

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Транспортний
(повне найменування факультету)

«Транспортні технології»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

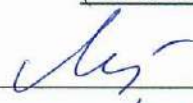
магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ СВІТЛОФОРНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ НА ПЕРЕХРЕСТІ ПРОСП. СОБОРНОГО ТА
БУЛЬВ. ШЕВЧЕНКА У М. ЗАПОРІЖЖІ

Виконав: студент ІІ курсу, групи T-322м

Спеціальності 275 «Транспортні технології
(за видами)»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
275.03 «Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)»

 Олексій ЛЮБАВІН
(прізвище та ініціали)
Керівник  Вячеслав ТРУШЕВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)
Рецензент  Андрій ЩЕРБИНА
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет _____ Транспортний _____
Кафедра _____ «Транспортні технології» _____
Ступінь вищої освіти _____ магістр _____
Спеціальність _____ 275 «Транспортні технології (за видами)» _____
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) 275.03 «Транспортні технології (на _____
автомобільному транспорті)» _____
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортні технології»

Сергій ТУРПАК

«01» листопада 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ЛЮБАВІНА Олексія Анатолійовича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Оптимізація параметрів режиму світлофорного регулювання на пере-хресті просп. Соборного та бульв. Шевченка у м. Запоріжжі

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. ТРУШЕВСЬКИЙ Вячеслав Едуардович
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «21» листопада 2023 року №450

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 15 грудня 2023 р.

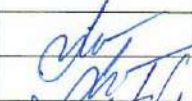
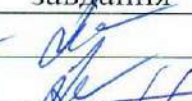
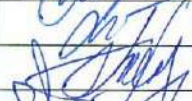
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) існуюча вулично-дорожня мережа, існуючі характеристики транспортних та пішохідних потоків, існуюча схема організації дорожнього руху

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітична частина, 2. Основна частина, 2.1 Розрахунок нових програм регулювання руху транспорту, 2.2 Організація запобігання порушенням правил дорожнього руху пішоходами, 2.3 Організація руху автомобільного транспорту в нових умовах, 3 Економічна частина, 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Презентація магістерської роботи

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ТРУШЕВСЬКИЙ В.Е., доцент		
2	ТРУШЕВСЬКИЙ В.Е., доцент		
3	ХАРЧЕНКО Т.В., старш. викл.		
4	ЛАЗУТКІН М.І., доцент		

7. Дата видачі завдання «01» листопада 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналітична частина	30.10.2023-06.11.2023	
2	Основна частина	07.11.2023-20.11.2023	
3	Економічна частина	21.11.2023-27.11.2023	
4	Охорона праці	28.11.2023-01.12.2023	
5	Оформлення МР, перевірка МР на плагіат, отримання зовнішніх рецензій, захист магістерських робіт	01.12.2023-25.01.2024	

Студент(ка)


(підпис)

Олексій ЛЮБАВІН
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Вячеслав ТРУШЕВСЬКИЙ
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 68 с., 14 табл., 15 рис., 11 джерел.

ДОРОЖНІЙ РУХ, БЕЗПЕКА РУХУ, СВІТЛОФОР, ДОРОЖНЯ РОЗМІТКА, КООРДИНОВАНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, ТЕЛЕМЕХАНІКА, ДИСТАНЦІЯ, ГРАФІК.

Об'єкт дослідження – район перехрестя Соборного проспекту та бульв. Шевченка у м. Запоріжжі.

Мета роботи – аналіз та удосконалення організації та регулювання дорожнього руху в районі перехрестя Соборного проспекту та бульв. Шевченка у м. Запоріжжі.

Методи дослідження – документальний аналіз матеріалів дорожньо-транспортних пригод, картографічне дослідження геометричних характеристик вулично-дорожньої мережі, візуальний підрахунок інтенсивності дорожнього руху, графо-аналітичний метод побудови графіків координованого світлофорного регулювання.

Досліджено організацію та регулювання дорожнього руху на перехресті Соборного проспекту та Фортечної вулиці м. Запоріжжя, при цьому виявлено недоліки у застосуванні технічних засобів організації дорожнього руху. За результатами дослідження визначено оптимальні структуру та параметри режиму світлофорного регулювання.

ЗМІСТ

	с.
Завдання.....	2
Реферат.....	4
Вступ.....	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Сучасні підходи до автоматизованого керування світлофорними об'єктами	7
1.2 Аналіз дорожньо-транспортної ситуації	18
1.3 Аналіз виявлених недоліків та постановка задач проектування ..	25
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	26
2.1 Проектування заходів організації дорожнього руху	26
2.1.1 Обґрунтування оперативних заходів ОДР	26
2.1.2 Розрахунок режиму роботи світлофорного об'єкту	29
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	48
3.1 Розрахунок капітальних витрат	48
3.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат	49
3.3 Економія від зменшення затримок транспорту на перехресті	50
3.4 Розрахунок терміну окупності проекту	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55
4.1 Аналіз потенційних небезпек	55
Висновки	57
Перелік джерел посилання	58
Додаток А – Розробка заходів з охорони праці	60

ВСТУП

Значне підвищення інтенсивності руху транспорту та пішоходів без суттєвого підвищення пропускної здатності вулично-дорожньої сітки, а, головним чином, центральних за посередництвом транспортних та транспортно-пересадочних вузлів призвели на даний момент до створення передумов до виникнення заторів у пікові години на основних магістралях міста по найбільш завантаженим напрямкам руху.

Застосування застарілих технологій для розрахунку режимів світлофорного регулювання, а саме для визначенні їх структур і параметрів зводить нанівець плановий економічний ефект від нещодавно проведеної повної заміни центрального та периферійного обладнання для керування світлофорними об'єктами, проведеного у центральній частині міста.

Застосовані для розрахунку пофазні принципи заважають повному використанню можливостей апаратури для локального, координованого та гнучкого регулювання, створюють надмірні непродуктивні транспортні затримки. Які передусім проявляються на транспортних засобах вискової пасажиромісткості.

Також необхідно забезпечити відповідність діючої організації руху та режимів регулювання, для чого на основі наявних даних про інтенсивності та напрями руху, про склад транспортних потоків, переглядаються та впроваджуються схеми організації дорожнього руху.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ СВІТЛОФОРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Світлофор - оптичний пристрій, що подає світлові сигнали для регулювання руху всіх видів транспорту та пішоходів. За роки свого існування пристрій зазнав безліч змін, проте кольори сигналів попередника використовуються і в сучасних моделях [1]. Більшість світлофорів працюють за фіксованим циклом, при якому кожна фаза регулювання повторюється через певний проміжок часу.

Цей режим роботи простий, проте він виявляється неефективним за інтенсивного руху. Більш досконалою альтернативою є розробка інтелектуального світлофора на основі нечіткої логіки. Прототип інтелектуального світлофора з'явився наприкінці 1920-х років. на перехресті було встановлено детектор для отримання даних про дорожній рух [2]. Отримана інформація передавалася на світлофор, який вмикався «червоним» світлом тільки в тому випадку, коли на другорядній дорозі наближався автомобіль. Програми з нечіткою логікою для керування світлофорами використовуються з 1970 років. Перевагою нечіткою логікою є її здатність моделювати процес прийняття рішення людиною та видавати приблизні рішення у випадках, коли опис математичними методами неможливо [3].

У роботі [4] метою дослідження була розробка системи інтелектуального контролера для управління світлофорним об'єктом. Проведено порівняльний аналіз роботи звичайного світлофора та розробленого пристрою. В ході експерименту вчені з'ясували, що контролер з нечіткою логікою успішно адаптується відповідно до щільності руху і значно скорочує час очікування дозволяючого сигналу. Недоліки роботи [4] полягають у тому, що для кожного сигналу (червоний, жовтий, зелений та ін.) створена окрема база нечітких правил, що збільшує час роботи нечіткою

системи. Крім того, для всіх світлофорів передбачені індивідуальні мікроконтролери, що також призводить до зниження продуктивності обчислювальної системи. У роботі [5] дослідження спрямовані на отримання мінімального часу очікування зеленого сигналу. Параметри нечіткого регулятора визначалися з допомогою алгоритму навчання із підкріпленням. Однак для такого виду навчання необхідний час і це знижує ефективність роботи цієї системи. У роботі [5] експерименти проводилися для кількох варіантів транспортних розв'язок. На певній відстані були встановлені детектори для отримання інформації про транспортне потік. Вхідними даними була максимальна довжина затору у відповідному напрямку. Недоліком роботи [5] є нечіткі правила, створені для кожного світлофорного сигналу, що збільшує їх кількість та знижує продуктивність системи. Запропонована модель інтелектуального світлофора стежить за щільністю транспортного та пішохідного потоку та підлаштовується під дорожню ситуацію. Враховуючи введені значення кількості машин та людей на перехресті, програма варіює значення часу на кожен фазу інтелектуального світлофора, завдяки чому тривалість зеленого сигналу збільшується на найбільш завантаженому напрямі. Використання таких систем на вулицях міст вирішує основні транспортні проблеми, такі як затори, аварійність, підвищує безпеку дорожнього руху, а також збільшує середню швидкість міського потоку.

Розроблена нечітка логічна система управління інтелектуальним світлофором призначена для перехрестя з пішохідним переходом [6]. У системі є дві вхідні змінні: кількість автомобілів та кількість пішоходів, що визначаються за допомогою системи нагляду. Нечіткою вихідною змінною є час, на який необхідно збільшити тривалість роботи сигналу світлофора. На рис. 1 представлена схема перехрестя із застосуванням інтелектуальних світлофорів.

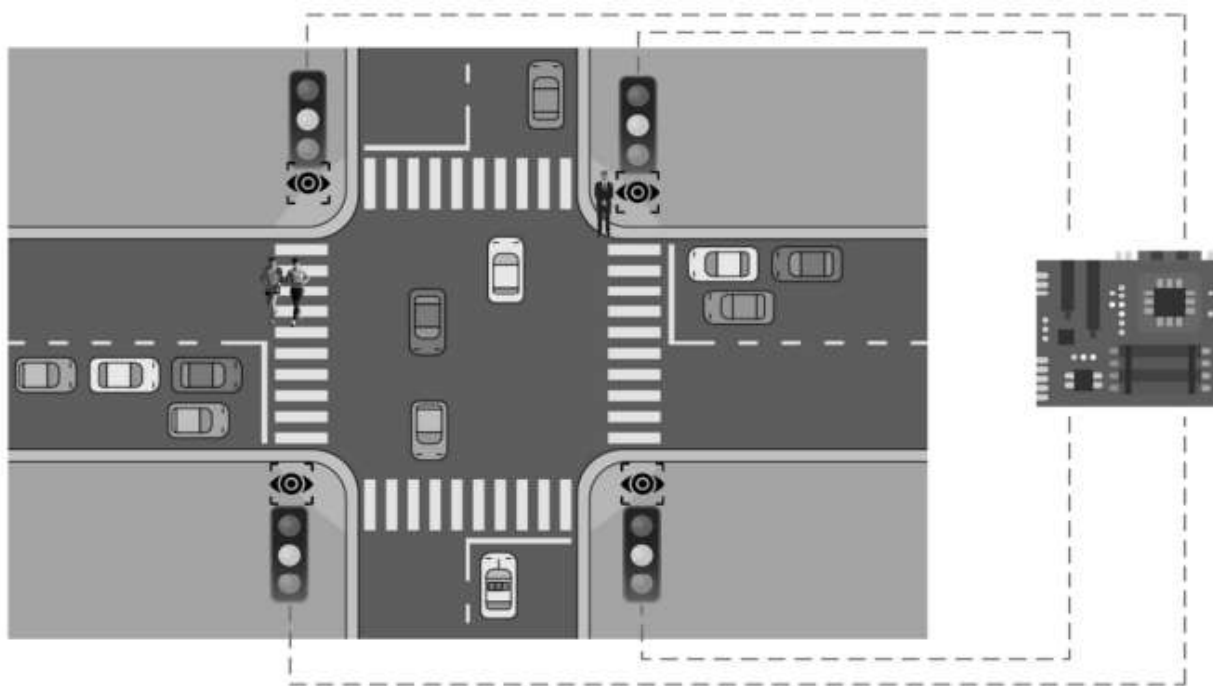


Рисунок 1.1 – Схема перехрестя із застосуванням кібернетичних світлофорів

Процес керування транспортним потоком поділено на кроки, що відповідають одному циклу програми. Кожен крок включає наступні етапи: 1. Визначення чітких вхідних змінних. 2. Фазифікація значень вхідних змінних. 3. Вибірка рішень на основі лінгвістичних змінних та ряду нечітких правил. 4. Дефазифікація значень. 5. Визначення часу затримки дозволяючого сигналу світлофора.

Розглянемо математичну модель нечіткої логічної системи керування інтелектуальним світлофором.

Крок 1. Побудова функцій належності нечіткої системи та розрахунок ступенів функції належності.

Крок 2. Розрахунок ступенів істинності причин нечітких правил відбувається з урахуванням основи нечітких правил.

Крок 3. Усічення функцій власності залежно від нечітких правил.

Крок 4. Мітки та дефазифікація. Обчислення значення дефазифікації чіткого значення виконується методом спрощеного центру тяжіння.

Нині спостерігається зростання потреб у проектуванні та впровадженні інтелектуальних транспортних систем (ІТС) для «розумного міста», обумовлений трафіком, що постійно збільшується, що зумовлює формування множинних дорожніх заторів. При цьому одним із найперспективніших напрямів еволюційного розвитку ІТС є використання «розумних» світлофорів, що аналізують динаміку та структуру транспортних та пішохідних потоків.

Відомі різні підходи до раціонального керування світлофорами, зокрема, на основі інформаційного обміну [7], з використанням методів машинного навчання із підкріпленням, на основі змішаного цілісного програмування, за допомогою генетичних та роевих оптимізаційних алгоритмів, а також штучних нейронних мереж, нечіткою логіки, кластеризації та адаптивного управління в ІТС. Для вивчення поведінки та оптимізації характеристик ІТС застосовуються різні комбіновані підходи, наприклад, методи агентного та дискретно-подійного моделювання, підтримувані в AnyLogic, спільне керування сигналами світлофорів та траєкторіями руху транспортних засобів, адаптивне управління на основі прогнозової моделі та навчання з підкріпленням.

Разом з тим, більшість подібних підходів застосовується для ІТС спрощеною конфігурацією, наприклад, для двох послідовно розташованих перехресть, одного перехрестя, що складається із двох доріг і т.і. Різні сценарії, що визначають періодичну динаміку взаємодіючих транспортних та пішохідних, при цьому не враховуються. Як правило, суттєві труднощі виникають при управлінні характеристиками ІТС з більш складною геометрією типу «Манхеттенські ґрати».

У подібних ІТС, неузгоджене управління станами хоча б одного світлофора, як правило, призводить до зміни швидкості ТЗ та щільності дорожнього руху на всіх пов'язаних маршрутах. При цьому для максимізації трафіку вихідного потоку необхідно здійснювати ефективне управління світлофорами, забезпечуючи періодичну пріоритезацію між ТЗ та пішоходами. Так, наприклад, при скупченні значної кількості людей на

регульованому пішохідному переході, обґрунтовано включення сигналу світлофора (подібний підхід, зокрема, вже успішно застосовується у вуличній дорожній мережі деяких міст в Австрії¹). При цьому, основне призначення «розумних світлофорів» полягає в моніторингу транспортних потоків і виборі оптимальних моментів часу для перемикання регулюючих сигналів.

Найбільші труднощі під час керування транспортними потоками обумовлені ефектом «хвильового зниження швидкості», як у результаті гальмування транспортних засобів у світлофора, всі наступні за ним водії ненавмисно прагнуть збільшення безпечної дистанції, сприяючи формуванню дорожніх заторів. Тому необхідно вивчати неоднорідну просторову динаміку агентів та використовувати дані про структуру транспортних та пішохідних потоків для адаптивного керування світлофорами.

Означених недоліків позбавлена імітаційна модель гетерогенних транспортних потоків у «розумному місті» з адаптивним керуванням поведінкою світлофорів на основі нечіткої кластеризації. У рамках подібної моделі, прийняття індивідуальних рішень про перемикання регулюючих сигналів світлофорів засноване на нечіткій оцінці дорожньої ситуації, що включає еволюційну динаміку як транспортних, так і пішохідних потоків (тобто при рівному пріоритеті щодо до автомобілів та пішоходів).

При цьому вирішується важливе завдання з максимізації сумарного трафіку вихідного потоку при різних сценаріях, зокрема, для ІТС із просторово-однорідними та періодичними характеристиками потоків. Подані в роботі сценарії, що відповідають оптимальним управлінням, а також, загалом, запропонована універсальна імітаційна модель з можливістю подальшої модифікації вивчається геометрії перехресть може бути розглянута як елемент комплексної системи ухвалення рішень в управлінні міськими службами.

Розглядається ключовий фрагмент багатоагентної транспортної системи типу «Манхеттенські ґрати», що складається з чотирьох взаємопов'язаних вузлів-перехресть, що допускають довільну зміну напрямків руху ТЗ, тобто.

рух по прямій, повороти ліворуч і праворуч, а також розворот і рух у зворотному напрямку (рис. 1.2).

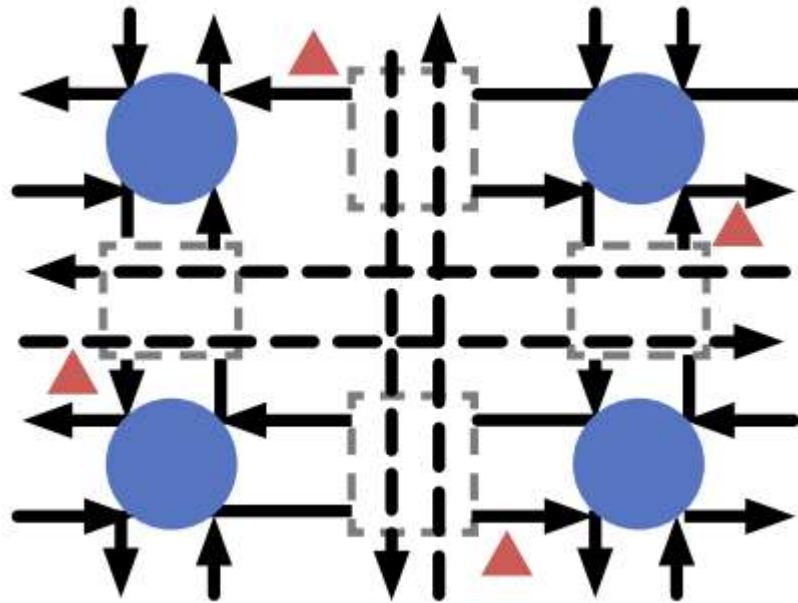


Рисунок 1.2 – Загальна схема транспортної системи типу «Манхетенська ґратка»

Раніше досліджено динаміку транспортних потоків у системах класу «Манхетенські ґрати» та запропоновано різні способи їх оптимізації, переважно засновані в управлінні маршрутами транспортних засобів, тобто. пошуку та призначення оптимальних маршрутів для кожного агента, зокрема, з використанням генетичних алгоритмів. При цьому одним з важливих способів зниження навантаження на ІТС, є покращення маневреності транспорту, у тому числі за рахунок вибору найменш завантажених смуг руху, визначення яких реалізується з використанням алгоритму нечіткої кластеризації. Існуючі методи покращення трафіку дорожнього потоку реалізуються переважно для безпілотних транспортних засобів (БТЗ), яким можна "призначити" оптимальний маршрут залежно від ситуації. на просторову динаміку звичайних транспортних засобів, найбільший вплив мають «розумні» світлофори, що регулюють рух транспортних та пішохідних потоків. Зокрема, вони дозволяють ефективно перерозподіляти потоки

транспорті на перехрестях та пішохідних переходах, перешкоджаючи формуванню дорожніх заторів.

Подібні дорожні затори утворюються в основному в результаті «хвильового зниження швидкості», проілюстрованого на рис. 1.3.

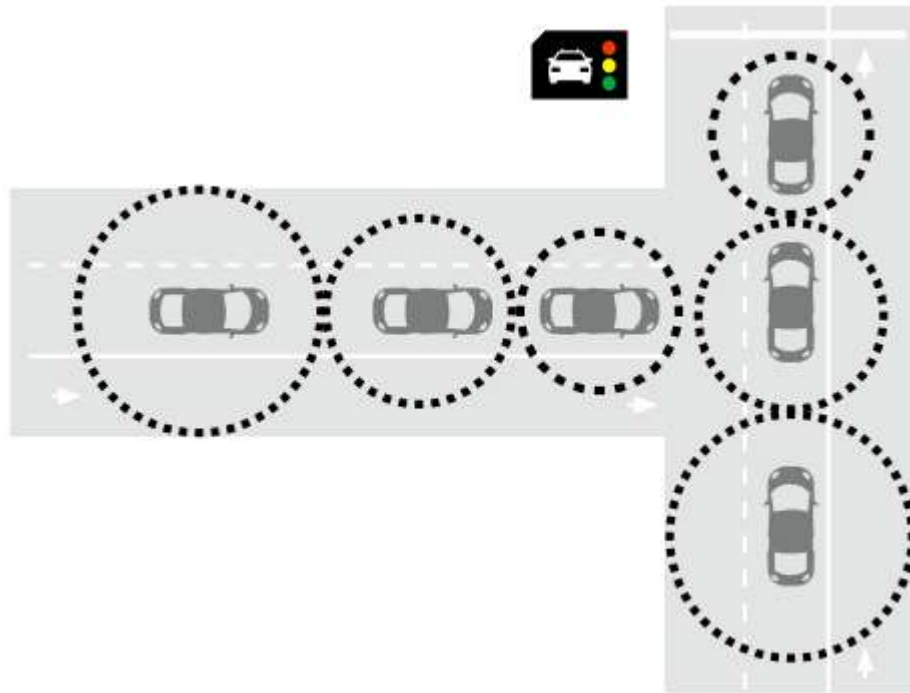


Рисунок 1.3 – Ілюстрація ефекту хвильового зниження швидкості

При гальмуванні транспортних засобів, наприклад, у стоп-лінії регульованого пішохідного переходу або перед найближчою перешкодою у вигляді іншого автомобіля, наступний за ним автомобіль, через психологічні особливості реакції водія, як правило, загальмує сильніше, щоб зберегти безпечну дистанцію збільшивши радіус свого особистого простору. Далі, ефект збільшення «безпечної» дистанції («розширення» особистого простору) поширюється ланцюгово, зменшуючи швидкість потоку в міру віддалення від початкового джерела затору (світлофора), аж до повної зупинки. Для моделювання просторової динаміки агентів в ІТС (транспортних засобів та пішоходів) можна використовувати системи кінцево-різносних рівнянь зі змінною структурою, що дозволяє врахувати різні сценарії взаємодії

транспортних засобів один з одним і із зовнішнім середовищем та вплив радіусу особистого простору кожного агента.

Розглянемо типи алгоритмів та апаратуру, що застосовується на перехрестях для керування світлофорною сигналізацією.

1. Контролери жорсткого керування з фіксованими тривалостями фаз за окремими напрямками перехрестя. Світлофорні сигнали перемикаються за однією або декількома заздалегідь заданими тимчасовими програмами. Такі контролери призначені для управління дорожнім рухом на перехрестях з мало змінною протягом дня інтенсивністю руху.

2. Викличні пристрої, які забезпечують перемикання світлофорних сигналів на виклик пішоходами або транспортними засобами, що прибувають з прилеглих до магістралі вулиць. Ці контролери призначені для управління епізодичним рухом пішоходів або транспортних засобів по напрямках, що перетинають магістраль. Тривалості дозвільних сигналів для пішоходів та транспортних засобів, як і в попередньому випадку, фіксовані. Останнім часом викликові пристрої не випускають окремо. Виклик фази на запит пішоходів забезпечують контролери всіх типів.

3. Контролери адаптивного управління забезпечують непостійну тривалість фаз (дозвільних сигналів). Вони призначені керувати рухом на перехрестях, де інтенсивність руху часто змінюється протягом доби. Тривалість сигналів так само, як і всього циклу регулювання, змінюється в заздалегідь заданих межах від мінімального до максимального значення.

За способом переробки цієї інформації алгоритми адаптивного керування можна розділити на три групи.

1. Алгоритми, що передбачають перемикання сигналів світлофора за інформацією про стан перехрестя у цьому циклі регулювання.

2. Алгоритми статистичної оптимізації, що дозволяють за інформацією про стан перехрестя в даний момент визначити параметри керування на наступний момент часу на основі імовірнісного прогнозування цього стану.

3. Алгоритми випадкового пошуку. Параметри керування змінюються випадково з одночасним аналізом критерію ефективності (наприклад, затримки). Управління вважається оптимальним при досягненні максимуму чи мінімуму критерію ефективності (мінімуму затримки).

Принцип адаптивного керування досить простий. Повністю активні типи світлофорів примітні тим, що тривалість сигналів на кожному під'їзді до перехрестя залежить від показань детекторів транспорту. Кожній фазі відповідає мінімальне та максимальне значення тривалості дозволяючого та заборонного сигналів. Тривалість циклу варіюється. Для реалізації адаптивного управління на перехресті, необхідно обладнати його транспортними детекторами на підходах до перехрестя, а для більш розвиненої системи регулювання необхідно обладнати детекторами також виїзди з перехресть.

В основному використовуються кілька видів алгоритми регулювання адаптивних систем. Найбільш поширеними вважаються алгоритми, що передбачають перемикання сигналів світлофора за інформацією про стан перехрестя на поточному циклі регулювання. У свою чергу, цей алгоритм містить кілька підвидів. алгоритмів.

Найширше застосовується алгоритм пошуку розриву в транспортному потоці в напрямку дії дозволяючого сигналу при фіксованих значеннях керуючих параметрів (час, ознака розриву у потоці, мінімальна та максимальна тривалості дозволяючого сигналу). Основними параметрами управління, що використовуються в рамках даного алгоритму, є мінімальна тривалість основного такту, максимальна тривалість основного такту та екіпажний час (інтервал, що визначає розрив у потоці).

Спочатку відпрацьовується мінімальна тривалість такту. Якщо під час її дії детектор фіксує транспортний засіб на під'їзді до перехрестя, то сигнал продовжується на період екіпажного часу. Якщо транспортного засобу немає, то сигнал перемикається на заборонний. Дозволяючий сигнал не може тривати довше за задану максимальну тривалість такту.

Широко використовується модель оцінки часу зеленого сигналу. В основі даного методу лежить концепція багатокутника накопичення черги, що відображає кількість автомобілів у черзі перед стоп-лінією протягом всього циклу. Завдання управління полягає в мінімізації площі багатокутника накопичення черги з урахуванням вагових значень напрямів руху. Вибір технології управління залежить від рівня густини розміщення транспортних детекторів на перехрестях. Рівень щільності розміщення детекторів є якісним показником, що визначається як середня кількість детекторів, встановлених однією перехресті.

Фактично при рівні щільності розстановки детекторів від 0.0 до 1.0 їхні функції сильно обмежені та одержувані за їх допомогою дані недостатні для надання помітних управлінських впливів на транспортні потоки. Тому з більшою імовірністю на практиці засосовуються ті системи світлофорного регулювання, де щільність розміщення транспортних детекторів складає 1.0 і вище.

При застосуванні координованого світлофорного регулювання управління передбачає роботу з помірною щільністю детекторів (з рівнем щільності мережевих детекторів 2.0 та 2.5) та використовує гнучкі плани світлофорної синхронізації, в яких зміщення та тривалості фаз і тактів можуть бути скориговані внаслідок детектування змін умов руху на основі циклічної технології корекції управління.

Системи, побудовані за даної технології повинні мати від одного транспортного детектора на кожен під'їзд до перехрестя, до одного детектора на кожен смугу руху кожного під'їзду до перехрестя. Цикл, фаза та зміщення повинні бути оптимізовані для реалізації гнучкого плану синхронізації. При цьому плани світлофорного регулювання змінюються через регулярні проміжки часу у розмірі щонайменше 15 хв. Розстановка детекторів із щільністю 2.0 характеризується синхронізацією програм світлофорного регулювання, що вибираються з списку або обчислених на основі поточного стану транспортного потоку, що відстежується детекторами у реальному часі.

Рівень густини розташування у 2.0 забезпечує середню густину детекторів, від одного детектора на кожному під'їзді до перехрестя до одного детектора на кожному смугу руху кожного під'їзду до перехрестя Рівень густини 2.5 забезпечує високу густину детекторів, з щонайменше одним детектором на кожному смугу руху кожного під'їзду до перехрестя. Наприклад, такий тип під'їзду до перехресть використовує системи SCATS (Сіднейська система адаптивного координованого управління), або SCOOT (Метод оптимізації фаз, циклів та зміщень).

Цей рівень щільності використовується в системах світлофорного. регулювання, що мають швидкий відгук на зміну параметрів транспортного потоку. До цих типів належать системи, в яких ключові аспекти тимчасового планування можуть бути змінені з затримкою між сигналом синхронізації оновлення плану та можливим оновленням термінів плану трохи більше 15 хв. Також рівень густини установки детекторів 2.5, як правило, дані системи можуть включати у собі деякі форми прогнозування руху транспорту, наприклад, системи SCOOT можуть вносити невеликі прогнозні коригування (не більше 4 с) до часу зміщення, фаз, та циклу у кожному циклі.

При застосуванні повністю адаптивного керування трафіком технологія передбачає роботу з двома датчиками на смугу руху, що забезпечує під'їзд до перехрестя, що функціонують у зв'язці для підвищення ефективності (рівень густини мережевих детекторів – 3,0). Адаптивна система не має фіксованого циклу, фаз, або усунення у класичному сенсі. Дані системи передбачають трафік на найближчу перспективу та заздалегідь змінюють синхронізацію сигналу, включаючи вибір та послідовність фаз.

Глибина горизонту прогнозування є ключовим елементом технологічності систем чистого адаптивного управління та досягає 20 с. Чисте адаптивне керування не має зміщення або попередньої синхронізації з потоком у класичному розумінні, оскільки сигнали налаштування перебувають у постійній адаптації. Системи світлофорного управління, що реалізують чисте адаптивне управління, часто являють собою розподілену

систему з алгоритмами, що працюють з окремими контролерами, які працюють у мережевої координації.

Рівень щільності 3.0 відповідає двом або більше транспортним детекторам на під'їзд до перехрестя. При цьому рівні щільності всі часові інтервали сигналів обчислюються та змінюються на основі безперервного прогнозу транспортних засобів, що підходять до перехрестя у реальному часі. Рівень густини 3.0 також включає систему захисту зони неоднозначності прийняття рішення на головних напрямках руху та поблизу транспортних детекторів для захисту другорядних підходів до перехрестя.

При реалізації рівня густини установки детекторів транспорту 3.5 використовують детектори ідентифікації, класифікації та трекінгу транспортних засобів. Даний рівень густини дозволяє визначати реакцію транспортного потоку в адаптивних транспортних системах. Цей рівень дозволяє ідентифікувати кожен транспортний засіб, що підходить до перехрестя, а також за допомогою кластеризації дозволяє визначити, коли цей автомобіль залишить перехрестя. Детектори для обслуговування рівня щільності 3.5 ще розробляються, та обробляються перші результати досліджень на вулично-дорожній мережі.

1.2 АНАЛІЗ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОЇ СИТУАЦІЇ

Розглянемо характеристики транспортних потоків, що рухаються означеною ділянкою вулично-дорожньої мережі (ВДМ). Серед них виділяємо інтенсивність руху та склад транспортного потоку.

Інтенсивність руху – це кількість транспортних засобів, що проїздить певний переріз проїзної частини протягом одиниці часу. Зазвичай інтенсивність руху для полегшення розрахунків та подання нормативів зводиться до величини, вираженої у легкових автомобілях та приймається у

розрахунку за 1 годину. Для зведення інтенсивностей до легкових авто використовуються зазначені у ДБН коефіцієнти зведення (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 - Коефіцієнти зведення транспортних засобів до
легкового автомобіля

Вид транспортного засобу	Коефіцієнт зведення
Легковий автомобіль	1
Автобус, тролейбус	3
Мікроавтобус	1,5
Вантажний автомобіль вантажопідйомністю до 1,5 т	1,5
Вантажний автомобіль вантажопідйомністю до 8 т	2
Вантажний автомобіль вантажопідйомністю до 12 т	3
Автопоїзд	4

Розглянемо особливості організації дорожнього руху на ділянці ВДМ, де планується зміна режиму координованого регулювання.

Бульвар Шевченка, що утворює наступне перехрестя є прикладом невдалого поєднання кількох функцій однієї ділянці вулично-дорожньої мережі:

- адміністративний центр (місцезнаходження будівлі міськвиконкому та кількох його управлінь);
- складний транспортний вузол, пункт пересадки;
- місце відпочинку городян (розташоване найпопулярніше місце відпочинку городян, що знаходиться на розділювальній смузі бульвару);
- місце проведення офіційних церемоній та фестивалів, масових свят (в двохстах метрах – Алея Бойової слави, Алея трудової слави, монумент загиблим в Афганістані);

- місце проведення розважальних та заходів (в ста метрах – ПК «Дніпроспецсталь» - найбільший палац культури у місті).

Схема організації дорожнього руху на перехресті нагадує схему на перехресті з проспектом Маяковського, проте кількість пішохідних переходів більша, через що збільшується і кількість стоп-ліній (рис. 1.7). Велика кількість пішохідних переходів зумовлена не стільки великим потоком пішоходів, скільки його різноспрямованістю через віддалення одне від одного місць тяжіння та бажанням організаторів руху забезпечити не стільки безпечні, скільки комфортні умови для переходу в цьому місці.

До світлофорного об'єкту, окрім перехрестя Соборного просп. та бульв. Шевченка, належить ще й нерегульоване перехрестя Соборного просп. та вул. Зелінського, на якому зарегульовані пішохідні переходи через Соборний просп.

Світлофорний об'єкт працює в магістральній системі координованого регулювання вздовж Соборного просп. Необхідно підвищити рівень безпеки руху при виконанні повороту ліворуч з Соборного просп., яким рухаються маршрутні транспортні засоби громадського користування. Поворот ліворуч характеризується обмеженням оглядовості від зустрічних транспортних засобів, які здійснюють розворот з боку вул. 12-го квітня та низьким рівнем інформаційного забезпечення водіїв, за винятком транспорту громадського користування, для якого встановлено транспортний світлофор типу 1.5, який подає сигнал, що дозволяє поворот ліворуч при зупиночному зустрічному русі.

Цифрограми інтенсивності руху на перехресті, складені на основі натурних замірів інтенсивності руху по кожному напрямку з урахуванням типів транспортних засобів в години-пік, наведено на рис. 1.4...1.6. Виміри проводилися 02.10.2023р.

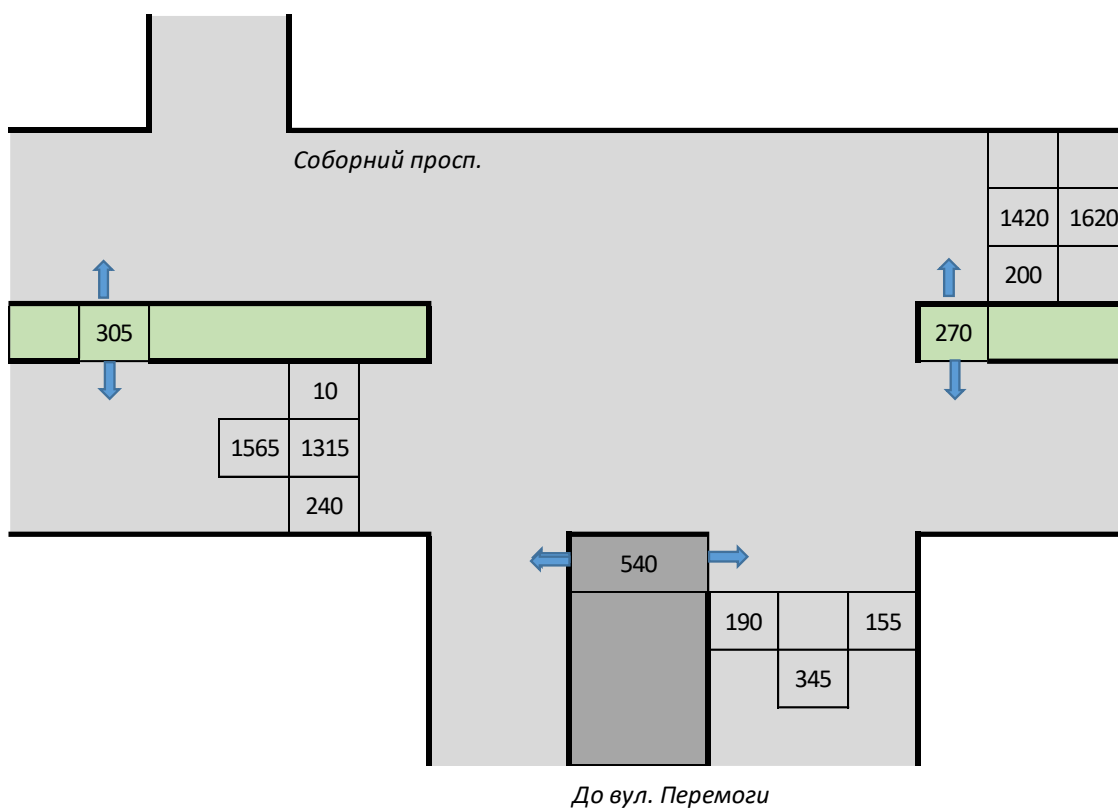


Рисунок 1.4 – Цифрограма інтенсивностей дорожнього руху
з 08:00 до 09:00 робочого дня

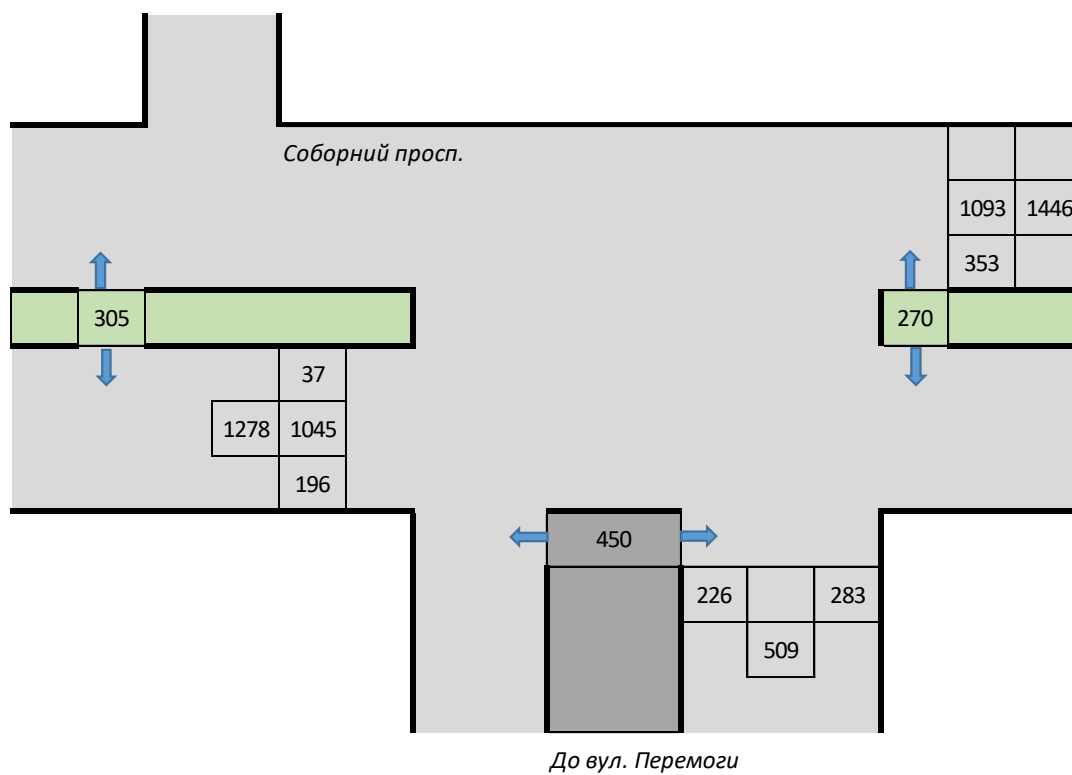


Рисунок 1.5 – Цифрограма інтенсивностей дорожнього руху
з 12:00 до 13:00 робочого дня



Рисунок 1.6 – Цифрограма інтенсивностей дорожнього руху
з 17:00 до 18:00 робочого дня

Дослідження миттєвих швидкостей транспортних засобів в зоні перехрестя, що виконували о 12⁰⁰ в робочий день дозволили встановити, що швидкості руху транспортних засобів розподіляються за нормальним законом розподілу, швидкість 85-го забезпечення дорівнює 50 км/год, частка водіїв, що порушують встановлений в межах міста швидкісний режим, становить 15 %.

Перехрестя характеризується на схемі вулично-дорожньої мережі відносно високим значенням центральності за посередництвом, оскільки при русі в напрямі просп. Металургів лівий поворот на найближчих перехрестях або заборонено, або він здійснюється з невисокою інтенсивністю через низьку пропускну здатність та високий коефіцієнт непрямолінійності для перпендикулярних вулиць. Бульвар Шевченка дає можливість виїзду на вул. Перемоги з подальшим прямуванням на міст Преображенського та на вул.

Набережну з подальшим прямуюванням на Вантовий міст, що зумовлює високий транзитний потік лівого повороту з Соборного просп. (рис. 1.7).

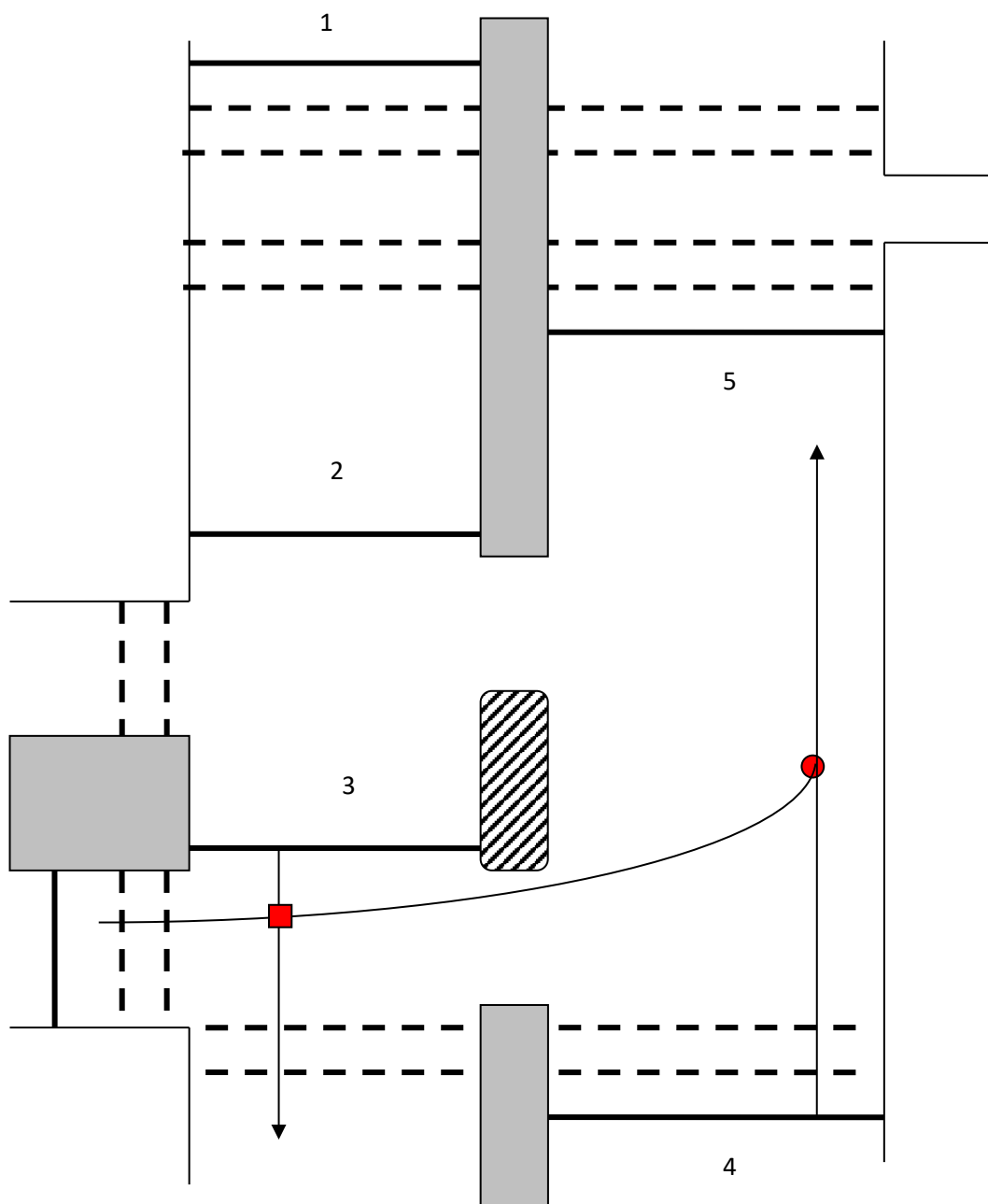


Рисунок 1.7 - Фрагмент схеми дислокації технічних засобів дорожнього руху (ТЗОДР) на перехресті проспекта Соборного та бульв. Шевченка (цифрами позначено нумерацію стоп-ліній)

Що стосується правого повороту з Соборного просп., то він на час дії проміжної схеми руху до повного відкриття Вантового мосту є основною артерією для виїзду на Прибережну магістраль (розворот під мостом Преображенського після зміни схеми ОДР заборонено).

Одразу після повороту на бульв. Шевченка розташовується в межах основної проїзної частини зупинка громадського транспорту. Згідно до маршрутних схем, зупинкою користуються зчленовані тролейбуси Van Hool AG 300T (маршрут 14) та автобуси МАЗ-203085. Під час знаходження вказаних транспортних засобів на зупинці рух першою смугою шириною 3,5 м не здійснюється.

Розглянемо пронумеровані на рис. 1.7 стоп-лінії. Наявність першої зумовлена пішохідним переходом. Сигнальні групи, що відповідають напрямам першої та другої стоп-ліній працюють синхронно, тому метою введення стоп-лінії №2 є зменшення тривалості перехідного інтервалу за рахунок зменшення відстані до конфліктної точки з виїздом бульв. Шевченка (на рис. 1.7 позначена квадратом). Напрямок, що відповідає стоп-лінії №3 при відпрацюванні перехідного інтервалу має затримку зеленого сигналу відносно напрямів у стоп-лініях 1 та 2. Це зумовлено прагненням забезпечити відсутність скупчення транспорту проти проїзної частини бульв. Шевченка, що використовується для руху від перехрестя.

Проте транспортні засоби, що мають меншу швидкість зупиняються перед стоп-лінією №3, що не становить незручності чи небезпеки, оскільки досліджуване перехрестя, на відміну від перехрестя з просп. Маяковського загалом є Т-подібним (вул. Зелінського є вулицею з одностороннім рухом, що його спрямовано від проспекту Соборного). Стоп-лінія №4 є першою при виїзді на перехрестя, а стоп-лінія №5 виконує дві функції: по-перше зменшує відстань до конфліктної точки при русі до ДГЕС, яка за її відсутності знаходилася б навпроти стоп-лінії №1, а при її наявності – навпроти виїзду з бульвару (на рис. 1.7 позначена колом).

Сигнальні групи, що відповідають стоп-лініям №4 та №5 працюють синхронно з тією, що відповідає стоп-лінії №3. Таким чином забезпечується відсікання потоку на стоп-лінії №2 для забезпечення повороту ліворуч. До речі, перехрестя з бульв. Шевченка є четвертим від перехрестя з вул. Гагаріна, на якому дозволяється поворот ліворуч в бік вул. Перемоги, а інтенсивність поворотного руху зумовила б введення стрілки за відсутності бульвару.

1.2 АНАЛІЗ ВИЯВЛЕНИХ НЕДОЛІКІВ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПРОЄКТУВАННЯ

Після аналізу зібраної інформації щодо дорожньо-транспортної ситуації на об'єкті проєктування, можна встановити, що організація та регулювання дорожнього руху в межах перехрестя Соборного просп. та бульв. Шевченка не відповідає дорожньо-транспортній ситуації, що склалася.

З метою її поліпшення необхідно розробити комплекс заходів на основі оперативних змін в організації і регулюванні дорожнього руху, а саме:

- розробити нову схему організації дорожнього руху з урахуванням вимог діючих нормативів у галузі організації та безпеки дорожнього руху, а також з урахуванням статичних і динамічних габаритів транспортних засобів, що беруть участь в дорожньому русі у межах перехрестя;
- визначити нову структуру режиму світлофорного регулювання з метою підвищення рівня безпеки дорожнього руху, особливо для забезпечення безконфліктного пропуску лівоповоротних транспортних потоків;
- визначити тривалості світлофорних сигналів з урахування необхідності зниження транспортних затримок.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 ПРОЄКТУВАННЯ ЗАХОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

2.1.1 Обґрунтування оперативних заходів ОДР

Спираючись на отримані в результаті досліджень основних характеристик дорожнього руху та параметрів вулично-дорожньої мережі, після аналізу дорожньо-транспортної ситуації та керуючись отриманим технічним завданням, видається доцільним здійснити наступні зміни в організації дорожнього руху в межах світлофорного об'єкту:

- для забезпечення безконфліктного повороту транспортних засобів ліворуч з Соборного проспекту виділити окрему смугу для повороту, застосувати світлофори типу 2 та відповідним чином позначити виділену смугу з урахуванням наявності розділової смуги по бульв. Шевченка;

- заборонити розворот на перехресті з боку вул. 12 квітня з урахуванням наявної розворотної інтенсивності, що при циклі тривалістю 80с не перевищує в середньому 1 од./цикл;

- замінити всі наявні світлофори для підвищення рівня інформаційного забезпечення водіїв та пішоходів, забезпечення видимості сигналів та реалізації завдання щодо забезпечення безконфліктного лівого повороту з Соборного просп.



Рисунок 2.1 – Схема організації дорожнього руху на перехресті
Соборного просп. та вул. Зелінського

Таблиця 2.1 – Відомість дорожніх знаків

№ поряд.	Номер згідно ДСТУ 4100	Кількість знаків за т- розмірами			з них ДЗП
		1	2	3	
1	2	3	4	5	6
1	2.1		2		
2	2.3		6		
3	2.4		1		
4	3.23		1		
5	3.34		5		
6	4.1		2		
7	4.2	1			
8	4.7		2		
9	5.5		1		

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
10	5.16		3		3
11	5.38.1		9		
12	5.38.2		9		
13	5.69		4		
14	7.2.4		1		
15	щиток**		2		
Разом		1	48	0	3
Усього		49			3

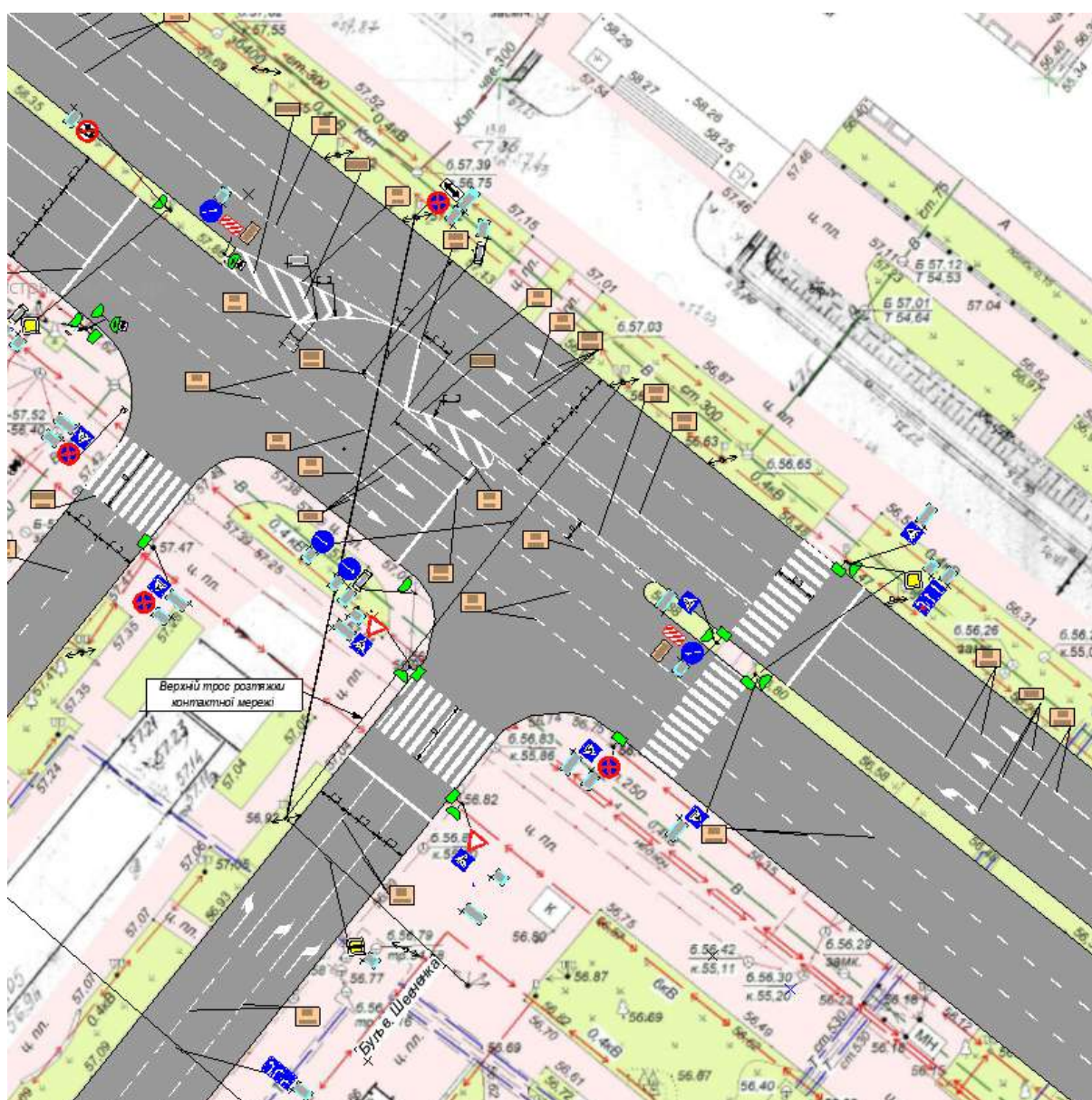


Рисунок 2.2 – Схема організації дорожнього руху на перехресті
Соборного просп. та бульв. Шевченка

Таблиця 2.2 – Відомість дорожньої розмітки

Номер згідно ДСТУ 2587	Довжина, м	Ширина, м	Кількість місць	Площа кольору, кв. м
				Білого
1.1	310	0,15		46,5
1.1	14	0,10		2,1
1.5	274	0,15		13,7
1.5	20	0,10		0,7
1.6	374	0,15		37,4
1.7	234	0,10		11,7
1.8	16	0,20		1,1
1.11	61	0,15		15,1
1.12	72	0,15		28,8
1.14.1	22	4,00		44,8
1.14.1	85	6,00		170,2
1.16.1	8	0,40		8,1
1.16.2	4	0,40		4,0
1.18 (прямо та поворот)			1	0,8
1.18 (поворот)			5	3,0
1.18 (прямо)			9	5,4
2.3.1 (щиток)			2	0,0
				393,4

2.1.2 Розрахунок режиму роботи світлофорного об'єкту

Для визначення мінімальних часових проміжків між дозволяючими сигналами на основі методу дальніх конфліктних точок пропонується діяти в такій послідовності.

Визначення часу, необхідного для проїзду автомобіля, що завершує рух від критичної точки до конфліктної точки.

$$t_z = t_p + \frac{V_z}{2a^k} + \frac{B_z + l_a}{V_z}, \quad (3.1)$$

де t_p – термін реакції водія, с (0,8., .1.2 с),

V_z – швидкість руху транспортного засобу, що завершує рух, м/с

a^k – прискорення уповільнення, $a^k = 3,0 \dots 4,0$ м/с²;

B_z – відстань від стоп-лінії до дальньої конфліктної точки, м

l_a – довжина зведеного автомобіля, м ($l_a = 5$ м).

2. Визначення часу, необхідного для проїзду автомобіля, що розпочинає рух від стоп-лінії до конфліктної точки

$$t_{pn} = \frac{B_{pn}}{V_{pn}}, \quad (3.2)$$

де B_{pn} – відстань від стоп-лінії до ближньої точки, м;

V_{pn} – швидкість руху транспортного засобу, що розпочинає рух, м/с

При визначенні часу за останньою формулою розглядаються найбільш несприятливі умови, коли транспортний засіб під'їхав до стоп-лінії з розрахунковою швидкістю в момент ввімкнення дозволяючого сигналу (черга по даній смузі в цей момент була повністю відсутня):

$$t = t_p + \frac{V_z}{2a^k} + \frac{B_z + l_a}{V_z} - \frac{B_{pn}}{V_{pn}}. \quad (3.3)$$

При застосуванні цієї формули для переведення матриці можливих траєкторій ММТ у матрицю мінімальних часових проміжків ММП отримаємо:

$$\begin{aligned}
 ММП[i, j, m, n] = & t_p + \frac{V[i, j]}{2a^k} + \\
 & + \frac{ММТ[i, j, m, n] + l_a}{V[i, j]} - \frac{ММТ[m, n, i, j]}{V[m, n]} + 3.
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

Таким чином, отримане за формулою значення мінімального часового проміжку враховує всі характеристики руху транспортних засобів.

Для пішохідних напрямів регулювання мінімальні часові проміжки визначаються за формулою:

$$t = \frac{B}{V_n} - \frac{B_{pn}}{V_{pn}}, \tag{3.5}$$

де B - ширина проїзної частини, що її переходять пішоходи, м;

де V_n - розрахункова швидкість руху пішохода (1,3 м/с).

Далі на рис. 2.3 та 2.4 наведено схему для визначення елементів матриць ММТ.

До матриці заноситься відстань від стоп-ліній до найвіддаленішої конфліктної точки при русі за траєкторією, включеної до напрямку регулювання, рух за яким завершується у перехідному інтервалі фази. Для напрямку, рух за яким розпочинається, визначається відстань від стоп-лінії до найближчої конфліктної точки.

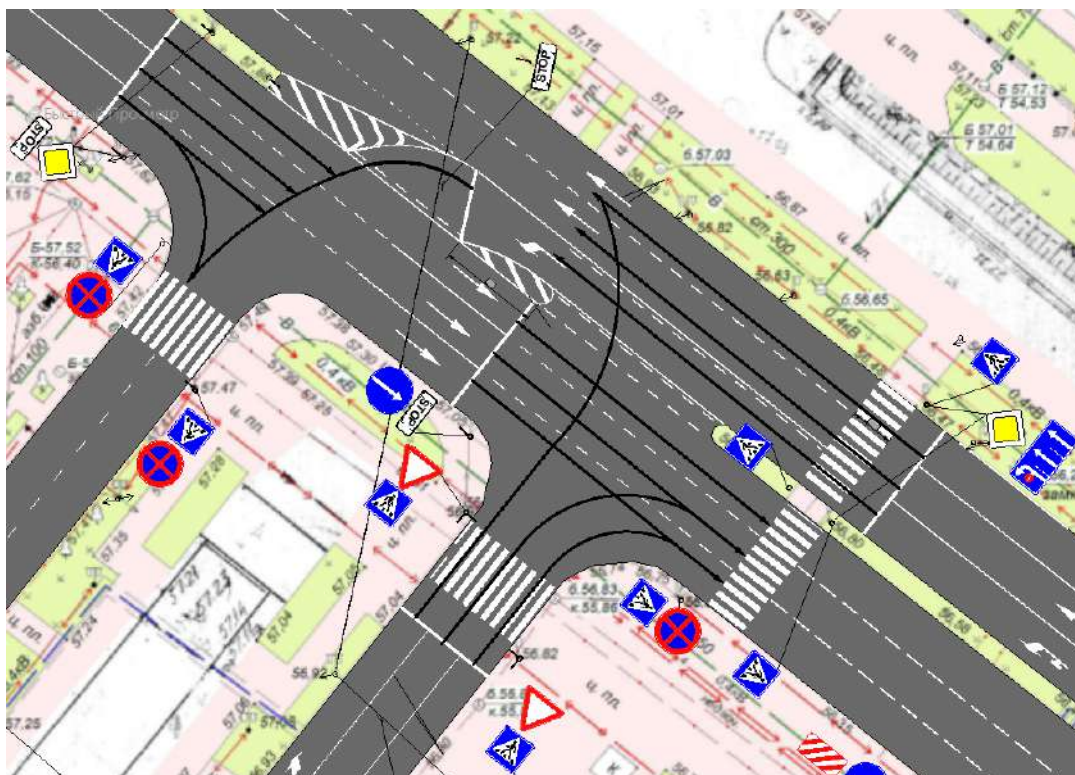


Рисунок 2.3 – Траєкторна схема для визначення відстаней до конфліктних точок (район бульв. Шевченка)

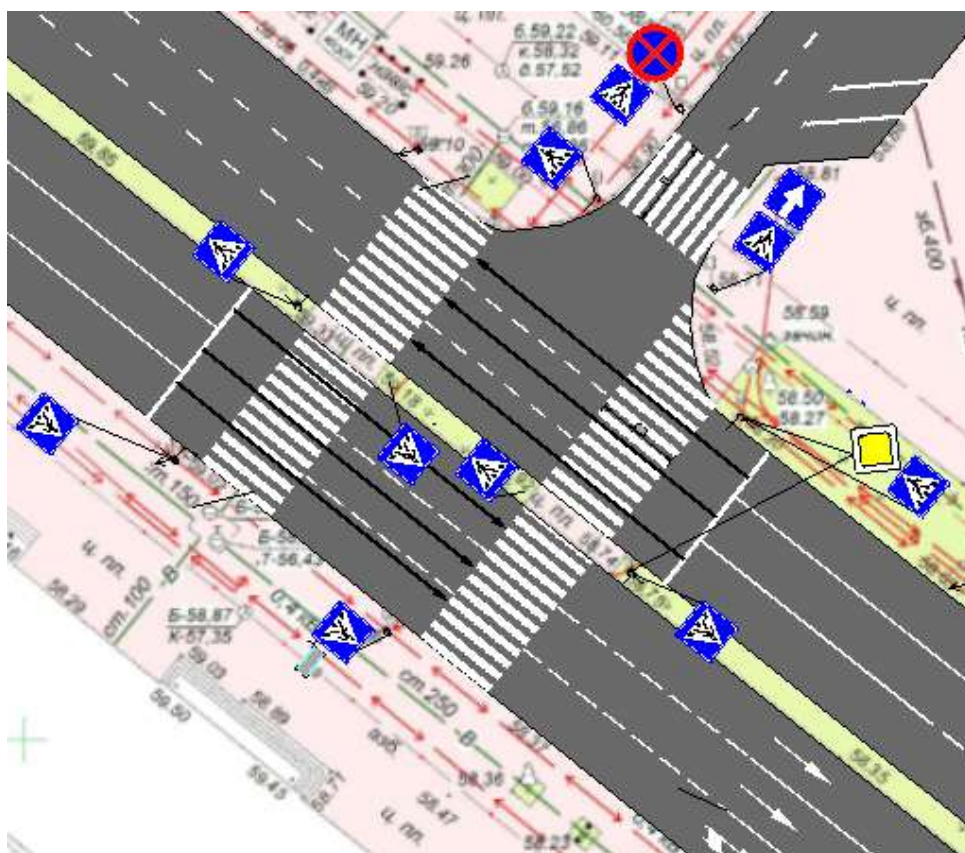


Рисунок 2.4 – Траєкторна схема для визначення відстаней до конфліктних точок (район вул. Зелінського)

У таблицях 2.3 – 2.4 наведено матриці відстаней до дальніх та до ближніх конфліктних точок.

Для орієнтування у номерах напрямів регулювання слід скористатися схемою, наведеною на рис. 2.5.

Нормативні межі згідно ДСТУ 4092-2002 для тривалостей мінімальних часових проміжків складають: для транспортних напрямів регулювання – 6с, для пішохідних напрямів регулювання – 6...8с.

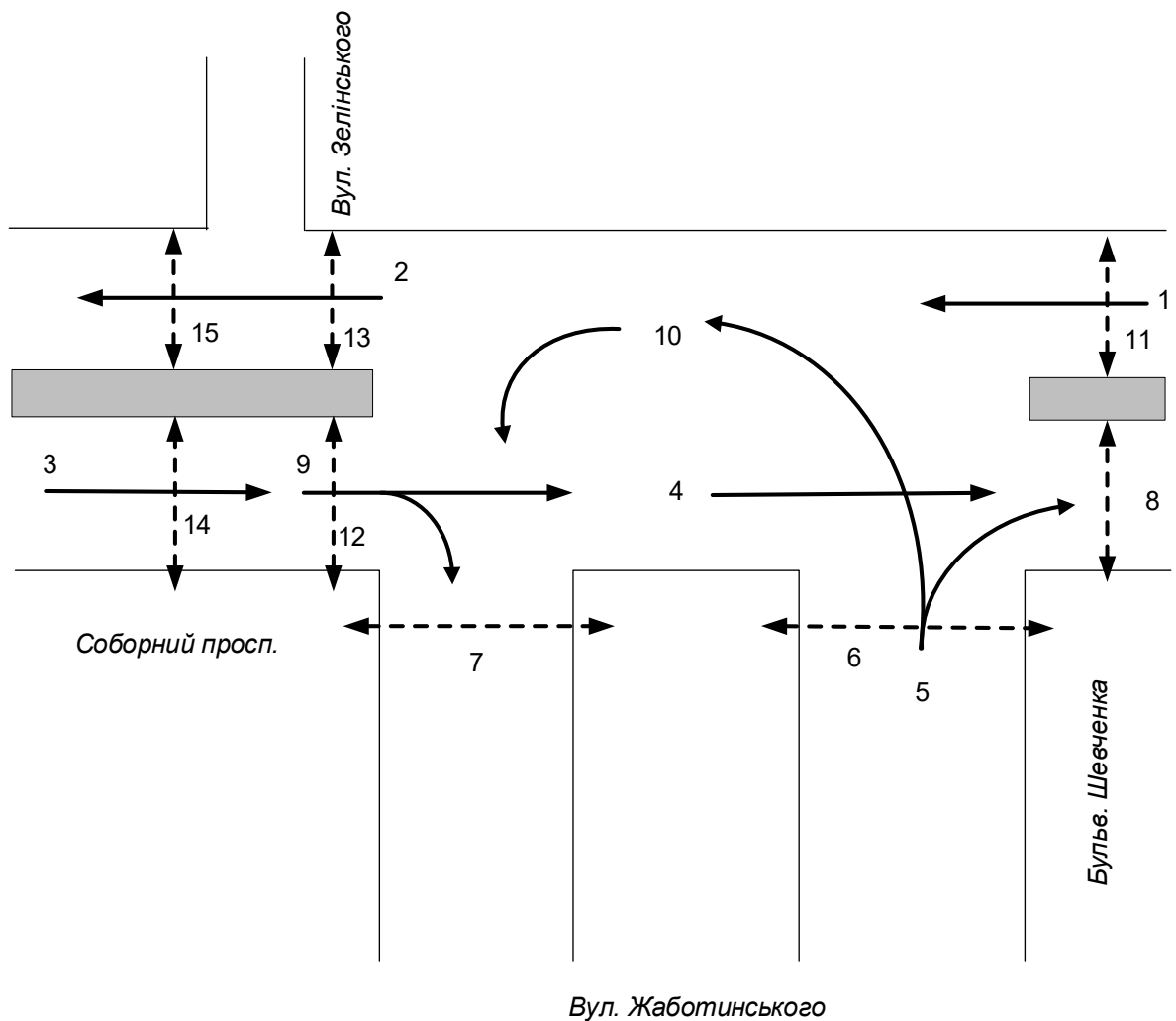


Рисунок 2.5 – Схема напрямів регулювання

У таблиці 2.5 наведено матрицю розрахункових швидкостей руху за траєкторіями до дальніх конфліктних точок.

Таблиця 2.5 – Матриця розрахункових швидкостей руху за траєкторіями до дальніх конфліктних точок

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	50
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	50	0
4	0	0	0	0	50	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0
5	35	0	0	35	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
8	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	30	0	30	0	0	0	0	0	0
11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

У таблиці 2.6 наведено матрицю розрахункових швидкостей руху за траєкторіями до ближніх конфліктних точок.

Розрахунок елементів матриці ММП проводиться за формулою (3.4), наприклад:

$$ММП[1,5,1,1] = 1 + \frac{50/3,6}{2 \cdot 4} + \frac{37+5}{50/3,6} - \frac{42}{35/3,6} + 3 = 4,2 \approx 5c$$

Таблиця 2.6 – Матриця розрахункових швидкостей руху за траєкторіями до ближніх конфліктних точок.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0
4	0	0	0	0	35	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
5	50	0	0	50	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
8	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	5	0	50	0	0	0	0	0	0
11	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Значення елементів ММП наведено у табл. 2.7.

Для визначення структури циклу слід врахувати, що світлофорний об'єкт працюватиме в діючій магістральній системі координованого регулювання. З огляду на наданий КП «Запоріжміськвітло» графік координованого регулювання (фрагмент наведено на рис. 2.6), основа діючої структури циклу регулювання повинна лишися без змін, тому на розподіл напрямів за фазами регулювання накладаються обмеження, аби не порушити наведену на рис. 3.4 структуру кальок.

Згідно з отриманими даними, з метою забезпечення проходження стрічок неперервного часу, тривалість дозволяючого сигналу за напрямом 3 повинна бути не менше 20 с та розпочинатися з нульової секунди метациклу при абсолютному зсуві моменту початку першої фази регулювання 18 с. Дозволяючий сигнал за напрямом регулювання №1 теж повинен тривати не менше 20 с та розпочинатися не пізніше 21-ї секунди метациклу.

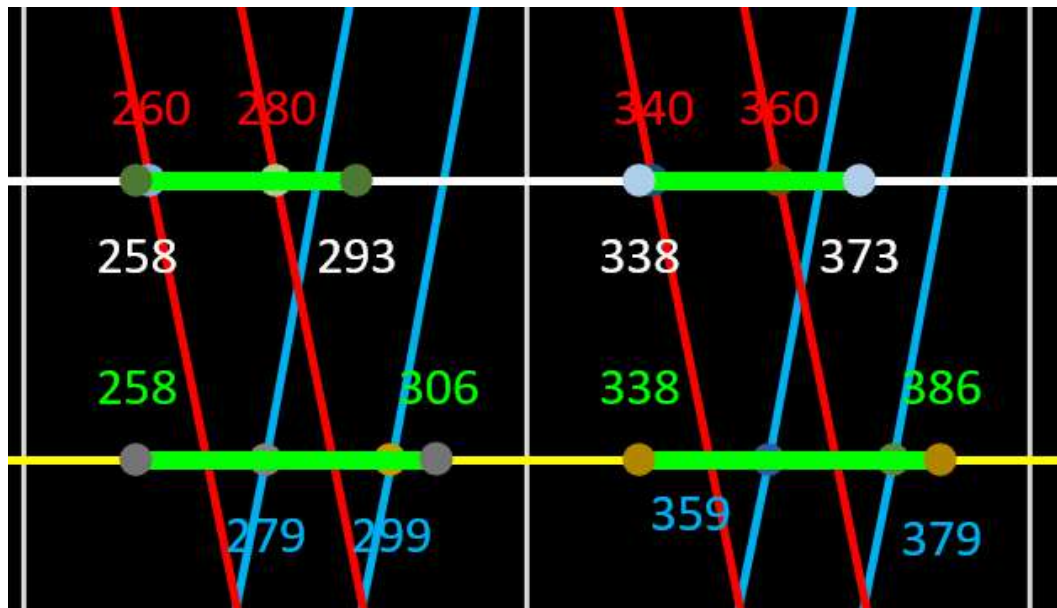


Рисунок 2.6 – Фрагмент графіку координованого регулювання

Значення тривалостей мінімальних часових проміжків між напрямками регулювання наведено у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Значення елементів ММП

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	макс.	норм	
1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6	6	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	8	8	8	2
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	6	0	8	8	3
4	0	0	0	0	5	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8	8	4
5	7	0	0	8	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	5
6	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	6
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	6	7
8	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	8
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	7	9
10	0	0	0	0	0	0	9	0	7	0	0	0	0	0	0	9	9	10
11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	11
12	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	12
13	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	13
14	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	14
15	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	15

На основі отриманих даних відбувається нормалізація тривалостей МП згідно ДСТУ 4092-2002. Шляхом визначення максимуму по рядках для

нормалізованих даних встановлюються можливі тривалості перехідних інтервалів.

Використовуючи набір напрямів у кожній фазі регулювання, визначаємо шляхом вибору максимального значення розрахункові тривалості перехідних інтервалів фаз.

Втрачений у циклі час на перехресті визначається за формулою:

$$L = \sum_{i=1}^m (t_{\text{III}}^i - 2 - 1), \quad (3.6)$$

де m - кількість фаз регулювання на перехресті.

$$L = (7 - 3) + (6 - 3) + (9 - 3) = 13 \text{ с.}$$

Для потоку, що рухається в прямому напрямі при ширині проїзної частини від 5,4 до 16 м, величина потоку насичення M_n визначається за емпіричною формулою:

$$M_n = 525H, \quad (3.7)$$

де H - ширина проїзної частини, м.

Якщо рух каналізований і ширина смуги $H < 5,4$ м, користуються таблицею 2.8.

У випадку, якщо значення ширини смуги руху знаходяться на числовій вісі між зазначеними у таблиці потоків насичення слід виконати лінійну інтерполяцію.

Таблиця 2.8 – Визначення потоку насичення

Н, м	3,0	3,3	3,6	4,2	4,8	5,2
M_n , од./год.	1850	1875	1950	2075	2475	2700

З урахуванням вимірної за масштабною схемою ширин проїзних частин встановлено величини потоків насичення за напрямками регулювання та номером смуги. Інтенсивності руху розподіляються по смугах рівномірно. Величина потоку насичення підлягає корекції залежно від напрямів руху транспортних засобів за конкретною смугою.

$$M_n^k = \frac{M_n}{\alpha + 1.25\beta + 1.75\gamma} \quad (3.8)$$

де M_n - величина потоку насичення розрахована для прямого напрямку, од./год;

α , β , γ - частки в потоці ТЗ, що рухаються відповідно прямо, праворуч, ліворуч.

Корекція проводиться, коли частка інтенсивності руху поворотних потоків у загальній інтенсивності руху смугою перевищує 10%.

У табл. 3.10 наведено скориговані значення потоків насичення смугами руху.

У випадку, якщо поворот виконується з виділеної смуги, потік насичення розраховується за окремою формулою.

$$M_n = \frac{1800}{1 + \frac{1.525}{r}} \quad (3/9)$$

де r - радіус повороту, який визначається як середнє арифметичне між початковим і кінцевим радіусами руху ТЗ, м.

Потім для кожного з поєднаних у фази напрямів розраховується значення фазових коефіцієнтів по формулі:

$$y_i = \frac{N_i}{M_{n_i}}, \quad (3.10)$$

де N_i - інтенсивність руху на i -му напрямі k -го перехрестя, од./год.;

M_{ni} - потік насичення напрямку, од./год.

Визначаємо суму фазових коефіцієнтів за формулою:

$$y = \sum_{j=1}^m y_{j_{\max}} \quad (3.11)$$

Тривалість світлофорного циклу для перехрестя визначаємо за формулою:

$$T_y = \frac{1.5L_k + 5}{1 - Y}, \quad (3.12)$$

Тривалість основного такту обчислюють за формулою:

$$\bar{t}_3^m = \frac{\bar{y}^i}{\bar{Y}} (\bar{T} - \bar{L}) - 1 - 2, \quad (3.13)$$

Результати розрахунків для ранкового, міжпікового та вечірнього періодів наведено у табл. 2.9...2.11. Розподіл інтенсивностей руху по смугах проводиться рівномірно.

Схему пофазового роз'їзду наведено на арк. 5 графічної частини.

Згідно ДСТУ 4092-2002, для пішохідних напрямів величина мінімального часового проміжку, протягом якого пішоходи завершують рух, повинна бути в межах 6...8 с.

Таблиця 2.9 – Проміжні результати розрахунку параметрів режиму (ранкова інтенсивність)

Напря́м	9			1		10	5		
Смуга	1	2	3	1	2	1	1	2	3
M_n	1981	1981	1981	1981	1981	1572	1950	1925	1669
N прямо	282	522	521	710	710	0	0	0	0
N праворуч	240	0	0	0	0	0	78	77	0
N ліворуч	0	0	0	0	0	200	0	0	190
N загальна	522	522	521	710	710	200	78	77	190
Альфа	0,54	1	1	1	1		0	0	0
Бета	0,46	0	0	0	0		1	1	0
Гама	0	0	0	0	0		0	0	1
M	1777	1981	1981	1981	1981	1572	1560	1540	1669
y	0,29	0,26	0,26	0,36	0,36	0,13	0,05	0,05	0,11
$y_{\max}$	0,29			0,36		0,13	0,11		
Y	0,53								
T	80,00								
t_{om}	34			42		13	11		

Таблиця 2.10 – Проміжні результати розрахунку параметрів режиму (міжпікова інтенсивність)

Напря́м	9			1		10	5		
Смуга	1	2	3	1	2	1	1	2	3
М _н	1981	1981	1981	1981	1981	1572	1950	1925	1669
N прямо	230	426	426	759	759	0	0	0	0
N праворуч	196	0	0	0	0	0	142	142	0
N ліворуч	0	0	0	0	0	353	0	0	226
N загальна	426	426	426	759	759	353	142	142	226
Альфа	0,54	1	1	1	1	0	0	0	0
Бета	0,46	0	0	0	0	0	1	1	0
Гама	0	0	0	0	0	1	0	0	1
М	1777	1981	1981	1981	1981	1572	1560	1540	1669
у	0,24	0,22	0,22	0,38	0,38	0,22	0,09	0,09	0,14
у _{тах}	0,24			0,38		0,22	0,14		
У	0,60								
Т	80,00								
t _{om}	27			45		25	14		

Тривалість циклу світлофорного регулювання при координованому режимі не визначається окремо за навантаженням для перехрестя, а приймається рівною циклу координації, тобто, в даному випадку, 80 с (за даними АСКДР).

Таблиця 2.11 – Проміжні результати розрахунку параметрів режиму (вечірня інтенсивність)

Напрям	9			1		10	5		
Смуга	1	2	3	1	2	1	1	2	3
М _н	1981	1981	1981	1981	1981	1572	1950	1925	1669
N прямо	379	599	599	759	759	0	0	0	0
N праворуч	220	0	0	0	0	0	160	160	0
N ліворуч	0	0	0	0	0	530	0	0	263
N загальна	599	599	599	759	759	530	160	160	263
Альфа	0,633	1	1	1	1	0	0	0	0
Бета	0,367	0	0	0	0	0	1	1	0
Гама	0	0	0	0	0	1	0	0	1
М	1814	1981	1981	1981	1981	1572	1560	1540	1669
у	0,33	0,30	0,30	0,38	0,38	0,34	0,10	0,10	0,16
у _{тах}	0,33			0,38		0,34	0,16		
У	0,82								
Т	80,00								
t _{om}	38			45		39	17		

Визначається мінімальна тривалість основних тактів фаз регулювання:

$$t_{\min}^{OT} = b / V_n + 5 - \text{ММПН}[i, j, i, j], \quad (3.14)$$

де b – ширина проїзної частини, що її переходять пішоходи протягом фази регулювання;

V_n – швидкість руху пішохода, км/год. (за приймаємо 1,3 м/с. за ДСТУ 4092-2002);

$\text{ММПН}[i, j, i, j]$ – нормована величина мінімального часового проміжку пішохідного напрямку регулювання, с.

Значення ширини проїзної частини, що її переходять пішоходи, береться з табл. 3.1, а значення проміжків – з табл. 4.8. Якщо протягом фази регулювання пішоходи переходять кілька проїзних частин, підставляється величина найширшої з них.

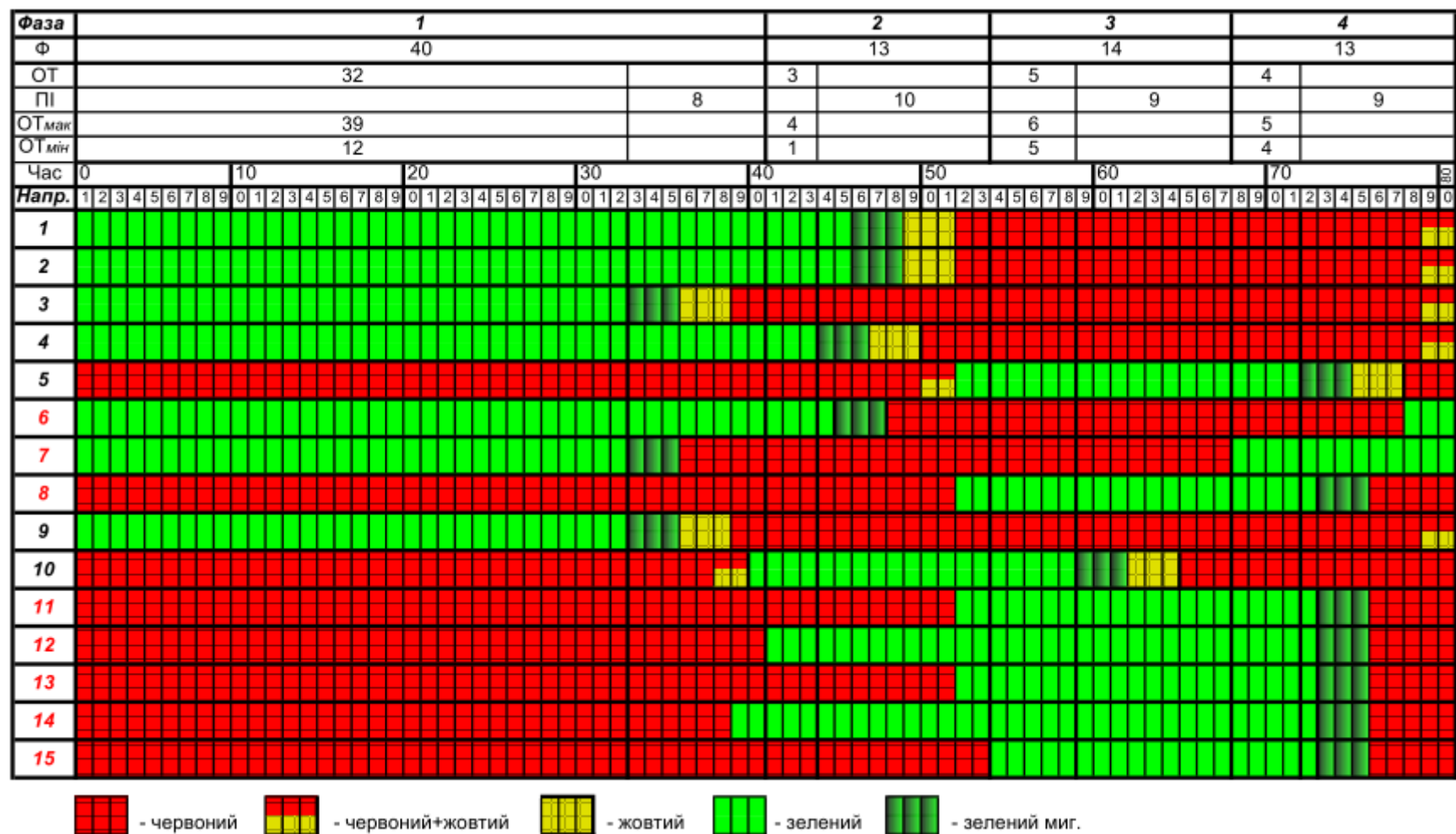


Рисунок 2.7 – Циклограма світлофорного регулювання для набору фаз 1-2-3-4

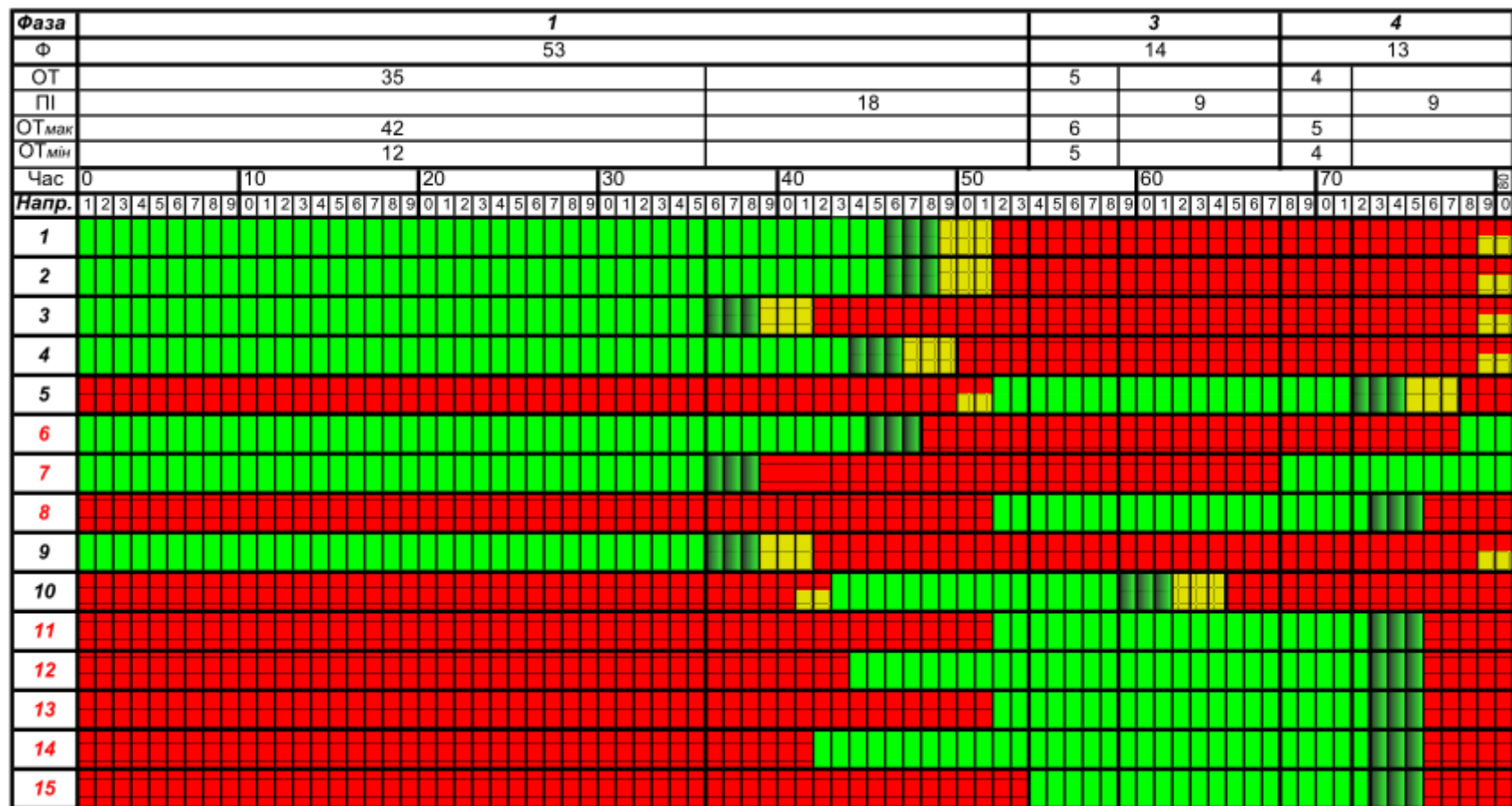


Рисунок 2.8 – Циклограма світлофорного регулювання для набору фаз 1-3-4

Таблиця 2.12 – Схема підключення кабелів

Номер каналу	Номер клеми прямого дроту	Номер напрямку	Колір сигналу та тип	Тип контролю прямого дроту
1	Група 1, L1	1	червоний	група 1
2	Група 1, L2	1	червоний дубл. 1	група 1
3	Група 1, L3	1	жовтий	перевірка
4	Група 1, L4	1	зелений	контроль
5	Група 1, L5	2	червоний	група 2
6	Група 1, L6	2	червоний дубл. 1	група 2
7	Група 1, L7	2	жовтий	перевірка
8	Група 1, L8	2	зелений	контроль
9	Група 2, L1	3	червоний	група 3
10	Група 2, L2	3	червоний дубл. 1	група 3
11	Група 2, L3	3	жовтий	перевірка
12	Група 2, L4	3	зелений	контроль
13	Група 2, L5	4	червоний	група 4
14	Група 2, L6	4	червоний дубл. 1	група 4
15	Група 2, L7	4	жовтий	перевірка
16	Група 2, L8	4	зелений	контроль
17	Група 3, L1	5	червоний	група 5
18	Група 3, L2	5	червоний дубл. 1	група 5
19	Група 3, L3	5	жовтий	перевірка
20	Група 3, L4	5	зелений	контроль
21	Група 3, L5	6	червоний	перевірка
22	Група 3, L6	6	зелений	контроль
23	Група 3, L7	7	червоний	перевірка
24	Група 3, L8	7	зелений	контроль
25	Група 4, L1	8	червоний	перевірка
26	Група 4, L2	8	зелений	контроль
27	Група 4, L3	9	червоний	група 9
28	Група 4, L4	9	червоний дубл. 1	група 9
29	Група 4, L5	9	червоний дубл. 2	група 9
30	Група 4, L6	9	жовтий	перевірка
31	Група 4, L7	9	зелений	контроль
32	Група 4, L8	10	червоний	група 10
33	Група 5, L1	10	червоний дубл. 1	група 10
34	Група 5, L2	10	жовтий	перевірка

Закінчення таблиці 2.12

Номер каналу	Номер клеми прямого дроту	Номер напрямку	Колір сигналу та тип	Тип контролю прямого дроту
35	Група 5, L3	10	зелений	контроль
36	Група 5, L4	11	зелений	перевірка
37	Група 5, L5	11	червоний	контроль
38	Група 5, L6	12	зелений	перевірка
39	Група 5, L7	12	червоний	контроль
40	Група 5, L8	13	зелений	перевірка
41	Група 6, L1	13	червоний	контроль
42	Група 6, L2	14	зелений	перевірка
43	Група 6, L3	14	червоний	контроль
44	Група 6, L4	15	зелений	перевірка
45	Група 6, L5	15	червоний	контроль

Таблиця 2.13 – Параметри перехідних інтервалів

Характеристики напрямку регулювання						Час до завершення сигналу, с				
Послідовність	Номер	Тип	Світло-блок	Номери фаз	Конф. напрямки	ЗД	ЗМ	Ж	Ч	ЧЖ
1-2-3-4	1	Т	Світлодіод	1,2	5,11	8	5	2	2	0
1-2-3-4	2	Т	Світлодіод	1,2	13,15	8	5	2	2	0
1-2-3-4	3	Т	Світлодіод	1	12,14	6	3	0	2	0
1-2-3-4	4	Т	Світлодіод	1,2	5,8	10	7	4	2	0
1-2-3-4	5	Т	Світлодіод	3,4	1,4,6	9	6	3	4	2
1-2-3-4	6	П	Світлодіод	1,2	5	9	6	6	3	3
1-2-3-4	7	П	Світлодіод	1,4	10	8	5	5	0	0
1-2-3-4	8	П	Світлодіод	3,4	4	8	5	5	2	2
1-2-3-4	9	Т	Світлодіод	1	10	8	5	2	2	0
1-2-3-4	10	Т	Світлодіод	2,3	7,9	9	6	3	3	1
1-2-3-4	11	П	Світлодіод	3,4	1	8	5	5	2	2
1-2-3-4	12	П	Світлодіод	2,3,4	3	8	5	5	0	0
1-2-3-4	13	П	Світлодіод	3,4	2	8	5	5	2	2
1-2-3-4	14	П	Світлодіод	2,3,4	3	8	5	5	2	2
1-2-3-4	15	П	Світлодіод	3,4	2	8	5	5	0	0
1-3-4	1	Т	Світлодіод	1	5,11	8	5	2	2	0
1-3-4	2	Т	Світлодіод	1	13,15	8	5	2	2	0
1-3-4	3	Т	Світлодіод	1	12,14	18	15	12	2	0

Закінчення таблиці 2.13

Характеристики напрямку регулювання						Час до завершення сигналу, с				
Послідовність	Номер	Тип	Світло-блок	Номери фаз	Конф. напрямки	ЗД	ЗМ	Ж	Ч	ЧЖ
1-3-4	4	Т	Світлодіод	1	5,8	10	7	4	2	0
1-3-4	5	Т	Світлодіод	3,4	1,4,6	9	6	3	4	2
1-3-4	6	П	Світлодіод	1	5	9	6	6	3	3
1-3-4	7	П	Світлодіод	1,4	10	18	15	15	0	0
1-3-4	8	П	Світлодіод	3,4	4	8	5	5	2	2
1-3-4	9	Т	Світлодіод	1	10	18	15	12	2	0
1-3-4	10	Т	Світлодіод	3	7,9	9	6	3	13	11
1-3-4	11	П	Світлодіод	3,4	1	8	5	5	2	2
1-3-4	12	П	Світлодіод	3,4	3	8	5	5	10	10
1-3-4	13	П	Світлодіод	3,4	2	8	5	5	2	2
1-3-4	14	П	Світлодіод	3,4	3	8	5	5	12	12
1-3-4	15	П	Світлодіод	3,4	2	8	5	5	0	0

Для першої фази регулювання:

$$t_{\min}^{OT1} = 9,5 / 1,3 + 5 - 7 = 5,3 \approx 6c$$

Для третьої четвертої фази регулювання:

$$t_{\min}^{OT2} = (11 + 11 + 2) / 1,3 + 5 - 9 = 14,5 \approx 15c$$

Оскільки третя та четверта фази регулювання в обох програмах викликаються послідовно, а всі пішохідні напрями, що перетинають Соборний проспект включено, як мінімум, у ці дві фази, то при порівнянні основних тактів з відображеними на циклограмі слід скласти основні такти третьої та четвертої фаз та перехідний інтервал між ними. Таким чином, фактичні значення, з якими відбувається порівняння, складають 32 та 18 секунд для першої програми та 35 і 18 секунд для другої програми відповідно.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 РОЗРАХУНОК КАПІТАЛЬНИХ ВИТРАТ

До капітальних витрат належать витрати по придбання дорожніх знаків, визначених у основній частині, K_1 монтажу цих дорожніх знаків K_2 , та демонтажу старих дорожніх знаків K_3 , а також на закупівлю дорожнього контролера K_4 .

Витрати на закупівлю дорожніх знаків K_1 розраховані в табл. 3.1 на основі таблиці демонтажу та встановлення дорожніх знаків, що їх наведено у основній частині роботи.

Таблиця 3.1 – Витрати на дорожні знаки

Тип знаку	Вартість 1 знаку	Кількість знаків	Сума
Трикутний	1159	2	2318
Круглий	1217	11	13387
Квадратний	1217	8	9736
Прямокутний	1720	25	43000
Табличка	603	1	603
Разом,		47	69044

Витрати на монтаж 47 дорожніх знаків K_2 з урахуванням вартості монтажу одного знаку 462 грн., складатимуть

$$K_2 = 47 \cdot 462 = 21714 \text{ грн} \quad (3.1)$$

Вартість демонтажу 31 старого дорожнього знаку становить:

$$K_3 = 31 \cdot 462 = 14322 \text{ грн} \quad (3.2)$$

Вартість дорожнього контролера КДК 40-02 за даними заводу-виробника складає $K_4 = 200050 \text{ грн}$.

Таким чином, сума капітальних вкладень становитиме:

$$K = 69044 + 21714 + 14322 + 200050 = 305130 \text{ грн}.$$

3.2 РОЗРАХУНОК РІЧНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИТРАТ

Поточні витрати складаються з витрат на відновлення дорожньої розмітки а також робіт, пов'язаних з ремонтом технічних засобів.

Розрахунок площі дорожньої розмітки, що буде щорічно відновлюватися в межах зони проєктування, наведено в таблиці у основній частині роботи. За даними розрахунку, сумарна площа розмітки складатиме $393,4 \text{ м}^2$.

Витрати на нанесення 1 м^2 розмітки становлять $304,9 \text{ грн}$., таким чином витрати на нанесення розмітки:

$$C_n = 393,4 \cdot 304,9 = 119961 \text{ грн} \quad (3.5)$$

Амортизаційні витрати на технічні засоби для першого року експлуатації становлять:

$$A = 305130 \cdot 0,24 = 73232 \text{ грн / рік}$$

Експлуатаційні витрати на ремонт технічних засобів становлять:

$$C_{рем} = (K_1 + K_4) \cdot 0,05$$

$$C_{рем} = (K_1 + K_4) \cdot 0,05 = 13454,7 \text{ грн} / \text{рік}$$

Загальні експлуатаційні витрати складають:

$$C = 119961 + 73232 + 13454,7 = 206647 \text{ грн} / \text{рік}$$

3.3 ЕКОНОМІЯ ВІД ЗМЕНШЕННЯ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТУ НА ПЕРЕХРЕСТІ

Економія від зменшення затримок на перехресті визначається добутком різниці тривалостей затримок в проектному та базовому варіантах та вартості цієї різниці затримок.

$$E_{затр} = C_{затр.баз} - C_{затр.проект} \quad (3.6)$$

За даними програми МРЛ, сумарна річна затримка за напрямом регулювання в базовому та проектному варіантах наведена у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 –Тривалості транспортних затримок

Напрямок	Тривалість затримки за базовим варіантом, год./год.	Тривалість затримки за проектним варіантом, год./год.	Різниця затримок, год./год.	Різниця затримок, год./рік
1	2,41	1,32	1,09	3978,5
2	2,11	1,16	0,95	3467,5

Закінчення таблиці 3.2

Напря́м	Тривалість затримки за базовим варіантом, год./год.	Тривалість затримки за проектним варіантом, год./год.	Різниця затримок, год./год.	Різниця затримок, год./рік
3	2,72	1,21	1,51	5511,5
4	1,12	0,62	0,5	1825
5	3,01	1,77	1,24	4526
9	1,21	0,61	0,6	2190
10	2,86	1,52	1,34	4891
Разом	15,44	8,21	7,23	26389,5

Таким чином, загальна різниця тривалостей затримок приведених транспортних засобів за напрямом регулювання на перехресті протягом року складатиме 26389,5 год./рік.

Вартість цієї різниці визначається таким чином:

$$C_{mз} = \frac{Z_{заг} \times D_i \times S}{K_{зв}} \quad (3.9)$$

де $Z_{заг}$ - загальні транспортні затримки , год/рік;

D_i – частка в потоці транспортних засобів і – го виду;

$K_{зв}$ – коефіцієнт зведення ТЗ і-го типу до легкового автомобіля;

S – вартість машино-години і-го виду ТЗ.

Наприклад, для мікроавтобусів:

$$C_{\text{мікр}} = \frac{26389,5 \cdot 0,2 \cdot 454,36}{1,5} = 1598717 \text{ грн / рік}$$

Розрахунок вартості затримок пасажирів транспортних засобів провадиться за формулою:

$$C_{\text{пас}} = \frac{Z_{\text{заг}} \times D_i \times P \times K_{\text{внм}} \times S_g}{K_{\text{зг}}} \quad (3.10)$$

де P – пасажиромісткість i -го виду ТЗ;

$K_{\text{внм}}$ – коефіцієнт використання пасажиромісткості;

S_g – вартість години часу пасажирів.

Проміжні результати розрахунків наведено у табл. 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3 – Параметри розрахунку вартості затримок

Тип учасника дор. руху	пішохід	легкові	вантажні	автобуси	мікроавт
Частка в потоці, %		78	0	2	20
Пасажиромісткість		4		50	18
Коеф. використ. пас.-місткості		0,4		0,75	0,75
Вартість машино-години, грн		233,72	337,75	681,55	454,36
Вартість години людини, грн	40,46				

Таблиця 3.4 – Параметри розрахунку вартості затримок

Вид транспортного засобу	легкові	вантажні	автобуси	мікроавт	РАЗОМ
Транспортні затримки, год/рік	20583,81	0	175,93	3518,6	24278,34
Вартість затримок пасажирів, грн/рік	1332513,52	0	266930	1921895	3521337,8
Вартість згаяних машино-годин, грн/рік	4810749,27	0	119905	1598717	6529370,9
ЗАГАЛОМ, грн/рік	6143262,80	0	386835	3520611	10050709

$$E_{\text{затр}} = 10050709 \cdot 0,2 = 2010142 \text{ грн/рік}$$

3.5 РОЗРАХУНОК ТЕРМІНУ ОКУПНОСТІ ПРОЄКТУ

Оскільки за результатами запровадження запропонованих у проєкті оперативних заходів організації дорожнього руху ефект спостерігається у зменшенні транспортних затримок, то загальна економія дорівнює величині вартості збереженого учасниками дорожнього руху часу та заощаджених машино-годин:

$$E = E_{затр} \quad (3.14)$$

$$E = 2010142 \text{ грн/рік}$$

У випадку, коли умовна економія від запровадження заходів організації дорожнього руху протягом першого року життя проєкту суттєво перевищує витрати на його реалізацію, термін окупності проєкту розраховується за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K}{E - C} \quad (3.15)$$

З урахуванням попередньої формули, отримаємо:

$$T_{ок} = \frac{305130}{2010142 - 206647} = 0,17 \text{ року}$$

Термін окупності проєкту – 0,17 року.

Техніко-економічні показники проєкту наведено у таблиці 3,8.

Таблиця 3.8 -Техніко-економічні показники проєкту

Показник	Базове значення	Проектне значення
Капітальні вкладення, грн.	-	305130
Додаткові річні експлуатаційні витрати, грн	-	206647
Затримки транспорту і пасажирів, год./год.	15,44	8,21
Економія від зменшення затримок, грн/рік	-	2010142
Загальна економія, грн./рік	-	1803495
Термін окупності проєкту, років	-	0,17

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАХЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі магістерської роботи «Оптимізація параметрів режиму світлофорного регулювання на перехресті просп. Соборного та бульв. Шевченка у м. Запоріжжі» розглянуто аналіз потенційних небезпек, які можуть вплинути на дослідника під час проведення досліджень. Пропоновані заходи по їх усуненню.

4.1. АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕБЕЗПЕК

Під час виконання планових та аварійних робіт з монтажу, демонтажу дорожніх знаків, при нанесенні дорожньої розмітки та під час проведення перепрограмування дорожнього контролера для введення нових режимів регулювання можливий прояв таких небезпек для учасників дорожнього руху та осіб, які виконують означені дорожні роботи:

- потрапляння під дію небезпечної напруги за рахунок наведення напруги на жилах кабелів від сторонніх електричних мереж;
- потрапляння сторонньої небезпечної електричної напруги від електроконтактної мережі міського електротранспорту через спільні електроопори зі струмопровідного матеріалу;
- небезпека наїзду транспорту, що проїздить повз місце робіт, на осіб, що проводять означені роботи під час їх перебування на проїзній частині вулиці;
- небезпека зіткнення транспортних засобів через обмеження видимості та оглядовості з робочого місця водія, що максимально проявляється темної пори доби та в умовах недостатньої видимості, під час опадів та у сутінках;
- небезпека падіння з висоти при проведенні робіт на автопідіймачах та автодрабинах;

- небезпека випадкового доторкання до електродротів, що перебувають під напругою та належать до електроконтактної мережі міського електротранспорту при проведенні робіт із монтажу та демонтажу дорожніх знаків, розташованих на тросах електроконтактної мережі;

- небезпека наїзду транспорту що проходить повз місце дорожніх робіт на працівників які проводять роботи з налагодження обладнання спровоковано тим що місце проведення дорожніх робіт огорожено чи позначено неналежним чином.

Більш докладно особливості заходів з охорони праці розглянуто у Додатку А.

ВИСНОВКИ

Запровадження розроблених у даній магістерській роботі заходів дозволить підвищити рівень безпеки дорожнього руху на світлофорному об'єкті «Соборний просп. – бульв. Шевченка» за рахунок застосування наступних оперативних заходів організації дорожнього руху:

- каналізування руху шляхом виділення окремої смуги для повороту ліворуч та забезпечення безконфліктного руху цією смугою;

- зменшення кількості конфліктних точок за рахунок заборони розвороту з боку вул. Героїв Крут за умови, що розворот при русі в напрямі вул. Миру дозволено на попередньому та наступному перехрестях;

- збільшення кількості напрямів світлофорного регулювання для транспортних засобів та пішоходів з метою більш оптимального використання ефективного часу циклу світлофорного регулювання за умов функціонування системи магістральної координації.

При капітальних вкладеннях близько 300 тис. грн. менш ніж за рік проєкт окупиться за рахунок зниження транспортних затримок учасників дорожнього руху при застосуванні розроблених схеми організації дорожнього руху та режимів світлофорного регулювання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах [Електронний ресурс] : монографія / Є. Ю. Форнальчик, І. А., Могила, В. Е. Трушевський, В. В. Гілевич ; за заг. ред. Є. Ю. Форнальчика . — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2018 . — 236 с. — Режим доступу: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4224>
2. Geometrical and Functional Criteria as a Methodological Approach to Implement a New Cycle Path in an Existing Urban Road Network: A Case Study in Rome / Paola Di Mascio, Gaetano Fusco, Giorgio Grappasonni [та ін.]. // Sustainability. - 2018. - С. 1-19.
3. ДСТУ 8749:2017 «Огородження та організація дорожнього руху в місцях проведення дорожніх робіт». - Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»). Уведено вперше. - Київ: УкрНДНЦ, 2019. - 37 с.
4. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни „Екологічні характеристики схем організації дорожнього руху”, на тему „Екологічна характеристика руху транспортного потоку на ділянці міської магістралі”, для студентів спеціальності „Організація дорожнього руху” / Укл. В.М. Богаченко, О.О. Бакуліч, О.В. Красильнікова. —К.: КАДІ, 1993 – 28 с.
5. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / за заг. ред. В.П. Поліщука, О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В.І. Єресов та ін. — К.: Знання України, 2012. — 467 с.
6. Bobyr M.V., Yakushev A.S., Dorodnykh A.A. Fuzzy devices for cooling the cutting tool of the CNC machine implemented on FPGA // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 2020, 152, 107378.
7. Bobyr M.V., Emelyanov S.G. A nonlinear method of learning neuro-fuzzy models for dynamic control systems // Applied Soft Computing. 2020. T. 88. С. 106030.

8. Cihan Karakuzu, Osman Demirci, Fuzzy logic based smart traffic light simulator design and hardware Implementation // *Applied Soft Computing*. 2010. № 10. P. 66–73.
9. Ella Bingham. Reinforcement learning in neurofuzzy traffic signal control // *European Journal of Operational Research*. 2001. №131. P. 232–241. 11. С.-Н. Chou, J.-C. Teng, A fuzzy logic controller for traffic junction signals // *Information Sciences*. 2002. №143. P. 73–97.
10. Лазуткін М. І., Журавель М. О. Дослідження 35шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості і напруженості праці : методичні вказівки до лабораторного заняття з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» : для студентів усіх спеціальностей та усіх форми навчання : Запоріжжя: ЗНТУ. Каф. ОП і НС,
11. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 ; чинний від 2014-05-30]. К. : МОЗ України, 2014. 37 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. (Державні санітарні норми та правила)
12. Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист : навчальний посібник для вузів. К. : Знання, 2013. 487 с.
13. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] – Чинний від 2012-11-21. : станом на 01.01.2019 р. – К. : ВР України, 2012. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. – (Закон України)
14. Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань [Електронний ресурс] – Чинний від 1998-01-14. : станом на 29.09.2013 р. – К. : ВР України, 1998. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-вр>. – (Закон України)
15. Положення про єдину державну систему цивільного захисту [Електронний ресурс] : – Чинний від 2014-01-31. – К. : Кабінет Міністрів України, 2014. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-п>. – (Положення)

ДОДАТОК А

Розробка заходів з охорони праці

Оцінка обстановки при аваріях з небезпечними вантажами на залізничному і автомобільному транспорті

Відповідно до ст. 23 Закону України *«Про перевезення небезпечних вантажів»* ліквідацію наслідків аварій, що виникають під час перевезення небезпечних вантажів, здійснюють підрозділи ДСНС та суб'єкти перевезення небезпечних вантажів. Практично з'ясовано, що своєчасне отримання інформації щодо небезпечного вантажу дозволяє вжити відповідні заходи безпеки та запобігти травмування особового складу під час виконання ним своїх обов'язків. Значною мірою ця інформація може бути отримана з маркування небезпечного вантажу.

Аварії з небезпечними вантажами на залізничному і автомобільному транспорті можуть спричинити пожежі, вибухи, хімічне й біологічне зараження, радіоактивне забруднення. Характерною рисою цих НС є значні розміри та висока швидкість формування зони ураження.

Оцінку оперативної обстановки на місці аварії здійснює керівник гасіння пожежі (КГП), або керівник аварійно-рятувальних робіт (КАРР) із залученням спеціалістів штабу з ліквідацій аварії, з метою визначення необхідної кількості сил і засобів для ліквідації джерела забруднення та гасіння пожежі, пошуку і порятунку постраждалих, визначення тактики дій підрозділів та заходів безпеки у зоні хімічного забруднення.

Інформацію про обстановку на місці аварії можна отримувати за наступними джерелами:

- інформацію, яку містить маркування небезпечного вантажу;
- інформацію, яку містять перевізні документи на небезпечний вантаж :
(або) аварійна картка;
- інформацію від осіб, що супроводжують небезпечний вантаж

(провідник або фахівець вантажовласника), локомотивні бригади, водія, від громадян, які були свідками аварійної ситуації в цьому або на окремих її етапах.

На автомобільному транспорті необхідно визначити:

- стан вантажу, наявність витікання НХР;
- можливість утворення зони хімічного забруднення;
- заходи безпеки під час проведення робіт з гасіння пожежі та ліквідації наслідків аварій з НХР;
- наявність у осіб, що супроводжують небезпечний вантаж засобів індивідуального захисту.

З маркування небезпечного вантажу, перевізних документів і аварійної картки визначити:

- основні властивості та види небезпеки;
- засоби індивідуального захисту;
- необхідні дії під час гасіння пожежі та ліквідації наслідків аварії;
- заходи долікарської допомоги;
- способи та засоби нейтралізації НХР.

До аналізу потенційних небезпек можуть входити:

-монотонність роботи за ПК приводить до швидшої втоми, це більш ніж 600 однакових дій упродовж 75 % робочого часу за годину. Монотонність роботи, не ергономічність робочого місця призводить до захворювань загально-невротичного характеру у вигляді підвищеної загальної втоми, головного болю, відчуття важкості голови, поганого сну;

-підвищене значення напруги в електричній мережі, і замикання якої може пройти через тіло людини. Пошкодження ізоляції електропроводки може спричинити коротке замикання та уразити людину. Пошкодження може бути від скручування проводів, через зачеплення ногами за проводи та інше;

-підвищений рівень електромагнітних випромінювань, джерелами яких є блоки живлення (50 Гц), системи кадрової розгортки (5 -2 кГц), блок модуляції променю ЕПТ (5-10 МГц). Електромагнітні поля біля комп'ютера

(особливо низькочастотні) негативно впливають на нервову систему, включаючи головний біль, запаморочення, депресію, безсоння.;

-електризований екран монітору притягує частки пилу, який є у повітрі, та заряджає їх, що визиває роздратованість, сип, запалення шкіри. При роботі на лазерному принтері виділяється озон, який роздратовує слизисту оболонку носа, очей, горла і може приводити до онкологічного захворювання;

-при виникненні короткого замикання та попадання іскри до легкозаймистих матеріалів (бумага, спирт для обтирки та інше) може виникнути пожежа, яка може призвести до опіків людини;

-незадовільнене освітлення штучного та природного освітлення робочого місця дослідника може призвести до зниження працездатності. Може з'явитися короткозорість, швидка втомленість, що приводить до травмування;

-порушення мікроклімату в кімнаті, де розташований ПК. Від працюючої оргтехніки, інших приладів, що нагріваються, температура в кімнаті підвищується, що призводить до дискомфорту оператора, до більш швидшої втоми;

-при появі підвищеного шуму, джерелами якого є жорсткий диск, вентилятор блока живлення мережі, сканери, пересувні механічні частини принтера. Підвищений шум впливає на центральну та вегетативну нервову систему людини, а також на органи слуху.

Заходи по забезпеченню безпеки

При роботі на ПК, рівні електромагнітних випромінювань моніторів, що вважаються безпечними для здоров'я, регламентуються нормами MPR 11 1990:10 Шведського національного комітету по вимірах і випробуванням. Ці значення рівнів вважаються базовими. Українські нормативні документи повністю збігаються в частині рівнів ЕМІ з вимогами MPR 11.

Необхідно враховувати, що будь-який персональний комп'ютер, допоміжне обладнання та периферійні пристрої, які експлуатуються разом з ним (принтер, сканер, модем) є електроустановками які живляться напругою до 1000 В й на них і на все, що пов'язано з їх експлуатацією в повній мірі поширюються вимоги електробезпеки.

Тому з метою забезпечення безпеки, для дослідника, так і обслуговуючого персоналу комп'ютерів, при їх експлуатації в лабораторіях, обладнаних комп'ютерами, повинні бути повністю дотримані вимоги електробезпеки ДСТУ 7237:2011 «Системи стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту».

Для запобігання ураження електричним струмом, необхідно всі дроти, що підходять до ПК та до адаптерів, згорнути у спеціальні ізолюючі вкриття (пластикові коробки). Розташувати їх на стіні, або на полу. Це не дасть можливості пошкодження дротів механічно. «Правил охорони електричних мереж» НПАОП 60.1-1.48-00

Відповідно до вимог розділу «Мінімальні вимоги з охорони праці», директиви ЕС 90/270 ЕЕС виконані основні вимоги до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, що працюють з комп'ютерами:

- символи на екрані чіткі і добре розрізняються;
- зображення позбавлене блимання;
- яскравість та / або контрастність легко регулюються;
- екрани вільні від відблисків і відбиття;
- випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів.

Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Рівні позитивних і негативних іонів в повітрі лабораторії з комп'ютерною технікою повинні відповідати санітарно-гігієнічним нормам ГН 2152-98 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень».

Джерелом електростатичного поля є позитивний потенціал, який подається на внутрішню поверхню екрана монітора для прискорення електронного променя.

Напруженість поля для кольорових дисплеїв може досягати 18 кВ. Тому із зовнішньої сторони до екрана притягаються з повітря негативні частинки, які при нормальній вологості мають певну провідність.

Якщо зовнішня поверхня екрана заземлена, його електростатичний потенціал знижується: при сухому повітрі на 50%, при вологому більш ніж на 50%. Для зменшення впливу принтера, треба винести його в інше приміщення

Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях з ПК повинні бути передбачені системи вентиляції, кондиціонування та опалення, згідно ДБН В.2.5-67:2013 *«Опалення, вентиляція та кондиціонування»*.

При виборі системи вентиляції, необхідно врахувати, що в приміщеннях з комп'ютерною технікою повинен бути забезпечений 3-х кратний повітрообмін за годину.

В рамках дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості та напруженості праці були проведені відповідні виміри мікроклімату, освітлення, рівня шуму та інші у лабораторії де є ПК.

Відповідно до додатків методичних вказівок [25], за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для дослідника це лабораторії обладнаної ПК. Умови праці, за витратами енергії, не перевищують 140 Вт (90-120 ккал/год.) та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії 1б.

З додатків [25], відповідно до категорії робіт 1б, розряду зорових робіт Б-2 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Таблиця А1 - Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Виміряні показники $P_{вим}$	Час дії $год.(хв.)$	ГДК, ГДР, показники, $P_{доп}$	$X_{визн},$ бали	Клас умов праці	$X_i,$ бали
1	2	3	4	5	6	7
Мікроклімат за ТНС-індексом, $t, ^\circ C$	28,3	8	22,9-25,8	4	3.4	4
Освітленість приміщення $E, лк$	250	8	300	—	3.1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, $Зор$	Б-1	—	—	—	—	—
Рівень шуму $L, дБА$	102	5	60	—	3.3	1,88
Загальні енергозатрати організму, Bm	240	8	290	0,83	3.3	3
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	55000	8	40000	1,38		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	83	8	75	1,11		
Тривалість робочого дня, $год.$	8	8	8	0,15		

Для окремих факторів і показників за методикою визначеною «Гігієнічною класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{визн}$ та вносять їх значення до таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС-індекс, додаток Б [25]. Розрахунковий коефіцієнт $X_{визн}$ при оцінка мікроклімату визначаємо в балах, за формулою 7.1:

$$X_{визн} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T} = \frac{4 \cdot 8}{8} = 4$$

для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою 7.2:

а.) Загальні енергозатрати організму, $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{240 \cdot 8 \cdot 1,0}{8 \cdot 290} = 0,83;$$

б.) Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{55000 \cdot 8 \cdot 1,0}{8 \cdot 40000} = 1,38;$$

в.) Тривалість зосередження уваги (% від часу зміни), $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{84 \cdot 8 \cdot 1,0}{8 \cdot 75} = 1,11;$$

г.) Тривалість робочого дня (зміни), $K_{знач} = 0,15$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 0,15}{8 \cdot 8} = 0,15;$$

Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{визн} = 4$, з таблиці 7.2 [25] – 3 клас, 4 ступінь (3.4);

- при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $P_{вим} = 250$ лк, за додатками Г та табл. Г.1 [25] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

- для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $P_{вим} = 102 \text{ дБА}$, за додатками Д та табл. Д.1 [25] – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

- клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників $X_{визн}$ за формулою 7.3 [25]:

$$X_{сум} = \sum_{i=1}^n X_i = 0,83 + 1,38 + 1,11 + 0,15 = 3,46$$

З таблиці 7.3 [25] за значенням суми розрахованих балів показників $X_{сум} = 3,46$ – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

В результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці дослідника лабораторії обладнаної ПК належать до 3 класу, 3 ступеню.

Оскільки при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів доплат за ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо їх значення до таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для оцінки впливу мікроклімату, виходимо з того що він відповідає 3 класу, 4 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому – $X_{см} = X_i = 4$;

- при оцінці впливу освітленості, виходимо з того що вона відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 8 годин, тому коректування не потрібно – $X_{см} = X_i = 1$;

- для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці та діє протягом 8 годин, тому значення X_i визначаємо за формулою 7.4 [25]:

$$X_i = X_{cm} \cdot \frac{T}{8} = 1 \cdot \frac{3 \cdot 5}{8} = 1,88$$

- для оцінки впливу важкості та напруженості праці, виходимо з того що вони відповідають 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 3$;

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , за формулою 7.5 [25]:

$$X_{факт} = \sum_{i=1}^n X_i = 4 + 1 + 1,88 + 3 = 9,88$$

Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{факт} = 9,88$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці», з таблиці 7.4 [25]. Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 20 %.

На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції:

1. Умови, важкості та напруженості праці на робочому місці дослідника лабораторії, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця;

2. Відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці -дослідника належать до категорії 1б, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії 1б, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища - ТНС-індексом - 20,2-22,8°C;

- освітленість приміщення для роботи з дисплеями відповідає розряду зорових робіт Б-1, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах – $E = 300 \text{ лк}$;

- рівень шуму в робочій зоні дослідника – 60 дБА;

- загальні енергозатрати організму, до 175 Вт;

- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 20000;

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни), до 50%;

- тривалість робочого дня, 6 або 7 год.

3. Для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс заходів які забезпечать нормалізацію умов праці, наприклад:

- для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціонування приміщення;

- для забезпечення нормованої освітленості приміщення яка відповідає розряду зорових робіт необхідно провести додаткові розрахунки та визначитися з потужністю ламп, типом ламп та світильників та їх раціональним розміщенням;

- для зниження рівня шуму в робочій зоні дослідника необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом;

- для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня 6 або 7 год

- для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1-2 години;

- для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

4. Якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, відповідно до таблиці 7.4 [25], у розмірі 20%