантажні автомобілі з вантажопідйомністю 6-12т – 1%, автобуси та тролейбуси – 2%, мотоцикли та мопеди – 3%, трактори та автопоїзди – 1%. Проаналізувавши склад діаграми можна зробити висновок, що легкові автомобілі є переважаючими і у складі 78 % – транспортний потік легковий.

3.3 Дослідження режиму роботи світлофорного регулювання на перехресті

Режим світлофорного регулювання – кількість, послідовність й тривалість окремих тактів і фаз, а також тривалість циклу регулювання.

Проміжний такт призначений для звільнення зони світлофорного об'єкту від транспорту і пішоходів, що рухалися в попередньому основному такті. У період його дії можливий рух транспортних засобів, водії яких, перебуваючи в безпосередній близькості від «стоп-лінії», не змогли вчасно зупинитися в момент його включення. Тому метою застосування проміжного такту є забезпечення безпеки руху в перехідний період, коли рух попередньої групи потоків уже заборонений, а наступна група дозвіл на рух ще не одержала.

Звичайно, проміжний такт позначається жовтим сигналом світлофора. Згідно з діючим нормативним документом [6] тривалість жовтого сигналу світлофора повинна бути 3 або 4 с. Фаза регулювання – сукупність основного такту й наступного за ним проміжного такту. Схема пофазного роз'їзду - графічне представлення розподілу конфлікуючих транспортних і пішохідних потоків у часі. На даному перехресті використовується 4 фазне регулювання.

Використовуючи рисунок 3.5, побудуємо схеми пофазного роз'їзду для досліджуваного перехрестя. На рисунку 3.8 показана 1 фаза світлофорного регулювання – виїзд з вулиці Костянтина Василенка у перетині IV. Дозвільний сигнал діє на 3 смуги у всіх напрямках, тривалістю 17 с. Інші рухи на перехресті заборонено.

На рисунку 3.9 показано схему руху на перехресті у 2 фазі світлофорного регулювання – рух по вулиці Пирогова у перетинах *I* та *III*.

У перетині *III* регулювання здійснюється окремо по смугам руху. Тривалість дозвільного сигналу на рух прямо – 40 с, на рух наліво (регулюється окремою секцією) – 10 с, на рух направо (регулюється допоміжною окремою секцією на період дії заборонного сигналу) – 66 с.

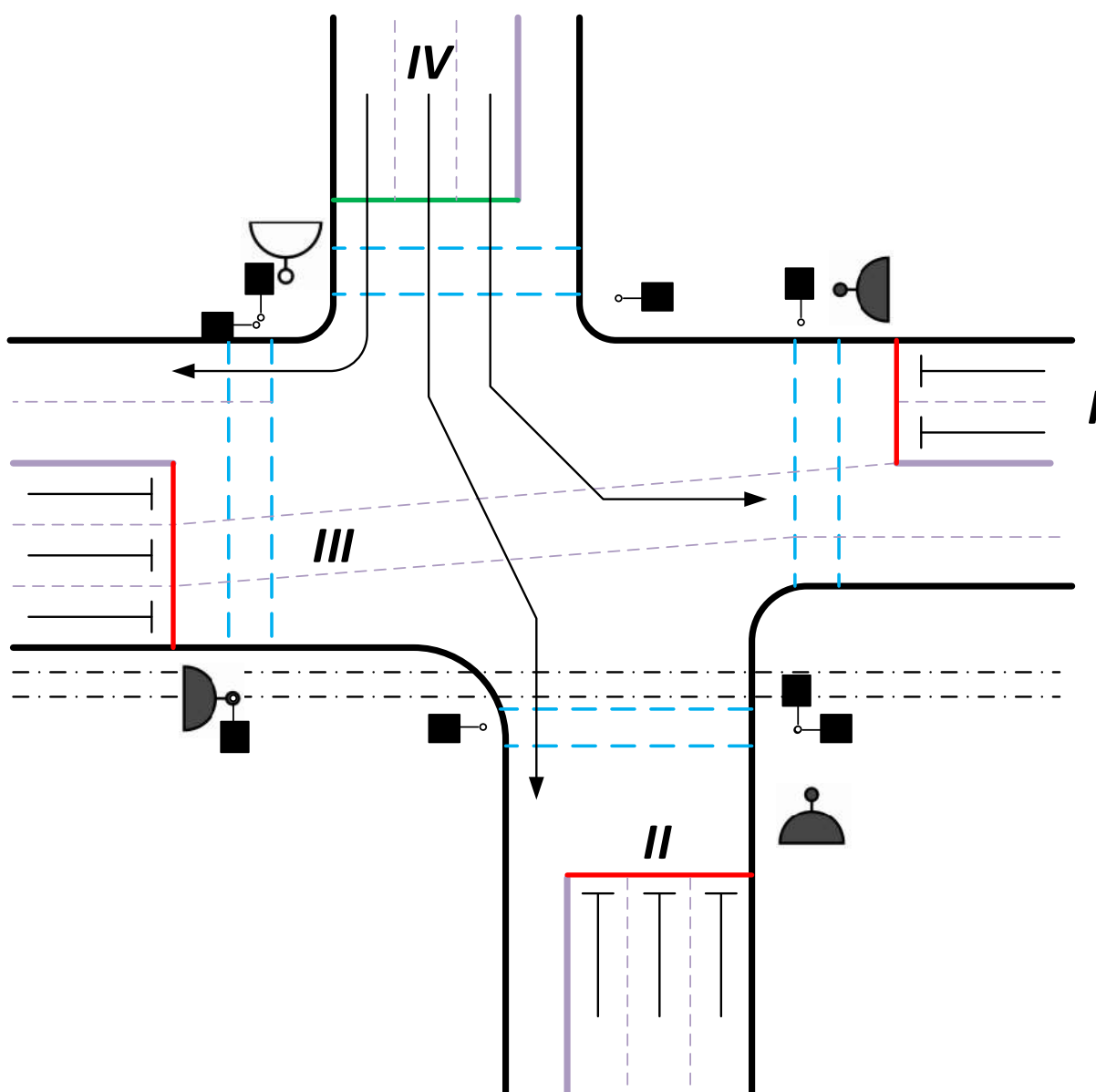


Рисунок 3.8 – Схема руху на перехресті у фазі 1

У перетині *I* регулювання зміщене на 10 с, відносно початку фази, для забезпечення безперешкодного руху повороту наліво з перетину *III*. Дозвільний сигнал діє для руху у всіх напрямках, тривалістю 30 с.

Інші рухи на перехресті заборонено.

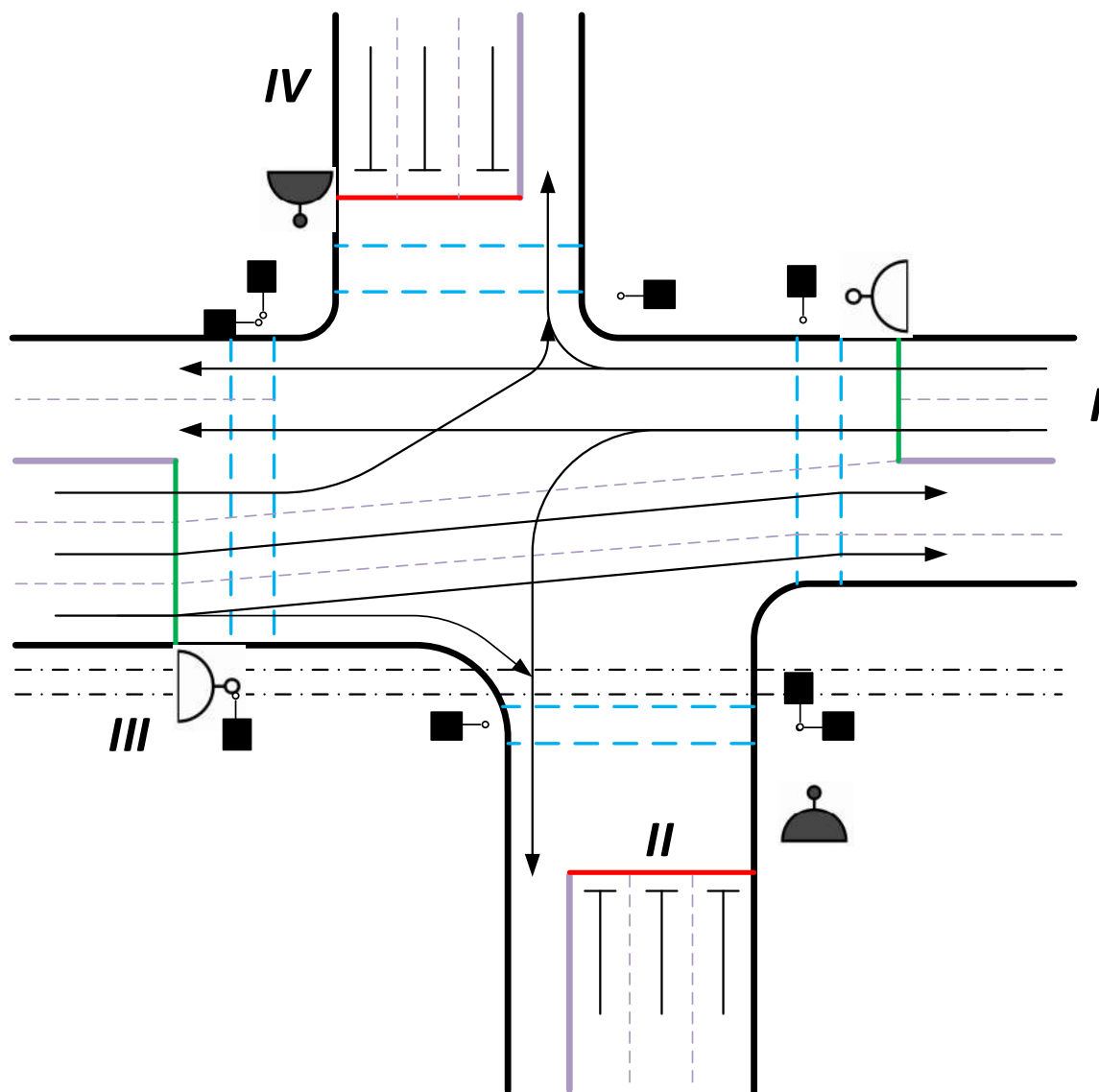


Рисунок 3.9 – Схема руху на перехресті у фазі 2

На рисунку 3.10 показано схему руху на перехресті у 3 фазі світлофорного регулювання – виїзд з вулиці Зодчих у перетині *II*.

Дозвільний сигнал діє на 3 смуги у всіх напрямках, тривалістю 20 с. Інші рухи на перехресті заборонено.

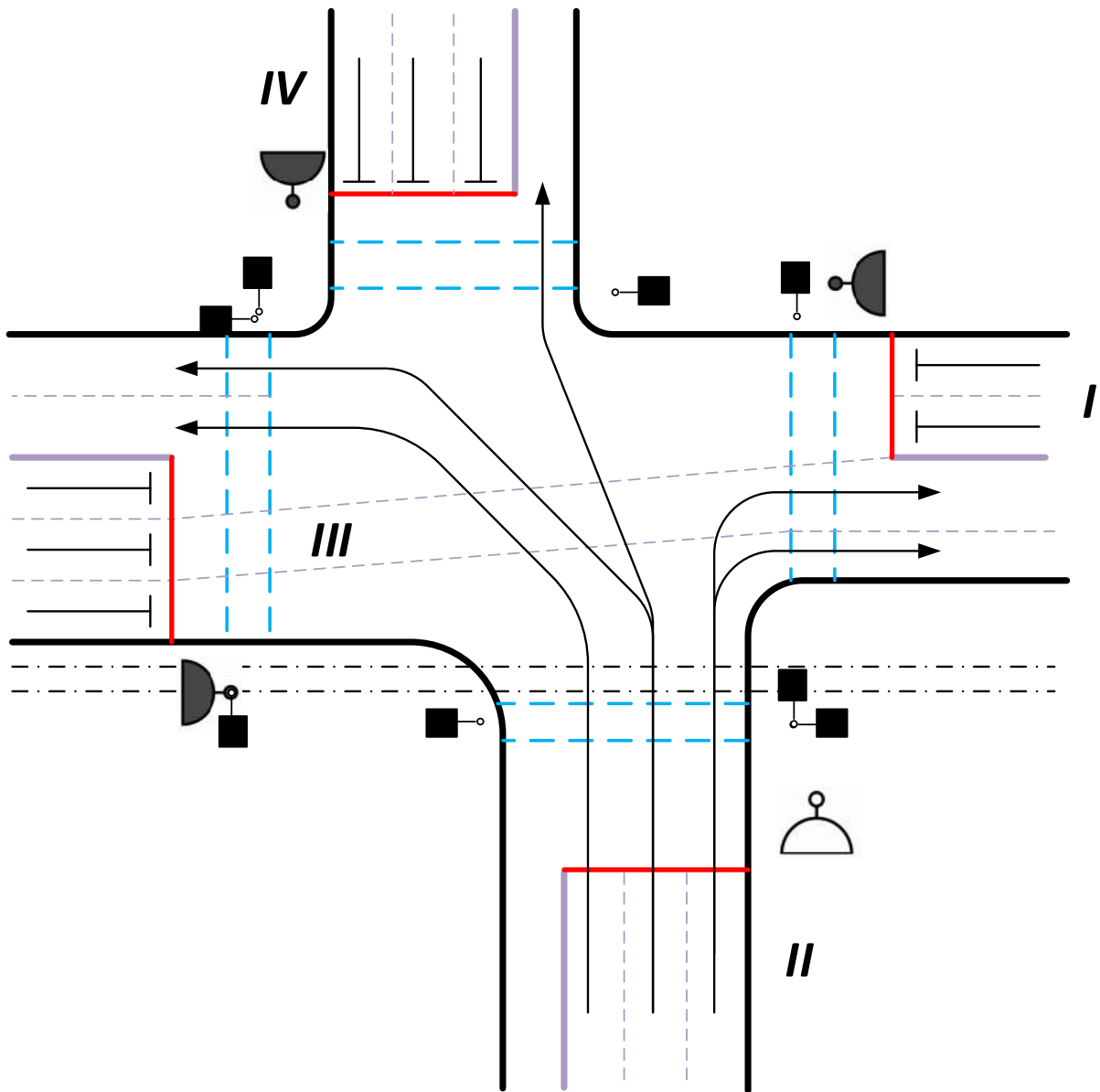


Рисунок 3.10 – Схема руху на перехресті у фазі 3

На 4 фазі даного світлофорного регулювання відбувається рух пішохідних потоків по всім перетинам, тривалість основного такту даної фази – 17 с. Схема руху на перехресті у 4 фазі світлофорного регулювання показано на рисунку 3.11.

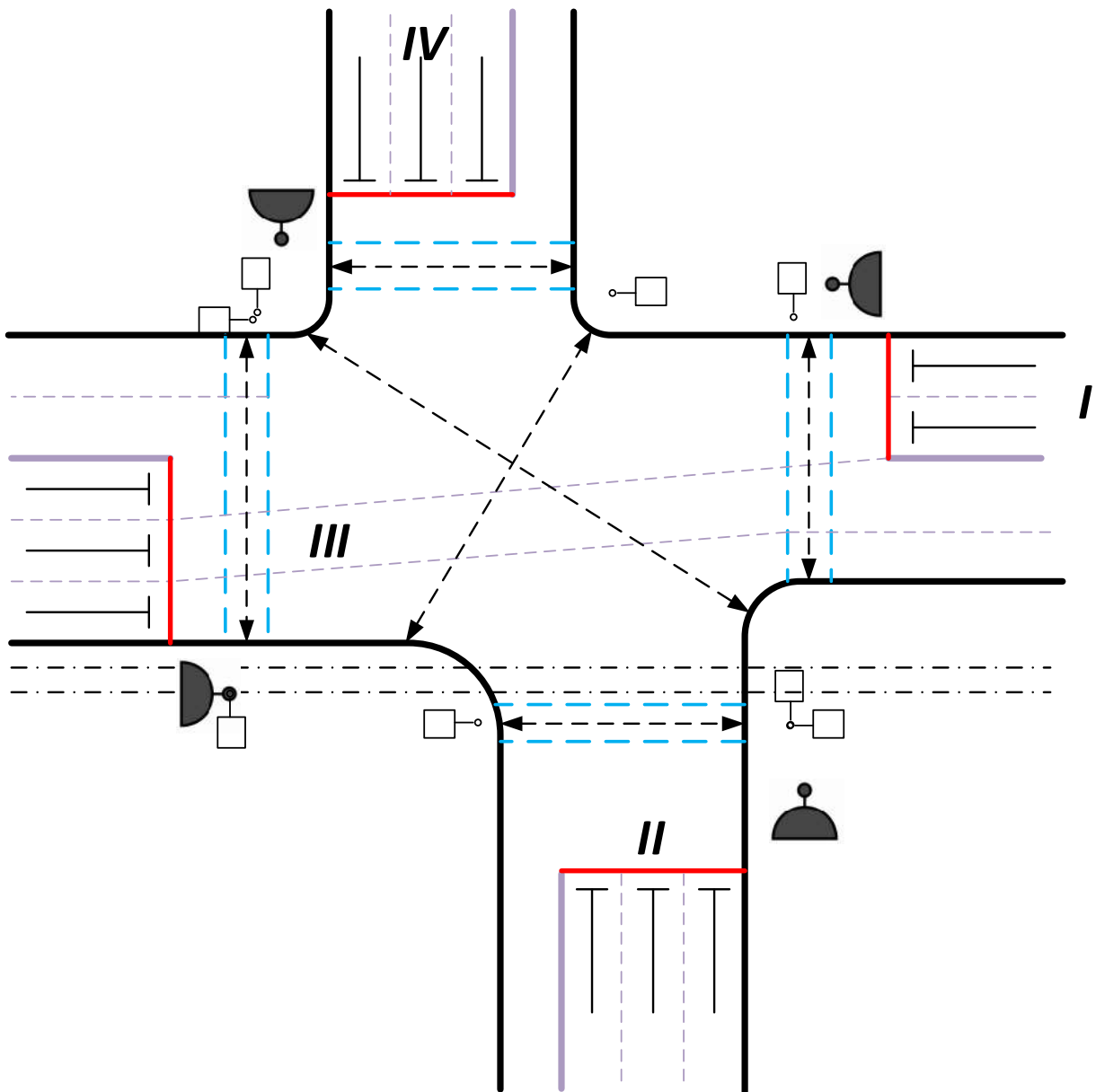


Рисунок 3.11 – Схема руху на перехресті у фазі 4

Циклограма світлофорного регулювання – графічне представлення послідовності й тривалості горіння сигналів світлофорів на всіх дозволених напрямках руху транспорту й пішоходів на перехресті або регульованому пішохідному переході, розташованому на перегоні вулиці. Відповідно до ДСТУ 4092 у складі основних тактів безпосередньо перед вимкненням зеленого сигналу треба передбачати миготіння зеленого сигналу протягом 3 с, частота миготіння – 1 с.

На наступному етапі побудуємо циклограму світлофорного регулювання на досліджуваному перехресті, що зображена на рисунку 3.12.

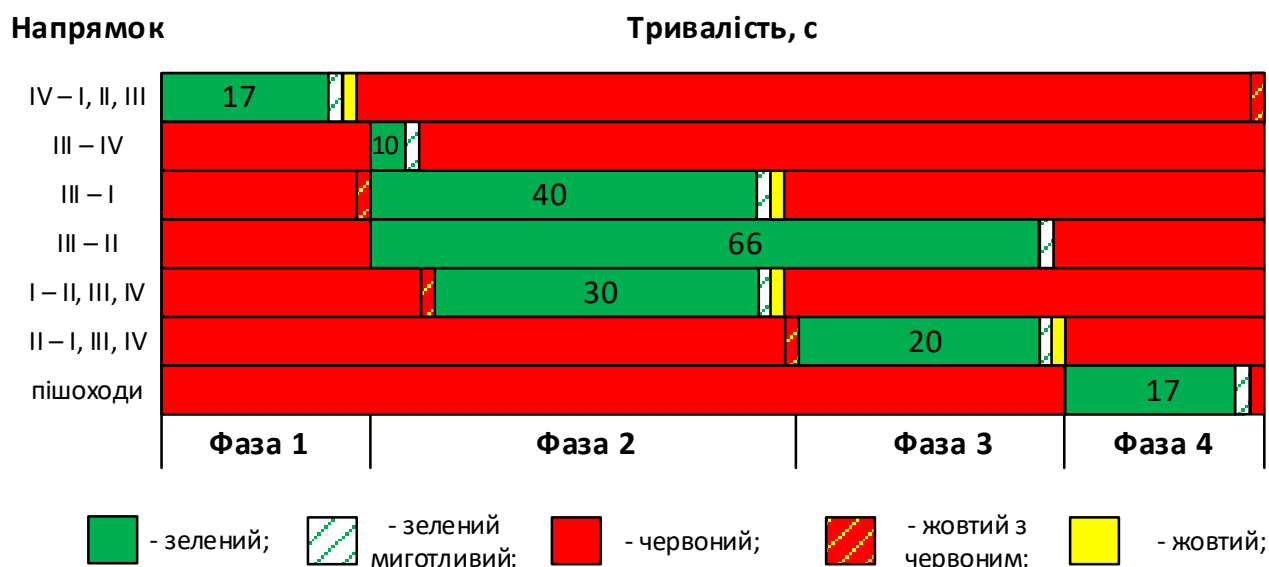


Рисунок 3.12 – Циклограма світлофорного регулювання перехрестя вулиця Пирогова – вулиця Зодчих

Тривалість циклу роботи світлофорного регулювання перехрестя – 115 с, тривалості фаз: 1 – 23 с, 2 – 46 с; 3 – 23 с; 4 – 23 с.

Режими світлофорів на досліджуваному перехресті не враховують реальну ситуацію із завантаженістю напрямків руху транспорту.

3.4 Оцінка пропускну́ї здатності перехрестя

Пропускна здатність магістралі в перетині стоп-лінії визначається пропускну́ю здатністю однієї смуги, кількістю смуг руху, організацією руху у вузлі, режимом регулювання [8].

Пропускну́ю здатністю смуг вулиць і доріг регульованого руху називається залежна від умов і організації руху максимальна кількість транспортних засобів, що проходять по смузі (через стоп-лінію) протягом 1 год. в одному напрямку при дотриманні умов безпеки руху. Умови організації руху виражаються через частку

часу від тривалості циклу. Ця частка часу, що виділяється для руху транспортних засобів в кожному напрямку визначає пропускну здатність.

При розрахунку пропускну здатності прийнято два допущення [30, 32]:

1) всі автомобілі, що проходять через перехрестя, можуть затримуватись перед світлофором;

2) всі автомобілі після включення зеленого сигналу проходять через перехрестя з однаковою швидкістю і рівними інтервалами часу.

Виходячи з цього, для розрахунку пропускну здатності однієї смуги використовують формулу [32]

$$P_c = \frac{3600 \cdot (t_3 - t_a)}{T_u t_c} \quad (3.1)$$

де T_u – час циклу світлофорного регулювання;

t_3 – тривалість дозволяючого 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 1с. Величина t_c за спостереженнями складає для легкового транспорту 1 с., для вантажного – 2 с., для змішаного потоку приймаємо $t_c = 1,5$ с.

Визначення інтенсивності руху транспортних потоків на досліджуваному перехресті проводимо у перетинах *I-IV* (див. рис. 3.13).

Враховуючи особливості організації і регулювання руху на перехресті вулиця Пирогова – вулиця Зодчих та, враховуючи схему, подану на рисунку 3.13, можна навести наступний аналіз організації регулювання дорожнього руху на досліджуваному перехресті.

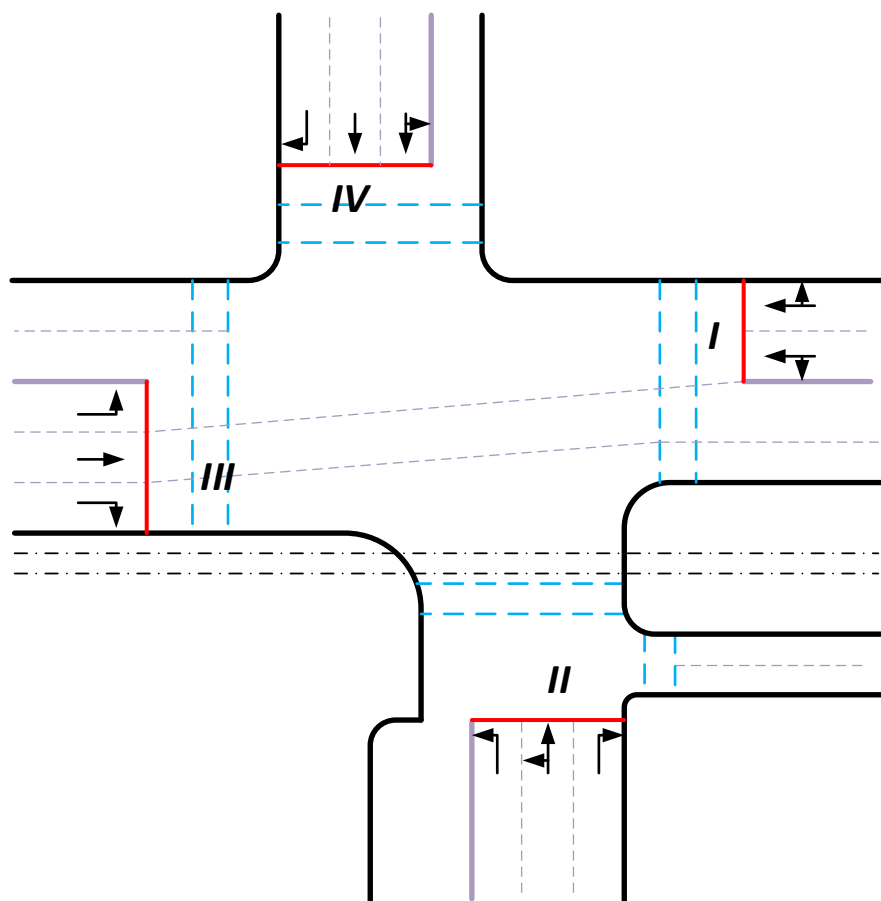


Рисунок 3.13 – Схема розподілу потоків різних напрямків по смугах

Перетин *I*.

У перетині стоп-лінії дві смуги руху. Прямі потоки займають обидві смуги, праві повороти здійснюються з крайньої правої смуги, ліві – з другої, створюючи при цьому перешкоди для наступного за ними прямого потоку. Рух транспорту в даному перетині у всіх напрямках здійснюється в одну фазу, тривалість $t_3 = 30$ с. У такому випадку, пропускну здатність магістралі 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 3.3.

Таблиця 3.3 – Рекомендовані значення для коефіцієнта η [30]

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

Враховуючи дані таблиці 3.2, знаходимо частку лівоповоротного руху для перетину I , $\alpha = 13,8\%$. Отже, приймаємо, що $\eta = 1,65$.

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

$$P_{\text{п1}} = \frac{1,65 \cdot 3600(30-1)}{115 \cdot 1,5} = 999.$$

Перетин II .

У перетині даної стоп-лінії 3 смуги руху, регулювання здійснюється з додатковою секцією для повороту направо але всі напрямки руху дозволені за одну загальну зелену фазу, тривалість $t_3 = 20$ с. Показники розподілу напрямків за смугами вказують такий розподіл (див. рис. 3.13).

Тоді, пропускну здатність проїзної частини визначаємо за формулою [30], авт./год

$$P_{\text{п}} = n \cdot P_c, \quad (3.3)$$

де n – кількість смуг руху в перетині стоп-лінії.

За формулами 3.1, 3.3 визначаємо пропускну здатність магістралі в перетині стоп-лінії II , авт/год:

$$P_{П2} = \frac{3 \cdot 3600(20-1)}{115 \cdot 1,5} = 1190.$$

Перетин III.

У перетині даної стоп-лінії 3 смуги руху, регулювання здійснюється з додатковою секцією для повороту направо та додатковою секцією для повороту наліво. Тривалість дозвільної фази для руху прямо $t_{зпр} = 40$ с, тривалість дозвільної фази для руху наліво $t_{зл} = 10$ с, тривалість дозвільної фази для руху направо $t_{зправ} = 69$ с (див. рис. 3.12). Показники розподілу напрямків за смугами вказують розподіл руху (див. рис. 3.13).

При визначенні пропускної здатності регульованого перехрестя в умовах три- та чотиритактного регулювання з додатковими секціями для пропуску поворотних потоків необхідно враховувати, що смуги, призначені для лівих поворотів, не можуть бути використані прямим потоком, що призводить до зниження пропускної здатності транспортного вузла. Розрахунок пропускної здатності перехрестя в цьому випадку слід проводити окремо для смуг руху в прямому напрямку, правоповоротних і лівоповоротних смуг [32].

В цьому випадку пропускна здатність проїзної частини визначається за формулою, авт/год

$$P_{П3} = P_{сн} + P_{сл} + P_{спр}, \quad (3.4)$$

де $P_{сн}$ – пропускна здатність смуг руху прямо і направо на час дозвільного сигналу на рух прямо, авт/год;

$P_{сл}$ – пропускна здатність смуги руху наліво, авт/год.

$P_{спр}$ – пропускна здатність смуги руху направо на час дозвільного сигналу окремої секції без врахування часу на рух прямо, авт/год

За формулою (3.3), розрахуємо пропускну здатність смуг руху прямо і направо на час дозвільного сигналу на рух прямо, авт/год

$$P_{cn} = \frac{2 \cdot 3600(40-1)}{115 \cdot 1,5} = 1628.$$

За формулою (3.1), розрахуємо пропускну здатність смуги руху наліво, авт/год

$$P_{cl} = \frac{3600(10-1)}{115 \cdot 1,5} = 188.$$

За формулою (3.1), розрахуємо пропускну здатність смуги руху направо на час дозвільного сигналу окремої секції без врахування часу на рух прямо, авт/год

$$P_{cnp} = \frac{3600(69-40-1)}{115 \cdot 1,5} = 584.$$

Тоді, загальна пропускну здатність магістралі у перетині III, за формулою (3.4) становитиме, авт/год

$$P_{II3} = 1628 + 188 + 584 = 2400.$$

Перетин IV.

У перетині даної стоп-лінії 3 смуги руху, регулювання здійснюється без додаткових секцій, всі напрямки руху дозволені за одну загальну зелену фазу, тривалість $t_3 = 17$ с. Показчики розподілу напрямків за смугами вказують такий розподіл (див. рис. 3.8).

В цьому випадку пропускну здатність проїзної частини визначається за формулою (3.3), авт/год

$$P_{II4} = \frac{3 \cdot 3600(17-1)}{115 \cdot 1,5} = 1002.$$

Отже, отримали наступні значення пропускної здатності перехрестя вул. Пирогова – вул. Зодчих для перерізів у приведених авт./год: $P_{II1} = 999$ (по вул. Пирогова від центру); $P_{II2} = 1190$ (по вул. Зодчих); $P_{II3} = 2400$ (по вул. Пирогова до центру); $P_{II4} = 1002$ (по вул. Костянтина Василенка).

Користуючись таблицею 3.2, отримуємо значення інтенсивності руху транспортного потоку у перерізах та порівнюємо з розрахованими значеннями пропускної здатності у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Порівняння інтенсивності руху та пропускної здатності у перерізах

| Показник | <i>I</i> | <i>II</i> | <i>III</i> | <i>IV</i> |
|---------------------------|----------|-----------|------------|-----------|
| <i>P</i> , прив. авт./год | 999 | 1190 | 2400 | 1002 |
| <i>N</i> , прив. авт./год | 972 | 1206 | 2429 | 983 |
| <i>N/P</i> , % | 97,3 | 101,3 | 101,2 | 98,1 |

З таблиці 3.4 бачимо, що на перехресті транспортні потоки повністю використовують пропускну здатність по перерізам, черги у години «пік» неминучі.

3.5 Аналіз якості схеми організації дорожнього руху 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 дозволяючого сигналу:

$$x_{ij} = \frac{N_{ij} \cdot T_{\Pi}}{M_{Hij} \cdot t_{zj}}, \quad (3.5)$$

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

T_{Π} – тривалість світлофорного циклу, с;

M_{Hij} – 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.

Для регульованих перехресть визначають потоки насичення шляхом натурних обстежень з використанням залежності [30]

$$M_{Hij} = \frac{3600}{n} \cdot \sum_{z=1}^n \frac{N_z}{t_z}, \quad (3.6)$$

де i – номер фази регулювання;

j – номер напрямку руху;

n – число вимірів;

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

Відлік часу t починають з моменту включення дозволяючого 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.

Затримки транспортних засобів на регульованому перехресті для різних напрямків обчислюють за спрощеною формулою Вебстера (2.8) [30]:

$$d = 0,9 \cdot \left(\frac{T_{\text{г}}(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1-x)} \right). \quad (3.7)$$

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

x – ступінь насичення напрямку руху;

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

0,9 – коефіцієнт, що враховує точність початкової формули (2.8).

Розрахуємо транспортну затримку для перетину II (виїзд з вулиці Зодчих). Потік насичення для даного перетину розрахуємо, використовуючи проведені натурні обстеження та формулу (3.6), авт./год

$$M_{\text{нз}} = \frac{3600}{4} \cdot \left(\frac{18}{20} + \frac{16}{20} + \frac{21}{20} + \frac{19}{20} \right) = 3330.$$

Знайдемо ступінь насичення напрямку руху x_{II} у перетині II, використовуючи дані таблиці (3.3) та формулу (3.5):

$$x_{II} = \frac{1206 \cdot 115}{3330 \cdot 20} = 2,08.$$

Розраховане значення ступеню насичення напрямку руху x_{II} підтверджує наявність заторових станів у перетині II під час годин «пік».

Визначимо затримку транспортних засобів на перехресті для перетину II за формулою (3.7), с:

$$d = 0,9 \cdot \left(\frac{115 \left(1 - \frac{20}{115} \right)^2}{2 \left(1 - \frac{20}{115} \cdot 2,08 \right)} + \frac{2,08^2}{2 \cdot 0,93 (1 - 2,08)} \right) = 56,4.$$

Отже, різниця між фактичною тривалістю проїзду транспортним потоком досліджуваного перехрестя та тривалістю проїзду його ж у вільних умовах без дії світлофорного регулювання становить 56,4 с.

Висновки до розділу 3

1. Аналіз інтенсивності руху транспортного потоку за напрямками на перехресті вулиця Пирогова – вулиця Зодчих м. Вінниця дозволив визначити склад потоку, що рухається через дане перехрестя. Легкові автомобілі є переважаючими і у складі 78 % – транспортний потік легковий.

2. Тривалість циклу роботи світлофорного регулювання перехрестя – 115 с, тривалості фаз: 1 – 23 с, 2 – 46 с; 3 – 23 с; 4 – 23 с. Режими світлофорів на досліджуваному перехресті не враховують реальну ситуацію із завантаженістю напрямків руху транспорту.

2. Розраховано значення пропускної здатності перехрестя вул. Пирогова – вул. Зодчих для перерізів у приведених авт./год: $P_{П1} = 999$ (по вул. Пирогова від центру); $P_{П2} = 1190$ (по вул. Зодчих); $P_{П3} = 2400$ (по вул. Пирогова до центру); $P_{П4} = 1002$ (по вул. Костянтина Василенка).

3. Порівняння інтенсивності руху та пропускної здатності у перерізах досліджуваного перехрестя показало, що пропускна здатність цього перехрестя у години «пік» повністю вичерпана, тобто утворюються черги по всім напрямкам.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ТА ЇХ МОДЕЛЮВАННЯ У PTV VISSIM

4.1 Розрахунок оптимальної тривалості світлофорного циклу та дозвільних сигналів у фазах регулювання

Кількість фаз у світлофорному циклі та розподіл потоків за напрямками залишаємо без змін для досліджуваного перехрестя. Питання вдосконалення організації руху на перехресті вул. Пирогова – вул. Зодчих буде полягати у знаходженні оптимальної тривалості світлофорного циклу та дозвільних сигналів у фазах.

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.

Оскільки інтервали між послідовно прибуваючими транспортними засобами до перехрестя, як правило, неоднакові, тривалість циклу світлофорного регулювання розраховують за формулою Вебстера (2.1).

Для початку необхідно визначити фазові коефіцієнти для 3 фаз, під час яких відбувається рух транспортних потоків. Фазові коефіцієнти для кожної з фаз визначаємо за формулою (2.2), враховуючи інтенсивність руху ТЗ у певному напрямку у відповідній фазі регулювання з таблиці 3.2.

Визначимо існуючі потоки насичення для кожної фази, використовуючи формулу (3.6), авт./год:

$$M_{H1} = \frac{3600}{4} \cdot \left(\frac{15}{17} + \frac{14}{17} + \frac{13}{17} + \frac{15}{17} \right) = 3018;$$

$$M_{H2} = \frac{3600}{4} \cdot \left(\frac{38}{40} + \frac{39}{40} + \frac{40}{40} + \frac{41}{40} \right) = 3555;$$

$$M_{H3} = \frac{3600}{4} \cdot \left(\frac{18}{20} + \frac{16}{20} + \frac{21}{20} + \frac{19}{20} \right) = 3330.$$

Розрахунок фазових коефіцієнтів.

$$y_1 = \frac{N_1}{M_{H1}} = \frac{983}{3018} = 0,326;$$

$$y_2 = \frac{N_2}{M_{H2}} = \frac{2429}{3555} = 0,683;$$

$$y_3 = \frac{N_3}{M_{H3}} = \frac{1206}{3330} = 0,362.$$

Приймаємо тривалість 4 фази (для руху пішохідних потоків) незмінною – 20с. Розрахуємо оптимальну тривалість циклу роботи світлофорного регулювання на досліджуваному перехресті, с:

$$T_u = \frac{1,5(6+6+6)+5}{1-(0,326+0,683+0,362)} + 20 = 109.$$

Тривалості дозвільних сигналів визначаємо за формулою (2.3). Тоді t_3 в i -й фазі регулювання, с:

$$t_{31} = \frac{(109-24) \cdot 0,326}{1,641} = 17;$$

$$t_{32} = \frac{(109-24) \cdot 0,683}{1,641} = 35;$$

$$t_{33} = \frac{(109 - 24) \cdot 0,362}{1,641} = 19.$$

Отже, приймаємо удосконалені параметри світлофорного регулювання на досліджуваному перехресті:

- тривалість циклу $T_u = 109$ с;
- тривалість 1-ї фази – 23 с, з дозвільним сигналом тривалістю $t_{31} = 17$ с;
- тривалість 2-ї фази – 41 с, з дозвільним сигналом тривалістю $t_{31} = 35$ с;
- тривалість 3-ї фази – 25 с, з дозвільним сигналом тривалістю $t_{31} = 19$ с;
- тривалість 4-ї фази – 20 с, з дозвільним сигналом тривалістю $t_{31} = 17$ с;

Удосконалена циклограма світлофорного регулювання перехрестя показана на рисунку 4.1.

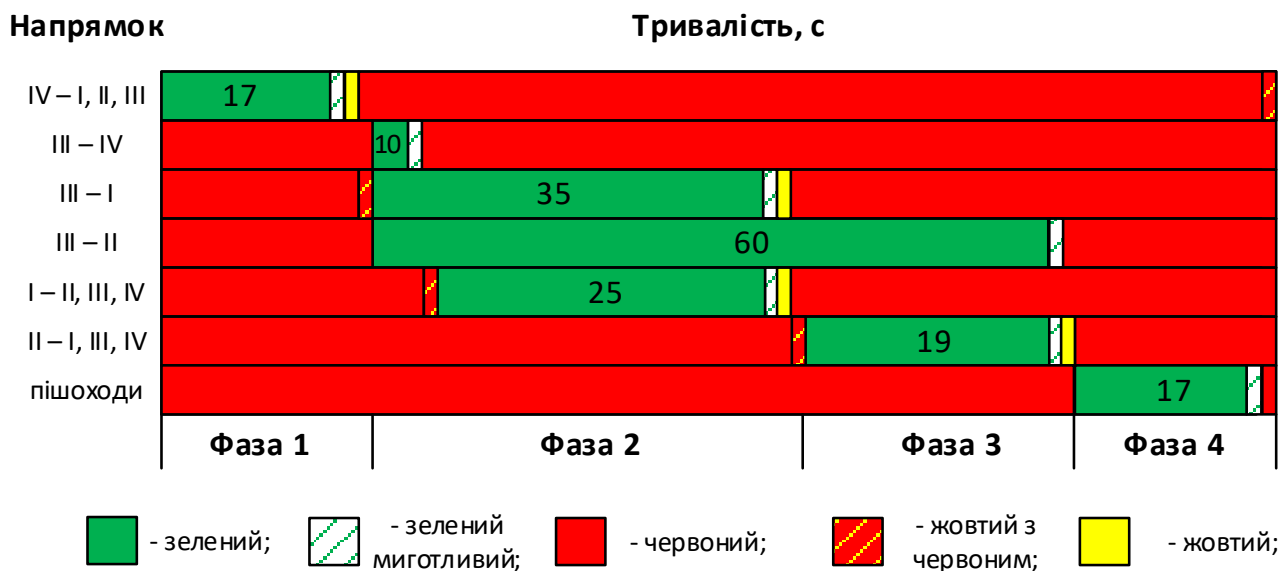


Рисунок 4.1 – Удосконалена циклограма світлофорного регулювання перехрестя

У порівнянні з існуючим світлофорним регулюванням, запропоноване має менший цикл на 6 с, тривалість 2-ї фази зменшена на 5 с, тривалість 3-ї фази зменшена на 1 с.

4.2 Аналіз якості вдосконаленої схеми організації дорожнього руху на перехресті

Для порівняння з існуючою схемою організації дорожнього руху на перехресті розрахуємо транспортну затримку для перетину II (виїзд з вулиці Зодчих).

Знайдемо ступінь насичення напрямку руху x_{II} у перетині II, використовуючи дані таблиці (3.3), формулу (3.5):

$$x_{II} = \frac{1206 \cdot 109}{3330 \cdot 19} = 2,08.$$

Розраховане значення ступеню насичення напрямку руху x_{II} рівне значенню ступеня насичення напрямку руху до вдосконалення, тобто наявність заторових станів у перетині II під час годин «пік» залишається.

Визначимо затримку транспортних засобів на перехресті для перетину II, с:

$$d = 0,9 \cdot \left(\frac{109 \left(1 - \frac{19}{109} \right)^2}{2 \left(1 - \frac{19}{109} \cdot 2,08 \right)} + \frac{2,08^2}{2 \cdot 0,93 (1 - 2,08)} \right) = 50,5.$$

Отже, різниця між фактичною тривалістю проїзду транспортним потоком досліджуваного перехрестя та тривалістю проїзду його ж у вільних умовах без дії світлофорного регулювання становить 50,5 с, що менше затримки до вдосконалення на 5,9 с або на 10,5%.

Більшого результату в ефективності управлінні світлофорним регулюванням на даному перехресті нажаль не досягти, через досить велику інтенсивність транспортних потоків по всім перетинам. Тобто дане перехрестя є досить перевантаженим транспортними потоками.

4.3 Побудова моделі перехрестя в програмному середовищі PTV Vissim

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.
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.

4.3.1 Моделювання дорожнього полотна

Початковим етапом у створенні імітаційної моделі ділянки ВДМ є побудова дорожнього полотна [53], 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.

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. Побудоване дорожнє полотно та пішохідні переходи з відповідною дорожньою розміткою для досліджуваної ділянки ВДМ представлено на рис. 4.2.

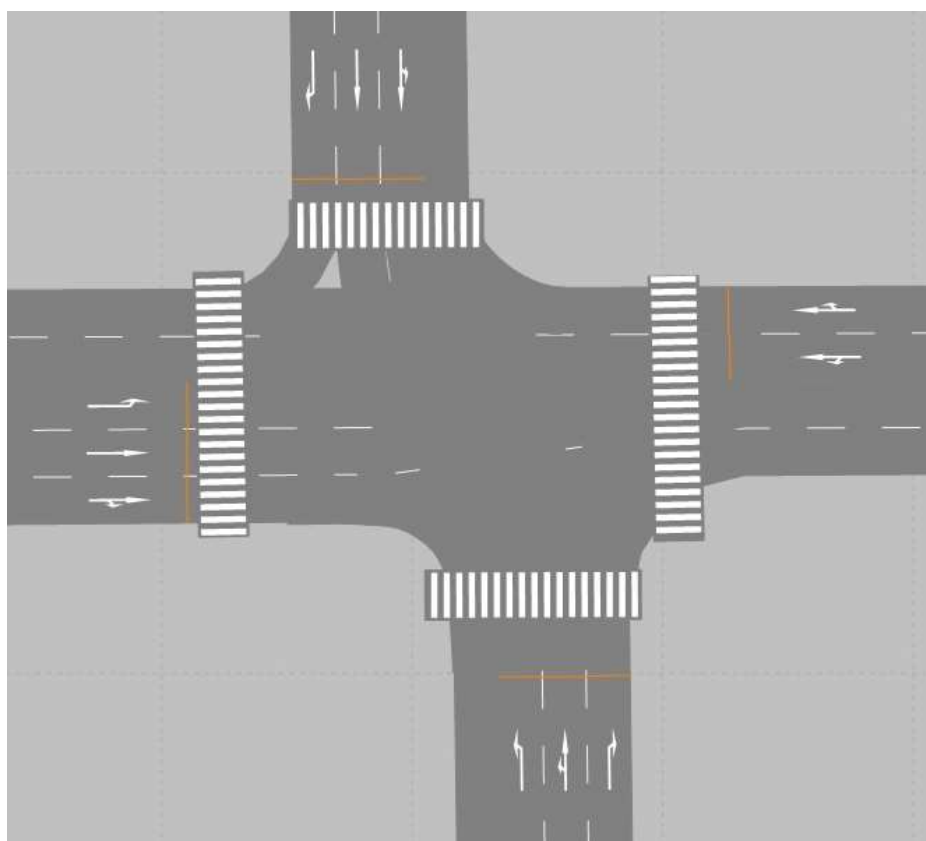


Рисунок 4.2 – Побудоване дорожнє полотно та пішохідні переходи

4.3.2 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». На перехрестя, що моделюється припадає 85 конфліктних зон для транспорту. Наявність такої великої кількості конфліктів пояснюється складністю проїзду та маневрування ТЗ на даному перехресті, обумовленому різноманітністю учасників дорожнього руху. При створенні моделі пріоритети проїзду ТЗ були дозволені відповідно до правил дорожнього руху. Приклад зображення конфліктних зон для транспорту показано на рис. 4.3,

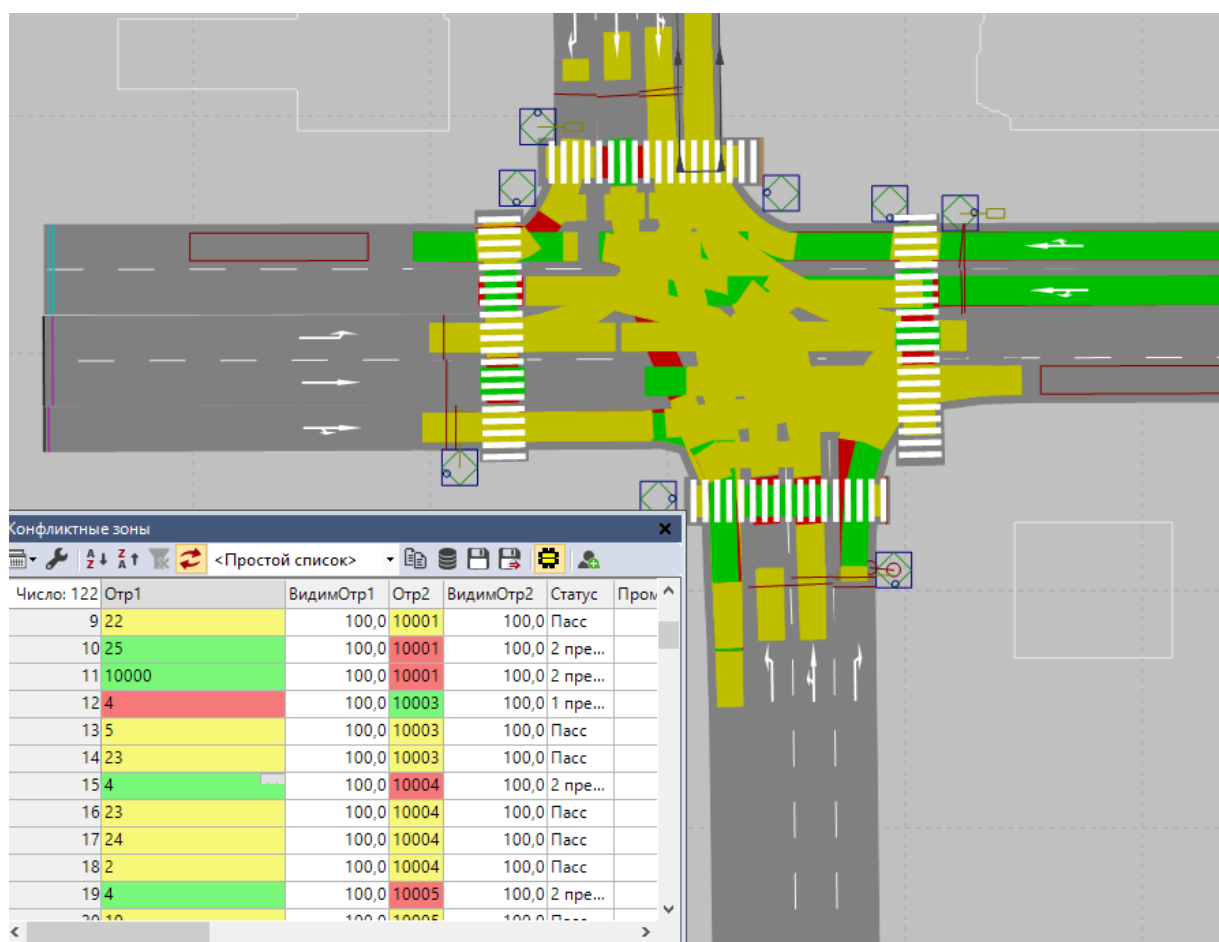


Рисунок 4.3 – Приклад зображення конфліктних зон для транспорту

4.3.3 Введення інтенсивностей 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.

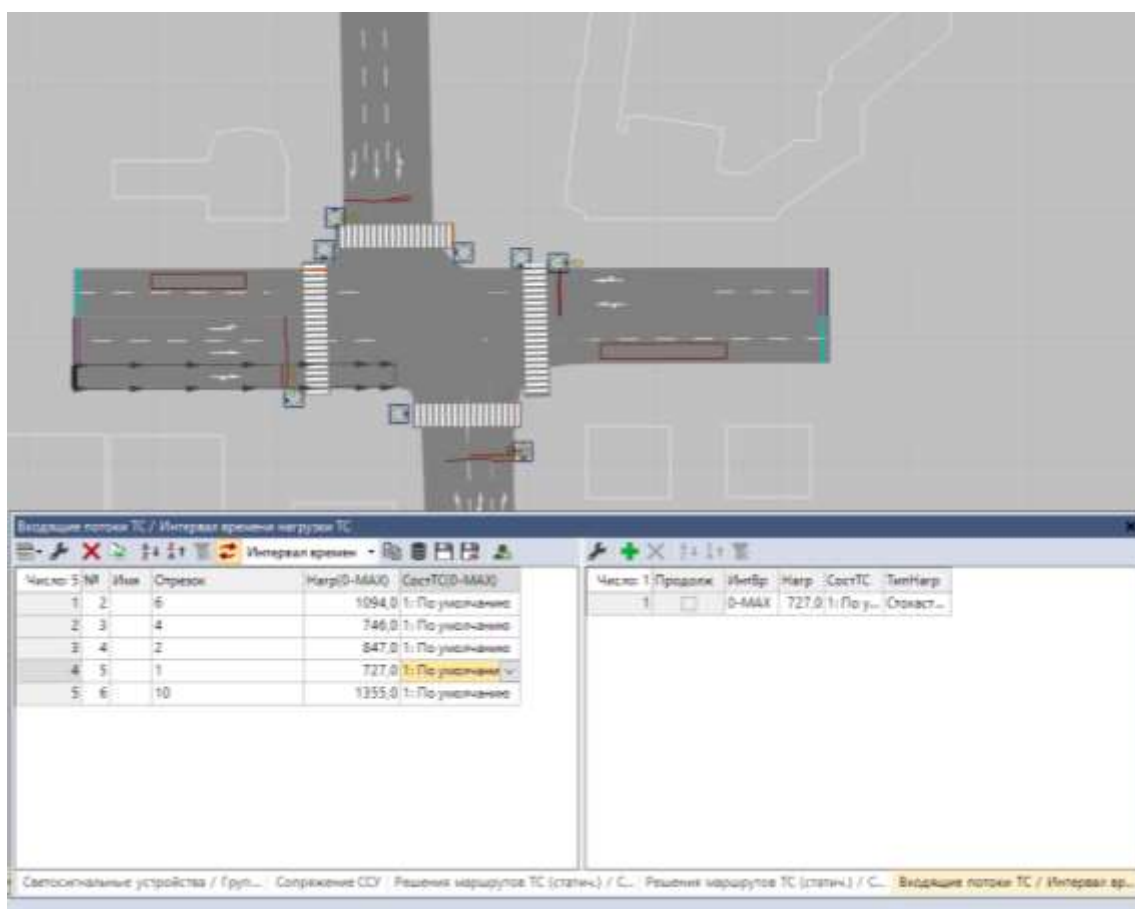


Рисунок 4.4 – Приклад введення інтенсивностей та складу транспортних потоків

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.

4.3.4 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

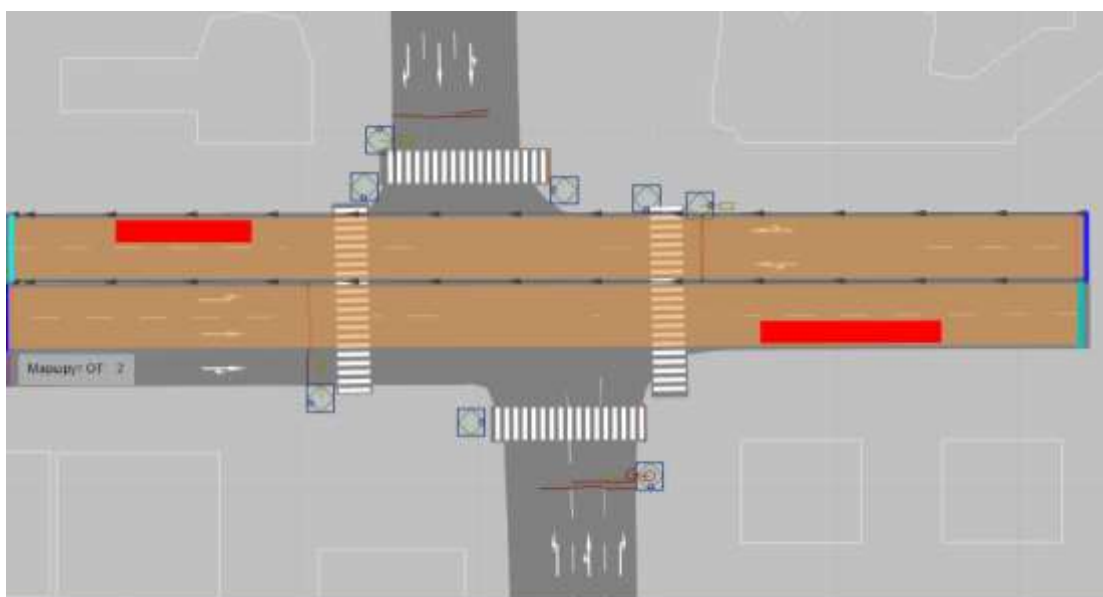


Рисунок 4.6 – Маршрути громадського транспорту

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.

4.3.5 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 вулиця Пирогова – вулиця Зодчих показано на рис. 4.7.

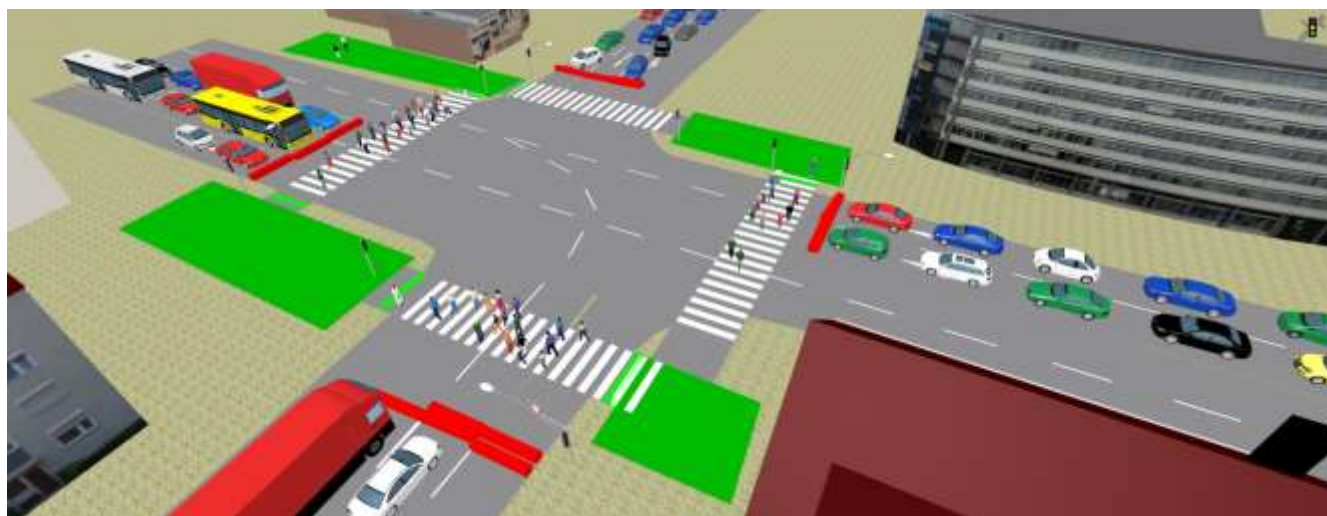


Рисунок 4.7 – Пробна імітація організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті

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).

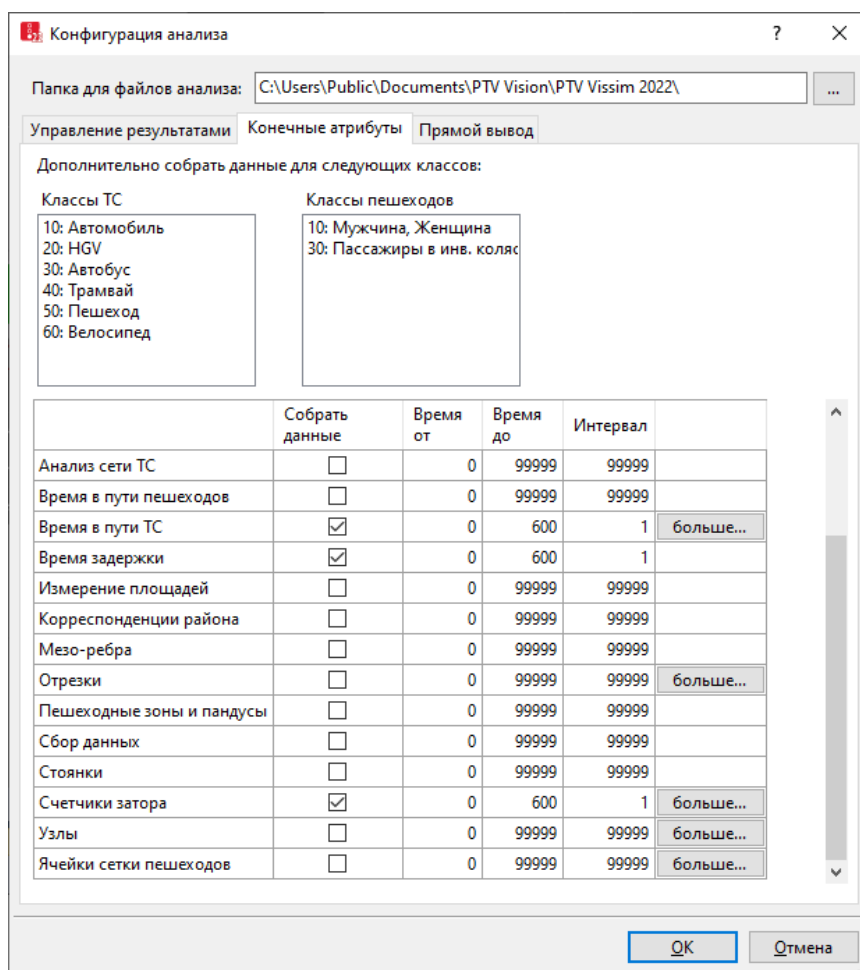


Рисунок 4.8 – Увімкнення та завдання параметрів датчиків «Час у дорозі ТЗ» та лічильників «Лічильник заторів»

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 (рис. 4.9).

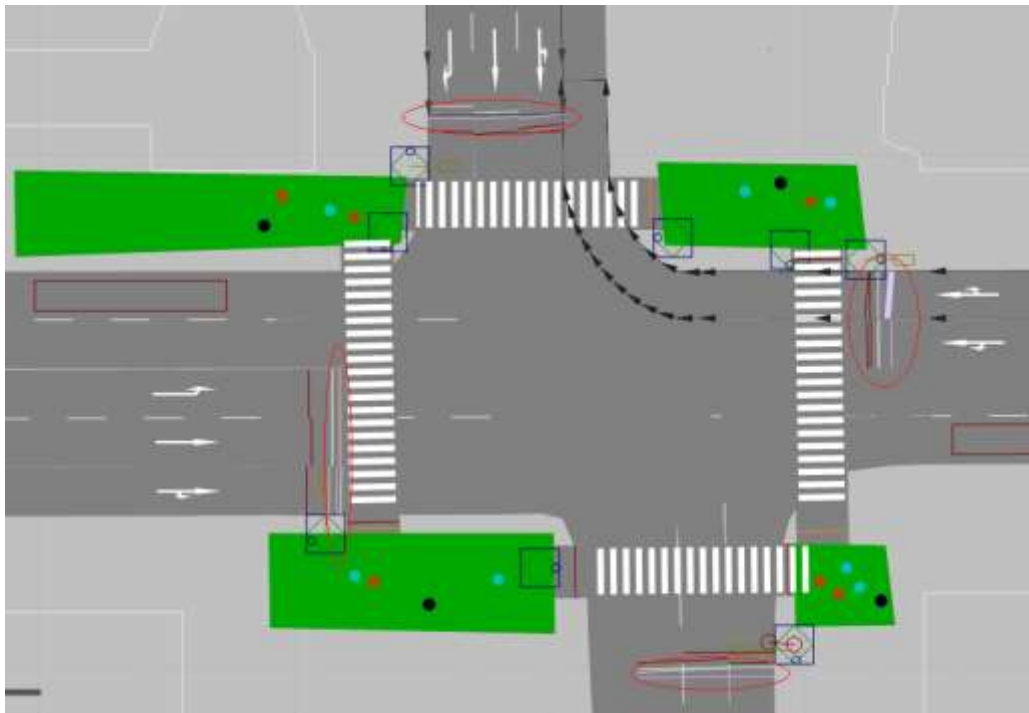


Рисунок 4.9 – Активні датчики часу в дорозі та лічильники заторів на перехресті

Час у дорозі ТЗ по окремим маршрутам і довжини черг, що утворюються, можуть бути представлені в табличному вигляді (рис. 4.10).

| Результаты времени задержек | | | | | | | Результаты очередей | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|-------|--------|------|------------|--------------|---------------------|------------|--------------|----------|-------|-------|-------|-----------|--------|
| 281 / 54... | Ци... | ИнтВр | Изм... | ВрП | Останов... | ТСЗадержк... | ТС[8... | ВрЗадержк[| Число: 62400 | ЦиклИвлт | 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 | | | | 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 | |

Рисунок 4.10 – Результаты розрахунку затримок ТЗ та лічильника заторів

Виходячи з проведених досліджень, що полягають у вдосконаленні організації дорожнього руху на перехресті вулиці Пирогова та вулиці Зодчих 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

1. У порівнянні з існуючим світлофорним регулюванням, за допомогою розрахунку оптимальної тривалості світлофорного циклу на досліджуваному перехресті, запропонований цикл має меншу тривалість на 6 с, завдяки зменшенню тривалості 2-ї фази на 5 с та тривалості 3-ї фази на 1 с.

2. Аналіз якості вдосконаленої схеми організації дорожнього руху на перехресті дозволив визначити тривалість транспортної затримки у перетині вулиці Зодчих, яка становить 50,5 с, що менше транспортної затримки до вдосконалення на 5,9 с або на 10,5%. Кращого результату вдосконалення організації дорожнього руху за допомогою оптимізації світлофорного регулювання на даному перехресті, на жаль, не досягти, оскільки через перехрестя проходять досить інтенсивні транспортні потоки по всім перетинам.

3. Створена імітаційна модель досліджуваного 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

В магістерській кваліфікаційній роботі «Вдосконалення організації дорожнього руху на елементах вулично-дорожньої мережі міста Вінниці (на прикладі перехрестя вулиця Пирогова - вулиця Зодчих)» виконувалося дослідження режимів та особливостей руху транспортних потоків на заданому перехресті. При виконанні таких досліджень можуть виникати потенційні небезпеки, які негативно впливають на стан здоров'я дослідника.

5.1 Аналіз потенційних небезпек при роботі дослідника

1. Наїзд на людей при русі їх через проїжджу частину поза межами пішохідних переходів підвищує загальну небезпеку руху на перехресті та збільшує вірогідність виникнення ДТП.

2. Рух будь-якого транспортного потоку є джерелом негативного впливу на оточення, який проявляється в забрудненні атмосфери вихлопними газами автомобілів.

3. Значна кількість транспорту стає небезпечним джерелом шуму, що негативно позначається на самопочутті людини, особливо при тривалому впливі.

4. При недостатньому освітленні площі пішохідних переходів можливе зниження безпеки руху в наслідок погіршення умов видимості для учасників руху, як для пішоходів, яким в умовах недостатнього освітлення важче вибрати безпечні траєкторії руху, так і для водіїв автомобілів, які в таких умовах можуть не бачити пішоходів, дорожніх споруд, тощо.

5. Під час проведення реєстрації показників ВДМ дослідник(и) знаходиться на відкритому повітрі та піддаються впливу температур в різні пори року, що може призводити до порушення теплового режиму – зневоднення або теплового удару влітку та переохолодження взимку.

5.2 Наїзд на пішохода: обов'язки водія та пішохода

Згідно з [19], учасниками дорожнього руху є особи, які використовують автомобільні дороги, вулиці, залізничні переїзди або інші місця, призначені для пересування людей та перевезення вантажів за допомогою транспортних засобів.

Дорожньо-транспортна пригода – подія, що сталася під час руху транспортного засобу, внаслідок якої загинули або поранені люди чи завдані матеріальні збитки. Одним із видів є «наїзд на пішохода».

Наїзд на пішохода – подія, за якої: автотransпортний засіб наїхав на людину; пішохід наштовхнувся на машину, що рухається; людина отримала пошкодження від вантажу, що перевозиться транспортним засобом.

Винуватцями даного виду дорожньо-транспортної пригоди можуть бути як пішоходи, так і водії.

До ДТП з вини водія потрібно віднести наїзд на пішохода:

- на переході;
- під час руху заднім ходом;
- на тротуарі;
- у дворі;
- з порушенням правил руху, порядку перестроювання транспорту, перевищенням швидкості руху.

До ДТП з вини пішохода слід віднести наступні події:

- транспорт збив пішохода, який переходив проїжджу частину поза пішохідним переходом, якщо є розділювальна смуга, а також в місцях, де встановлено огороження;
- водій скоїв наїзд на пішохода, який тривалий час стояв на проїжджій частині, при цьому зупинка пішохода не пов'язана із забезпеченням безпеки руху;
- пішохід рухався по проїжджій частині, коли можна було йти по тротуару або пішохідній доріжці.

Водій як учасник дорожнього руху повинен:

– мати при собі та на вимогу поліцейського пред'являти для перевірки посвідчення водія, реєстраційний документ на транспортний засіб, а у випадках, передбачених законодавством, - страховий поліс (сертифікат) про укладення договору обов'язкового страхування цивільно-правової відповідальності власників наземних транспортних засобів;

– виконувати розпорядження поліцейського, що даються в межах їх компетенції;

– вживати всіх можливих заходів до забезпечення безпечних умов для пересування найбільш уразливих учасників дорожнього руху ;

– не допускати випадків керування транспортним засобом у стані алкогольного, наркотичного чи іншого сп'яніння або під впливом лікарських препаратів, що знижують їх увагу та швидкість реакції;

– перевірити перед вирушенням у дорогу технічний стан транспортного засобу та стежити за ним у дорозі;

– надавати переважне право руху пішоходу, який знаходиться на пішохідній доріжці (зебрі). У цьому разі водій зобов'язаний надати можливість пішоходу безпечно перейти дорогу, вулицю.

Пішохід як учасник дорожнього руху повинен:

– рухатися по тротуарах, пішохідних або велосипедних доріжках, узбіччях, а в разі їх відсутності - по краю проїзної частини автомобільної дороги чи вулиці;

– перетинати проїзну частину автомобільної дороги, вулиці по пішохідних переходах, а в разі їх відсутності - на перехрестях по лінії тротуарів і узбіч;

– керуватися сигналами регулювальника та світлофора в місцях, де дорожній рух регулюється;

– не затримуватися і не зупинятися без необхідності на проїзній частині автомобільної дороги, вулиці і залізничному переїзді;

– не переходити проїзну частину автомобільних доріг, вулиць, залізничних переїздів безпосередньо перед транспортними засобами, що наближаються, поза

пішохідними переходами при наявності роздільної смуги, а також у місцях, де встановлені пішохідні чи дорожні огороження;

– стримуватися від переходу проїзної частини при наближенні транспортного засобу з включеними проблісковим маячком та спеціальним звуковим сигналом;

– не виходити на проїзну частину із-за нерухомого транспортного засобу або іншої перешкоди, що обмежує видимість, не переконавшись у відсутності транспортних засобів, що наближаються.

– у темну пору доби та в умовах недостатньої видимості пішоходи, які рухаються проїзною частиною чи узбіччям, повинні використовувати світлоповертальні елементи (стрічку, наклейку, жилет тощо) або бути в одязі, який має світлоповертальні елементи, для своєчасного їх виявлення іншими учасниками дорожнього руху.

5.3 Забруднення повітря вихлопними газами автомобілів

При роботі двигунів внутрішнього згорання в процесі окислення вуглеводневого палива киснем повітря утворюються нетоксичні (водяний пар, вуглекислий газ) й токсичні речовини [34]. Токсичні - продукти неповного згорання (окисли вуглецю) або побічних реакцій, які проходять при високих температурах (окисли азоту). Деякі токсичні речовини містяться у паливі, при роботі двигуна відбувається викид з відпрацьованими газами (тетраетилсвинець). Утворення токсичних речовин залежить від способів утворення суміші й умов згорання паливоповітряної суміші. Відповідно, бензинові двигуни й дизельні мають відмінності в утворенні токсичних речовин. Згадані компоненти згорання палива (див. табл. 5.1) забруднюють атмосферу над дорогою й негативно впливають на людей.

Таблиця 5.1 – Токсичні речовини, які виділяються при згоранні палива в ДВЗ [44]

| Токсичні речовини | Кількість токсичних речовин при згоранні 1 кг палива в двигуні | | | |
|-------------------|--|------|------------|------|
| | бензиновому | | дизельному | |
| | г | % | г | % |
| Окисли вуглецю | 215 | 73,8 | 25 | 25,5 |
| Окисли азоту | 55 | 18,1 | 38 | 38,8 |
| Вуглеводні | 20 | 6,6 | 8 | 8,2 |
| Окисли сірки | 2,0 | 0,7 | 21 | 21,4 |
| Альдегіди | 1 | 0,3 | 1 | 1,0 |
| Сажа | 1,5 | 0,5 | 5 | 5,1 |
| Усього | 304,5 | 100 | 98 | 100 |

Рівень забруднення атмосферного повітря над дорогою окислом вуглецю X (мг/м³) розраховується за формулою [44]:

$$C = (M \cdot H) / (B \cdot K_1 \cdot V_p), \quad (5.1)$$

де M - коефіцієнт, який характеризує стабільність вітрового режиму на автомагістралі, залежить від висоти і щільності захисних обладнань – зелених насаджень, екранів тощо ($M = 0,6 \dots 1,0$);

H – інтенсивність виділення речовини, мг/с;

B – ширина автомагістралі в світлі – між лініями зелених насаджень, екранами тощо;

K_1 – кратність зміни повітря на автомагістралі за 1 годину при швидкості вітрового потоку $V_b=1$ м/с

$$K_1=3600 \cdot n \cdot \sin f / \beta, \quad (5.2)$$

де n – ажурність (продувальність) при магістральній території ($0 < n < 1$);
 f – кут між віссю автомагістралі й напрямком вітрового потоку ($0 < f < 90$).

Ажурність улаштування або зелених насаджень, враховує її вплив на умови провітрювання автомагістралі, розраховується за формулою:

$$n = r_1 \cdot r_2; \quad (5.3)$$

де r_1 і r_2 - коефіцієнти, які враховують відповідно висоту ($r_1 = 0,5 \dots 0,6$) та композицію зелених насаджень, r_2 – визначається за таблицею 5.2.

Таблиця 5.2 - Значення r_2 при різних способах розміщення насаджень [44]

| Коефіцієнт ажурності, n | Знамення r_2 при композиції озеленіння | | |
|------------------------------|--|---------------|-----------------|
| | Листяні посадки | Окремі дерева | Групова посадка |
| 0 | 0,51 | - | 0,35 |
| 20 | 0,65 | 0,61 | 0,50 |
| 40 | 0,78 | 0,76 | 0,65 |
| 60 | 0,97 | 0,91 | 0,80 |

Відносна протяжність зелених насаджень (ажурність) розраховується за формулою:

$$n = 1 - \sum(f_k * F); \quad (5.4)$$

де f_k – площа зайнята листям, кроною та стовбурами дерев;

F – загальна фронтальна площа проекції зелених насаджень на даній ділянці.

При груповому розташуванні зелених насаджень і ажурності, яка перевищує 60%, розрахунковий коефіцієнт r_2 приймають рівним одиниці.

Розрахункова швидкість вітру V_p може бути розрахована за формулою Ф. Л. Серебровського

$$V_p = V_0 * K_{пер} * t_1 * t_2 * K_{поп}, \quad (5.5)$$

де V_0 – швидкість вітру на метеостанції, м/с;

$K_{пер}$ – коефіцієнт перерахунку висоти вітрового потоку ($K_{пер} = 0,7 \dots 0,8$);

t_1, t_2 – коефіцієнти трансформації, враховуючі відповідно рельєф місцевості й характер озеленіння.

5.4 Транспортний шум

Одним з негативних наслідків автомобілізації є транспортний шум, який не менш небезпечний, ніж забруднення повітря та води [34]. Шумом називають небажаний звук, який заважає людині. Рівень звукового тиску L_p (дБ):

$$L_p = 10 \lg (P / P_0), \quad (5.6)$$

де P – інтенсивність діючого звука (шуму), Вт/м²;

P_0 – інтенсивність звука, яка відповідає порогу чутності при частоті звука 1000Гц (дорівнює 10 Вт/м²).

З формули можна побачити, що при збільшенні інтенсивності звука у 10 разів, рівень звука зростає на 10 Дб. Для оцінки непостійного у часі шуму визначають величину еквівалентного рівня звука:

$$L_{екв} = 10 \lg (1 / T) \cdot t_1 \cdot L_1, \quad (5.7)$$

де T – період часу вимірювання звука, с;

t_1 - інтервал часу, на протязі якого рівень звуку знаходиться в заданих межах, с;

L_1 - середній рівень звуку класу i , дБА.

Транспортний шум збільшується практично пропорційно швидкості й інтенсивності руху, при цьому при руху на підйом важких транспортних засобів рівень шуму збільшується інтенсивніше, ніж у легкових автомобілів, шумність транспортного потоку (в дБА) на відстані 7 м від крайнього ряду автомобілів при інтенсивності руху від 10 до 3000 авт/год:

$$L = 46 + 11,8 \cdot \lg N + D, \quad (5.8)$$

де N – інтенсивність руху автомобілів;

D - сума поправок, які враховують відхилення даних умов від прийнятих середньостатистичних.

Поправка розраховується за формулою:

$$D = D_n + D_v + D_i + D_{тр}, \quad (5.9)$$

де D_n - вплив зміни частки громадського та важкого вантажного транспорту в загальнім потоці: приймають +1дБА на кожні 10% відхилення від стандартної частки у 60%;

D_v - поправка в 1дБА на кожні 2% поздовжнього ухилу дороги або вулиці;
 $D_{тр}$ - облік наявності трамвая на осі вулиці (+3дБА).

Якщо відстань від джерела звуку більш, ніж 200-300м, тоді враховують поглинання шуму в повітрі; при більшому віддаленні ним можливо знехтувати, приймають до уваги лише зниження шуму екрануючими засобами. Для транспортних одиниць, які йдуть у безперервному потоці, розповсюдження шуму у повітряному середовищі на рівній місцевості приймають (в дБА):

$$L_1 = L - 20 \lg(1/7), \quad (5.10)$$

де l – відстань від осі руху транспортного потоку.

Найбільш припустимий рівень звуку на території лікарень, санаторіїв – 35дБА, території, безпосередньо прилеглій до житлових забудов – 45дБА.

5.5 Оцінка рівня транспортного шуму та заходи щодо його зниження

Для розробки шумозахисних заходів на ділянці дороги в населеному пункті необхідно визначити рівень шуму. Рівень транспортного шуму оцінюється за формулою [48]:

$$L_p = L_{\text{трп}} + L_{\text{тяж}} + L_{\text{диз}} + L_{\text{ск}} + L_{\text{ук}} + L_{\text{пок}} + L_{\text{рп}} + L_{\text{к}} + L_{\text{зас}}, \quad (5.11)$$

де L_p – еквівалентний рівень звуку в розрахунковій точці на відстані 7,5м від осі найближчої смуги руху автомобільної дороги, дБА, для умов відсутності розділяючої смуги, на висоті 1,2м над рівнем проїзної частини прямолінійної горизонтальної ділянки дороги з покриттям з мілкозернистого асфальтобетону, в радіусі 50м забудови та інших відображуючих перешкод, розповсюдження шуму над землею;

$L_{\text{тяж}}$ – поправка, яка враховує зміну кількості вантажних автомобілей з карбюраторними двигунами в транспортному потоці у порівнянні з розрахунковим;

$L_{\text{диз}}$ – те ж саме, з дизельними двигунами;

$L_{\text{ск}}$ – поправка на зміну середньої швидкості руху у порівнянні з розрахунковою;

$L_{\text{ук}}$ – поправка на поздовжній ухил;

$L_{\text{пок}}$ – те ж саме, на шорсткість дорожнього покриття;

$L_{\text{рп}}$ – те ж саме, на ширину розділяючої смуги на проїжджій частині;

L_k – те ж саме, на зниження розрахункового рівня звуку поверхневим покривом;

$L_{зас}$ – поправка, яка враховує вплив прилягаючої до автомобільної дороги забудови.

Розрахунковий еквівалентний рівень звуку транспортного потоку $L_{трп}$ визначають за формулою:

$$L_{трп} = 50 + 8,81 \cdot \lg N, \quad (5.12)$$

де N – інтенсивність руху, авт/год, при $N=3000$ авт/год;

$$L_{трп} = 50 + 8,81 \lg 3000 = 80,6 \text{дБА}.$$

Поправку $L_{тяж}$ розраховують у залежності від кількості вантажних автомобілів в потоці (для кількості вантажних автомобілів та автобусів – 65%; $L_{тяж} + 2 \text{дБА}$).

Поправка $L_{диз}$ для кількості автомобілів з дизельним двигуном складає 5%, дорівнює $+1 \text{дБА}$.

Поправка $L_{ук}$ для зміни швидкості руху автомобілів на 7км/год дорівнює: 1дБА .

Поправка на поздовжній ухил $L_{ск}$ є при поздовжньому ухилі, який перевищує 20% (20-40%).

При поздовжньому ухилі до 20% поправку на поздовжній ухил визначають за графіком у залежності від кількості легкових автомобілів у потоці.

При числі автомобілів 30% $L_{ук} = +1,5 \text{дБА}$.

Поправка на шорсткість дорожнього покриття $L_{пок}$ залежить від числа легкових автомобілів, яке складає 30%, дорівнює $L_{пок} = +0,5 \text{дБА}$ (якщо дорожнє покриття пройшло поверхневу обробку).

Збільшення роздільної смуги призводить до зниження еквівалентного рівня звуку незалежно від характеристик транспортного потоку та дорожніх умов.

Заходи для зниження рівня транспортного шуму на ділянці дороги представляють собою насадження захисних зелених насаджень та віддалення житлової забудови від джерела шуму.

На автомобільних дорогах необхідно передбачати наступні смуги зелених насаджень:

- шириною 8 м - між основною проїзною частиною та місцевим проїздом з дворядною посадкою гостролистого клена;

- шириною 3 м - між проїздом та тротуаром з однорядною посадкою кінського каштана;

- шириною 30 м - між червоними лініями дороги, що проектується та житловою забудовою з посадкою листяних дерев (гостролистого клена, широколистої липи, бальзамічного тополя) у вісім рядів у шаховому порядку, а також насаджень кущів з дворядною живою загородою та підліском з білого дерну, сибірського глоду, татарського клена.

Висновки до розділу 5

В даному розділі було виконано аналіз потенційних небезпек при роботі дослідника по роботі щодо збирання інформації про транспортні потоки на досліджуваному перехресті. Також було описано необхідні організаційно-технічні рішення з уникнення згаданих небезпек у роботі дослідника та гарантування його безпечної роботи.

ВИСНОВКИ

Затори на ВДМ вже стало звичним явищем для великих міст України і світу. Накопичений досвід вирішення транспортних проблем у сьогоdnішніх умовах не працює, оскільки принципово змінилися умови руху – значна частина ВДМ функціонує на критичних рівнях завантаження.

Для підвищення ефективності функціонування елементів ВДМ необхідно здійснити оцінку зміни пропускної здатності на ділянках вулиць, потім проаналізувати організацію руху на окремих елементах ВДМ, подивившись, наскільки ефективно організовано рух по смугах, чи раціональні заборони маневрів і т. д.

Незважаючи на велику кількість засобів імітаційного моделювання транспортних потоків, одним з найбільш популярних програмних рішень для виявлення факторів, що впливають на зародження і формування транспортних проблем і знаходження оптимальних шляхів їх врегулювання, є PTV Vissim.

Аналіз інтенсивності руху транспортного потоку за напрямками на перехресті вулиця Пирогова – вулиця Зодчих м. Вінниця дозволив визначити склад потоку, що рухається через дане перехрестя. Легкові автомобілі є переважаючими і у складі 78 % – транспортний потік легковий.

Тривалість циклу роботи світлофорного регулювання перехрестя – 115 с, тривалості фаз: 1 – 23 с, 2 – 46 с; 3 – 23 с; 4 – 23 с. Режими світлофорів на досліджуваному перехресті не враховують реальну ситуацію із завантаженістю напрямків руху транспорту.

Порівняння інтенсивності руху та пропускної здатності у перерізах досліджуваного перехрестя показало, що пропускна здатність цього перехрестя у години «пік» повністю вичерпана, тобто утворюються черги по всім напрямкам.

У порівнянні з існуючим світлофорним регулюванням, за допомогою розрахунку оптимальної тривалості світлофорного циклу на досліджуваному перехресті, запропонований цикл має меншу тривалість на 6 с, завдяки зменшенню тривалості 2-ї фази на 5 с та тривалості 3-ї фази на 1 с.

Аналіз якості вдосконаленої схеми організації дорожнього руху на перехресті дозволив визначити тривалість транспортної затримки у перетині вулиці Зодчих, яка становить 50,5 с, що менше транспортної затримки до вдосконалення на 5,9 с або на 10,5%. Кращого результату вдосконалення організації дорожнього руху за допомогою оптимізації світлофорного регулювання на даному перехресті, на жаль, не досягти, оскільки через перехрестя проходять досить інтенсивні транспортні потоки по всім перетинам.

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

Виконано аналіз потенційних небезпек при роботі дослідника по роботі щодо збирання інформації про транспортні потоки на досліджуваному перехресті та розроблено заходи щодо гарантування його безпечної роботи.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамова Л. С. Аналіз методів визначення складу транспортного потоку / Л. С. Абрамова, І. С. Наглюк, Г. Г. Птиця // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2012. № 17. С. 35–41.
2. Абрамова Л. С. Модели управления дорожным движением для АСУДД / Л. С. Абрамова // Вестник ХНАДУ. 2010. Вып. 50. С. 57–63.
3. Абрамова Л. С. Формализация задачи управления транспортными потоками на улично-дорожной сети крупных городов / Л. С. Абрамова, Н. С. Чернобаев, В. В. Ширин // Прикладная радиоэлектроника. 2009. Т. 8. № 2. С. 188–192.
4. Алексієв О. П. Інструментальні засоби інформаційно-комунікаційної технології моніторингу руху автомобілів / О. П. Алексієв, С. М. Неронов // Матер. III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху». Харків : ХНАДУ, 2013. С. 212–213.
5. 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).
6. 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).
7. Боровской А. Е. Реальный поток насыщения в зависимости от класса легкового автомобиля / А. Е. Боровской, А. Г. Шевцова, В. Г. Шухова // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. 2012. № 2. С. 4–9.
8. Брайловский Н. О. Управление движением транспортных средств / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. М. : Транспорт, 1975. 112 с.
9. 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 Юрїївна Васильєва. Київ, 2007. 19 с.

10. Врубель Ю. А. Координированное управление дорожным движением / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Д. В. Рожанский и др. Минск : БНТУ, 2011. 230 с.

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

12. Гілевич В. В. Вплив змін динамічних характеристик транспортних засобів на значення коефіцієнтів зведення / В. В. Гілевич, І. А. Могила // Тези доповідей Всеукр. наук.-теор. конф. «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання». Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. С. 27–29.

13. Гілевич В. В. Моделювання проїзду регульованого перехрестя з урахуванням впливових чинників / В. В. Гілевич, І. А. Могила // Збірник тез доповідей LXXI Наук. конф. професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. К. : НТУ, 2015. С. 534.

14. 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.

15. Дзюба О. П. Елементи теорії масового обслуговування в організації дорожнього руху / О. П. Дзюба, Н. Т. Кунда. К. : УТУ, 1996. – 28 с.

16. Дзюба А. П. Повышение пропускной способности регулируемых пересечений в одном уровне : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.14 «Строительство автомобильных дорог» / Александр Петрович Дзюба. К. : КАДИ, 1989. 176 с.

17. Донченко В. В., Кунин Ю. И., Мехоношин В. В., Казьмин Д. М. Транспортное моделирование: Методологические основы, программные средства и практические рекомендации. М.: Автополис-плюс, 2008. 112 с.

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

19. 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 10.10.2021).

20. Законодавство України [Електронний ресурс]. URL: [//https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/4880](https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/4880) (Дата звернення: 22.10.21).

21. 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.

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

23. 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.

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

25. Киев, Одесса, Харьков и Днепр попали в рейтинг городов с самыми большими пробками в мире. URL: https://www.epravda.com.ua/rus/news_/2021/01/13/669937/ (Дата звернення 10.10.2021)

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

27. Левашев А. Г. Идеальный поток насыщения на регулируемом пересечении [Электронный ресурс] // Транспортная лаборатория ИрГТУ: [сайт] / А. Г. Левашев, И. М. Головных. Режим доступа: http://transport.istu.edu/downloads/satur_flow.pdf (07.10.17). Загл. с экрана.

28. Левашев А. Г. Модели определения коэффициентов приведения к легковому автомобилю для регулируемых пересечений [Электронный ресурс] //

Транспортная лаборатория ИрГТУ: [сайт] / А. Г. Левашев, А. Ю. Михайлов. – Режим доступа: <http://transport.istu.edu/downloads/pcu.pdf> (07.10.17). Загл. с экрана.

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

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

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

32. 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.

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

34. 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 10.11.2021).

35. 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 10.11.21).

36. 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.

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

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

39. Руководство пользователя программы VISSIM 5.10 [Електронний ресурс]. СПб. : А+С Консалт, 2009. 542 с.

40. Сватко В. В. Методика визначення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля з використанням моделі ефективного транспортного засобу [Електронний ресурс] / В. В. Сватко. 2013. Режим доступу до статті: <http://www.sworld.com.ua/konfer30/1005.pdf> (07.10.21). Назва з екрана.

41. Семенов В. В. Математическое моделирование автотранспортных потоков: (обзорный реферат) [Электронный ресурс] / В. В. Семенов. 2003. Режим доступа: <http://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/IPMreview.pdf> (07.10.17). Загл. с экрана.

42. Семенов В. В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / Семенов В. В. М., 2004. 44 с. (Препринт / Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН).

43. Семченко Н. А. Моделирование движения транспортных потоков на перекрестках / Н. А. Семченко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Харьков : НТУ ХПИ, 2011. № 58. С. 90–93.

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. Дмитриченка. К. : Знання України, 2005. 452 с.

45. Сисстук В. А., Богачевский А. А., Шумский В. Ю. «Возможности использования программы имитационного моделирования PTV VISSIM для подготовки специалистов по направлениям «Транспортные технологии» и

«Автомобильный транспорт», Інформаційні технології і засоби навчання, 2016, Том 52, №2. С. 93-107.

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

47. 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.

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

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

50. Sosin J. A. Delays at Intersections Controlled by Fixed-Cycle Traffic Signals / J. A. Sosin //Traffic Engineering and Control. 1980. Vol. 21. No. 8. pp. 407–413. Department of Transportation, 2008. 264 p.

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

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

53. VISSIM. [Електронний ресурс]. URL: [http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/\(07.10.21\)](http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/(07.10.21)). Назва з екрана.

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доц. С.В. Цимбал

«__» _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
на тему: Вдосконалення організації дорожнього руху на
елементах вулично-дорожньої мережі міста Вінниці (на
прикладі перехрестя вулиця Пирогова - вулиця Зодчих)
08-29.МКР.205.00.000.ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., доцент кафедри АТМ
наук. ступінь, вчене звання (посада)

_____ Кашканов В.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Студент групи _____ 1ТТ-20м
назва групи

_____ Лужанський Д.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Вінниця 2021 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

наказ № 277 по ВНТУ від «24» вересня 2021 р. про затвердження теми МКР.

2. Мета і призначення магістерської кваліфікаційної роботи

Магістерська кваліфікаційна роботи призначена для розробки рекомендацій щодо вдосконалення організації дорожнього руху на елементах вулично-дорожньої мережі міста Вінниця.

Мета роботи: покращення показників управління дорожнім рухом на перехресті вулиця Пирогова – вулиця Зодчих міста Вінниця.

Для виконання МКР необхідно розв'язати такі задачі:

- обґрунтувати актуальність підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста;
- виконати теоретичні дослідження методів вдосконалення організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі;
- виконати аналіз стану організації дорожнього руху на перехресті вулиця Пирогова - вулиця Зодчих міста Вінниця;
- розробити заходи з удосконалення організації дорожнього руху та їх моделювання у PTV Vissim.
- розробити заходи з охорони праці при натурних обстеженнях транспортних потоків на досліджуваному перехресті.

3. Вихідні дані для написання магістерської кваліфікаційної роботи

Законодавство України в галузі дорожнього руху, безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; район експлуатації автомобілів – м. Вінниця; перехрестя вул. Пирогова – вул. Зодчих м. Вінниця; особливості руху транспортних потоків в умовах міста; засоби організації дорожнього руху на перехресті вул. Пирогова – вул. Зодчих м. Вінниця; об'єкт дослідження – управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі міста. похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

4. Виконавець МКР – Лужанський Дмитро Миколайович, ст. гр. 1ТТ-20м.

5. Вимоги до виконання МКР

В процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи потрібно – обґрунтувати актуальність підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста, провести теоретичні дослідження методів вдосконалення організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі, виконати аналіз стану організації дорожнього руху на перехресті вулиця Пирогова - вулиця Зодчих міста Вінниця та розробити заходи з удосконалення організації дорожнього руху, виконати імітаційне моделювання організації дорожнього руху у програмному комплексі PTV Vissim.

6. Етапи МКР і терміни їх виконання

| Етапи МКР | Зміст етапу | Термін виконання | Очікувані результати |
|----------------------------|---|------------------|----------------------|
| Вибір напрямку дослідження | <ul style="list-style-type: none"> Добір, вивчення та узагальнення наукової та статистичної інформації Розгляд можливих напрямів досліджень та їх оцінювання Вибір напрямку дослідження Обґрунтування прийнятого напрямку дослідження Розроблення, погодження і затвердження ТЗ на МКР | 27.09-04.10.2021 | розгорнутий план МКР |
| Основна частина роботи | <ul style="list-style-type: none"> Обґрунтування актуальності підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста | 05.10-12.10.2021 | Розділ 1 |
| | <ul style="list-style-type: none"> Теоретичні дослідження методів вдосконалення організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі | 13.10-31.10.2021 | Розділ 2 |
| | <ul style="list-style-type: none"> Аналіз стану організації дорожнього руху на перехресті вулиця Пирогова - вулиця Зодчих міста Вінниця | 01.11-07.11.2021 | Розділ 3 |
| | <ul style="list-style-type: none"> Розробка заходів з удосконалення організації дорожнього руху та їх моделювання у PTV Vissim | 08.11-15.11.2021 | Розділ 4 |
| | <ul style="list-style-type: none"> Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 08.11-21.11.2021 | Розділ 5 |
| | <ul style="list-style-type: none"> Складання висновків за результатами досліджень | 16.11-30.11.2021 | Висновки МКР |

| | | | |
|---|---|------------------|-------------------------------------|
| Узагальнення результатів досліджень, підготовка до захисту роботи | <ul style="list-style-type: none"> • Узагальнення результатів теоретичних та аналітичних досліджень та написання доповіді на захист МКР • Оформлення ілюстративного матеріалу, реферату, підготовка презентації МКР в редакторі Microsoft Office PowerPoint. • Одержання відзиву наукового керівника та рецензії | 01.12-08.12.2021 | Ілюстративний матеріал, презентація |
|---|---|------------------|-------------------------------------|

7. Очікувані результати

На основі одержаних наукових результатів отримати практичні рекомендації щодо вдосконалення організації та управління дорожнім рухом на перехресті вулиця Пирогова - вулиця Зодчих міста Вінниця, використовуючи засоби імітаційного моделювання у PTV Vissim

8. Матеріали, які подають після завершення написання МКР та її етапів

Переплетена пояснювальна записка магістерської кваліфікаційної роботи; графічний матеріал; відгук керівника; відгук опонента.

9. Порядок приймання МКР та її етапів

Результати магістерської кваліфікаційної роботи розглядаються на процентовках керівником роботи та завідувачем кафедри відповідно до етапів роботи та термінів їх виконання; проводиться попередній захист роботи та офіційний захист магістерської кваліфікаційної роботи.

Дата початку роботи – 27 вересня 2021 р.

Граничний термін закінчення робіт – 8 грудня 2021 р.