

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ
УДОСКОНАЛЕННЯМ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ
(НА ПРИКЛАДІ МІСТА ВІННИЦІ)

Виконав: студент 2 курсу, групи 1ТТ-19мз
спеціальності 275 – Транспортні технології
(за видами) за спеціалізацією 275.03 –
Транспортні технології (на автомобільному
транспорті)

Щербатюк В. Л. _____

Керівник: к.т.н., ст. викл. каф. АТМ

Галушак О.О. _____

« ____ » _____ 20__ р.

Рецензент: _____

« ____ » _____ 20__ р.

Робота допускається до захисту

В.о. завідувача кафедри АТМ

д.т.н, професор Макаров В.А _____

« ____ » _____ 20__ р.

Вінниця ВНТУ– 2021 року

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність 275 – Транспортні технології (за видами)
Спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
Освітня програма – «Транспортні технології на автомобільному транспорті»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри АТМ
д.т.н., професор Макаров В.А.

« » 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Щербатюку Валентину Леонідовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності організації дорожнього руху
удосконаленням світлофорного регулювання (на прикладі міста Вінниці),
керівник роботи Галушак Олександр Олександрович, к.т.н., ст. викл.,

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

затверджені наказом ВНТУ від «09» березня 2021 року № 64.

2. Строк подання студентом роботи: 28.05.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: Законодавство України в галузі безпеки руху, охорони
праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район
експлуатації автомобілів – Україна; цикли світлофорного регулювання; похибка
прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

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

1 Аналіз методів управління світлофорами на автомобільних
перехрестях.

2 Формування режимів та структури циклу світлофорного регулювання.

3 Удосконалення автоматизованого проектування режимів світлофорного регулювання.

4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

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

1-3 Тема, мета та завдання дослідження.

4 Послідовність розрахунку тривалості циклу світлофорного регулювання та його
елементів.

5-6 Формалізація схеми руху на перехресті

7-8 Формування структури світлофорного циклу та режиму регулювання

9 Алгоритм координованого регулювання транспортних потоків.

10 Графіку координованого світлофорного регулювання для вулиці Келецька м. Вінниця.

11 Висновки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Галушак О.О., ст. викладач 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 «10» березня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	10.03-14.03.2021	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	10.03-14.03.2021	
3	Обґрунтування методів досліджень	15.03-18.03.2021	
4	Розв'язання поставлених задач	18.03-25.05.2021	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	20.05-25.05.2021	
6	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	26.04-25.05.2021	
7	Виконання розділу «Економічна частина»	26.04-25.05.2021	
8	Нормоконтроль МКР	25.05-28.05.2021	
9	Попередній захист МКР	31.05-01.06.2021	
10	Рецензування МКР	02.06-04.06.2021	
11	Захист МКР	07.06-08.06.2021	

Студент

(підпис)

Щербатюку В. Л.

Керівник роботи

(підпис)

Галушак О.О.

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, 4 розділів і загальних висновків. Загальний обсяг роботи 96 сторінки, у тому числі 25 рисунків, 24 таблиці, 43 літературних джерел.

Предметом магістерської кваліфікаційної роботи є методи формування режимів та структури циклу світлофорного регулювання.

Робота складається з 4 розділів:

1. Аналіз методів управління світлофорами на автомобільних перехрестях;
2. Формування режимів та структури циклу світлофорного регулювання;
3. Вдосконалення автоматизованого проектування режимів світлофорного регулювання;
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Метою роботи є підвищення ефективності світлофорного регулювання та визначення параметрів світлофорного режиму за умови утворення цілісної структури світлофорного циклу.

ANNOTATION

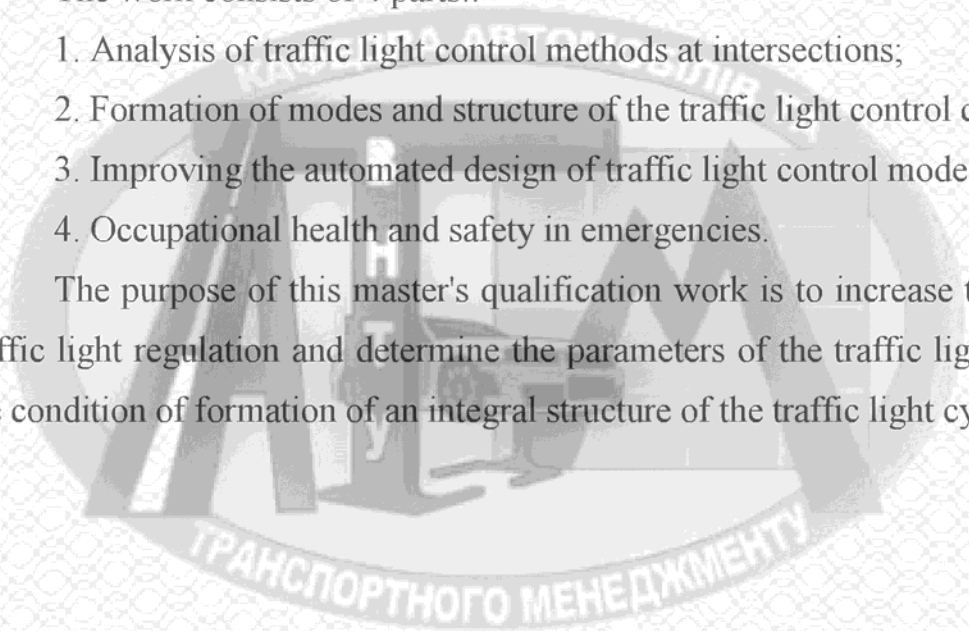
The master's qualification work consists of an introduction, 4 sections and general conclusions. The total volume of the work is 96 pages, including 25 figures, 24 tables, 43 literature sources.

The subject of the master's qualification work is the methods of formation of modes and structure of the traffic light control cycle.

The work consists of 4 parts::

1. Analysis of traffic light control methods at intersections;
2. Formation of modes and structure of the traffic light control cycle;
3. Improving the automated design of traffic light control modes;
4. Occupational health and safety in emergencies.

The purpose of this master's qualification work is to increase the efficiency of traffic light regulation and determine the parameters of the traffic light regime under the condition of formation of an integral structure of the traffic light cycle.



ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ СВІТЛОФОРАМИ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ	9
1.1 Висновки до розділу 1	27
РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ РЕЖИМІВ ТА СТРУКТУРИ ЦИКЛУ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	28
2.1 Формалізація схеми руху на перехресті	28
2.2 Визначення перехідних інтервалів	31
2.3 Зв'язок між основними тактами та перехідними інтервалами	34
2.4 Формування структури світлофорного циклу та режиму регулювання	37
2.5 Визначення впливу на структуру світлофорного циклу пішохідних наряжків руху	49
2.6 Приклад реалізація світлофорного регулювання	57
2.7 Висновки до розділу 2	61
РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	63
3.1 Удосконалення алгоритму визначення параметрів регулювання транспортних потоків	63
3.2 Розрахунок режимів координованого регулювання транспортних потоків	68
3.3 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи	78
3.4 Висновки до розділу 3	83
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	84
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	84
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочого місця	84

	5
4.1.2 Електробезпека	86
4.1.3 Промислова безпека об'єктів з підвищеною небезпекою	87
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	89
4.2.1 Мікроклімат	89
4.2.2 Склад повітря робочої зони	90
4.2.3 Виробниче освітлення	92
4.2.4 Виробничий шум	93
4.2.5 Виробничі вібрації	94
4.3 Висновки до розділу 4	95
ВИСНОВКИ	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	97
ДОДАТКИ	102



ВСТУП

Актуальність теми. Автоматизовані системи світлофорного регулювання дорожнього руху сприяють повному використанню пропускнув здатності вулично-дорожньої мережі та зменшенню аварійності у містах через удосконалення режимів руху транспортних засобів та пішоходів.

Застосування таких систем є суттєво менш затратним у порівнянні зі зведенням нових транспортних розв'язок та об'їзних магістралей, а також скорочує затримки учасників дорожнього руху, зменшує вміст шкідливих речовин у викидах відпрацьованих газів від двигунів внутрішнього згорання у навколишнє середовище, а також сприяє безпеці руху.

Методика розрахунку режимів світлофорного регулювання на основі пофазового роз'їзду транспортних засобів та пішоходів дає змогу визначити тривалість елементів світлофорного циклу для всіх напрямів однієї фази регулювання. Однак вводиться умовності, що зменшують ефективність регулювання світлофорів, так як не беруться до уваги резерви часу, які з'являються через відмінності у завантаженні дорожнім рухом на різних напрямках. Неточності у визначенні часу протягом якого транспортні засоби та пішоходи починають та завершують рух через перехрестя мають несприятливий вплив на безпеку руху.

В результаті усіх неточностей утворюються ненасичені фази регулювання, а настроювання часу дозволяючих сигналів веде до помітного зростання тривалості циклу регулювання, що, спричиняє передзаторові стани та погіршення комфорту дорожнього руху.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до науково-дослідної тематики кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету і є невід'ємною частиною досліджень пов'язаних з підвищенням безпеки дорожнього руху.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності світлофорного регулювання та визначення параметрів світлофорного режиму за умови утворення цілісної структури світлофорного циклу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз методів управління світлофорами на автомобільних перехрестях;
- розглянути сучасні методи поєднання структури циклу світлофорного настроювання та визначення його складових;
- визначити оптимальну структуру та елементи циклу при управлінні транспортними потоками за окремими напрямками;
- синтез структури світлофорного циклу;
- розробити послідовність для визначення управляючих параметрів світлофорного регулювання на базі вихідних даних.

Об'єкт дослідження – рух транспортних і пішохідних потоків на регульованих перехрестях.

Предмет дослідження – параметрами світлофорного регулювання на перехрестях.

Методи досліджень. Методологічною основою роботи є використання системного підходу, аналізу проблем з технічної, математичної і інформаційної точок зору. В роботі використовуються наступні методи досліджень: математичне програмування, системний аналіз, системотехніка.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вдосконалено алгоритми управління світлофорною сигналізацією на перехресті при організації руху транспортних та пішохідних потоків за окремими напрямками з врахуванням оптимальних співвідношень між дозволяючими світлофорними сигналами.

Практична значимість отриманих результатів.

Вдосконалено спосіб розрахунку режимів світлофорної сигналізації за певними напрямками.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, порівнянням результатів, отриманих за допомогою розроблених у роботі методів, з відомими.

Апробація результатів роботи. Деякі положення та результати роботи доповідались та обговорювались на регіональній науково-практичній інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (Вінниця: ВНТУ, 2021).

Публікації. Основні положення та результати досліджень за участі автора опубліковані в одній публікації [1].



РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ СВІТЛОФОРАМИ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ

Зі збільшенням кількості автомобілів у великих містах значною стає проблема низької пропускної здатності вулично-дорожньої мережі. В результаті цього виникають дорожні затори та погіршується дорожньо-транспортна статистика.

Основними проблемними місцями є місця перетину і злиття транспортних потоків в одному рівні, а також при взаємодії транспортних і пішохідних потоків. Зазвичай при досягненні на перехрестях відповідних значень інтенсивності руху, що призводить до конфліктних ситуацій на ньому вводиться світлофорне регулювання [1, 2,3]. Однак, введення регулювання не виключає застосування інших заходів організації дорожнього руху, що мають оперативний та архітектурно-планувальний характер. Зокрема, до таких належить зміна кількості смуг та напрямку руху ними, заборона та віднесення окремих маневрів, спеціалізація смуг та каналізування руху, будівництво острівців безпеки, введення одnobічного руху та інші.

Ефективність використання цих прийомів суттєво зростає, якщо супроводжується адекватною і своєчасною зміною режимів світлофорного регулювання. Однак, зважаючи на розміри сучасних міст, застосування мережевих систем координації та велику кількість світлофорних об'єктів, необхідність автоматизації розрахунку параметрів світлофорного регулювання та програмування дорожніх контролерів є нагальною потребою.

Однією з основних переваг світлофорної сигналізації над іншими засобами регулювання дорожнього руху є можливість постійної зміни світлофорного режиму відповідно до дорожньо-транспортної ситуації в зоні регулювання.

Отже, виникає потреба автоматизованого визначення параметрів світлофорного регулювання шляхом комп'ютеризації розрахунків з метою їх

безпомилкового проведення та отримання результатів протягом короткого часу.

На рисунку 1.1 наведено скрін одного з вікон програми конфігурації дорожнього контролера ДК-01. Програма дозволяє програмувати контролер шляхом перезапису інформації у флеш-пам'яті електронного чіпа, тобто сам процес перепрограмування є дуже швидким. Проблема полягає у тому, що конфігурація світлофорного режиму задається вручну шляхом введення параметрів для кожної фази та кожного напрямку регулювання. Велика кількість значень, що вводяться вручну, збільшує імовірність виникнення помилок.

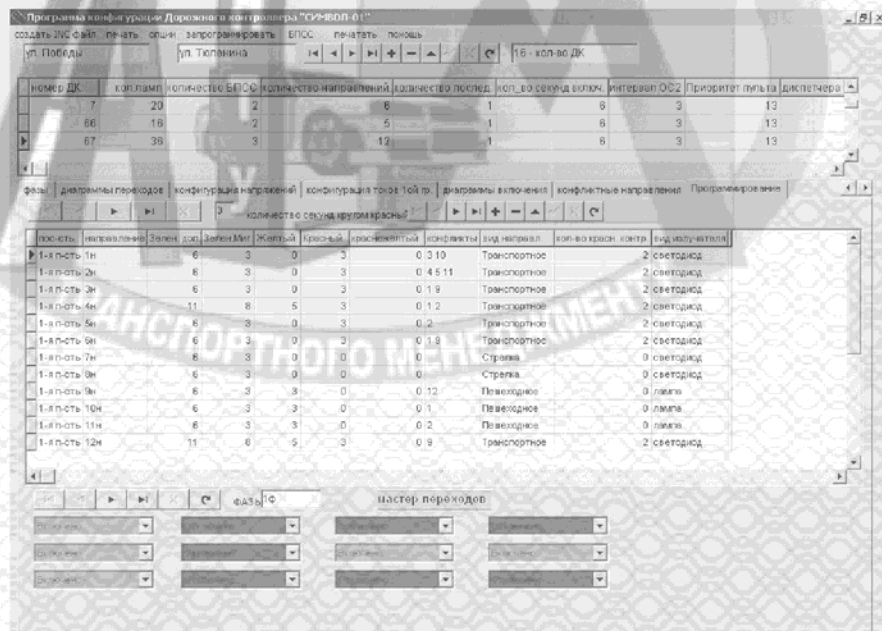


Рисунок 1.1 – Вигляд робочого вікна програми конфігурації дорожнього контролера

На рис. 1.2 наведено діаграму перехідних інтервалів, від якої відрізняється від рекомендованих схем зображення циклограм та містить лише фрагмент зображення структури циклу.

фаза	номер секунды	1 БПСС 1-в пол секунды	1 БПСС 2-в пол секунды	2 БПСС 1-в пол секунды	2 БПСС 2-в пол секунды																										
1ф	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1ф	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1ф	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1ф	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1ф	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1ф	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1ф	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2ф	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3ф	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Рисунок 1.2 – Вигляд діаграми перехідних інтервалів програми конфігурації дорожнього контролера

Можна констатувати, що для ефективного використання можливостей світлофорного регулювання як оперативного засобу для управління дорожнім рухом у великих містах, програмно-апаратні можливості технічних засобів автоматизованої системи управління дорожнім рухом повинні забезпечувати максимальну автоматизацію всіх операцій.

Сучасні автоматизовані системи управління дорожнім рухом на основі пофазового методу та за окремими напрямками регулювання дають змогу здійснювати управління світлофорними сигнальними пристроями [4]. Функціональність дорожнього контролера є основним фактором, що визначає технічну можливість здійснення управління світлофорними. Дорожній контролер – це електронний або електромеханічний пристрій, що забезпечує відповідно за заданого режиму (режимів) перемикання світлофорних сигналів шляхом подачі напруги на лінії електропередач випромінювачів світла у світлофорах.

Сучасні контролери мають функціональну схему, що зображена на рис. 1.3. Мікропроцесорний блок управління програмується за допомогою ЕОМ таким чином, аби контролер виконував команди, що надходять по лініях зв'язку, перетворюючи їх в електричні сигнали для світлофорних пристроїв, передавав потрібну телеметричну інформацію. Задля відповідності

послідовності світлофорних сигналів вимогам безпеки дорожнього руху, що встановлені відповідними нормативами програмно та апаратно здійснюється чіткий контроль, а також забезпечується принцип пріоритетності керування на усіх рівнях з можливістю переходу до ручного управління, встановлення фаз детекторами та пішоходами через табло.

При цьому програмна та апаратна частина контролера повинні становити єдину стійку та збудованих факторів надійну структуру. В такому випадку застосування пофазного принципу управління роботою світлофорного об'єкту є простішим за управління окремими напрямками регулювання, хоча останній спосіб не вимагає жодних змін в апаратній частині. Фазове управління спрощує процедуру програмно-апаратного контролю відсутності одночасного ввімкнення дозволяючи сигналів різних напрямів регулювання та спрощує відпрацювання перехідних інтервалів.

Розрахунок локальних режимів світлофорної сигналізації при пофазному принципі управління включає в себе визначення структури світлофорного циклу (введення напрямів у фази регулювання та встановлення порядку чергування фаз) та визначення тривалостей елементів світлофорного циклу (основних тактів та перехідних інтервалів).

Як вихідні дані для розрахунку обрано фактичну інтенсивність руху на підходах до перехрестя та пропускну спроможність так як визначення тривалості циклу та основних тактів регулювання базується на їх основі. Розрахунок тривалості циклу та елементів відображено на рисунку 1.4.

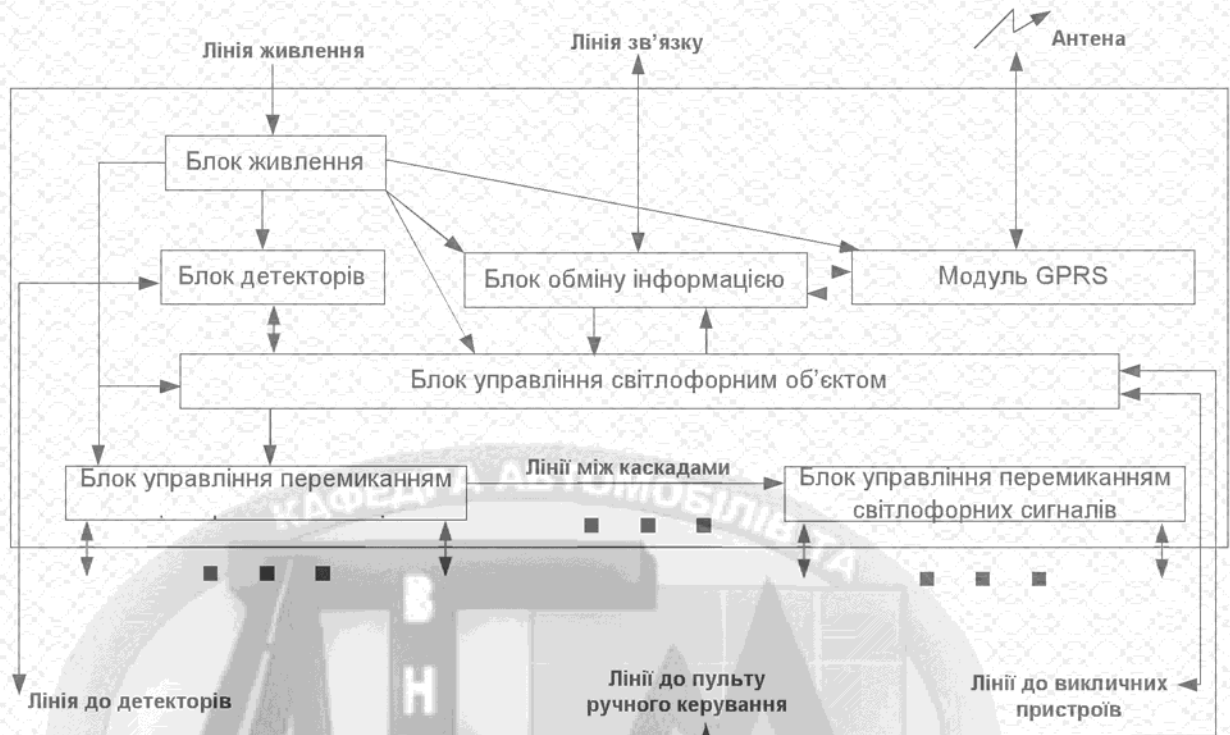


Рисунок 1.3 – функціональна схема дорожнього контролера

Основні принципи пофазного роз'їзду [4]:

1. Прагнути до мінімального числа фаз у циклі регулювання.
2. Дозволено об'єднувати в 1 фазі лівоповоротний потік, який конфліктує з визначальним, зустрічним потоком прямого напрямку, якщо інтенсивність лівоповоротного потоку не більша 120 авт/год.
3. Організувати безпроблемний пропуск пішоходів; у крайньому випадку пішохідний і конфліктує з ними транспортні потоки, що повертають, можна пропускати в одній фазі, якщо інтенсивність пішохідного потоку не вища 900 чол/год., а транспортних потоків, що повертають – не вища 120 авт/год.

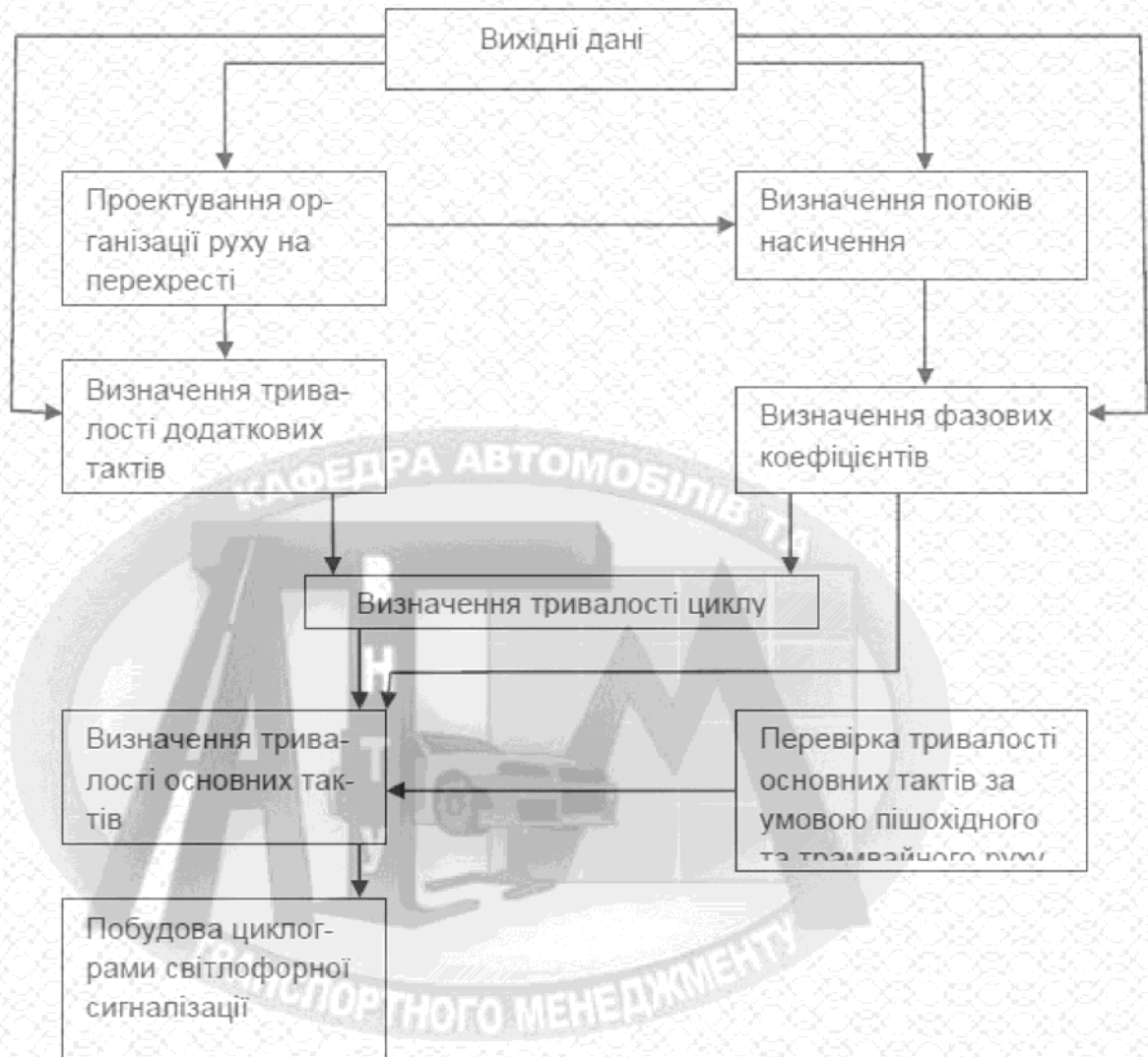


Рисунок 1.4 – Послідовність розрахунку тривалості циклу та його елементів

4. Не допускати випуск з однієї і тієї ж смуги транспортні засоби, що рухаються в різних фазах, тобто смуги руху прикріплені за визначеними фазами.

5. Забезпечувати рівномірне завантаження смуг. Інтенсивність руху, у середньому яка приходить на одну смугу, не має перевищувати 700 од/год.

6. Широка проїзна частина та острівці безпеки варто розглядати можливість поетапного переходу пішоходами вулиці протягом двох наступних друг за другом фаз регулювання.

Основний такт є частиною циклу регулювання, пропорційної фазовому

коефіцієнту, розрахункове значення якого відповідає максимальному відношенню інтенсивності до потоку насичення для різних підходів до перехрестя в даній фазі. Перехідний інтервал, з огляду на його призначення, залежить від довжини транспортного засобу, визначається планувальною характеристикою перехрестя й швидкістю руху транспортних засобів у його зоні. Дані про перехідні інтервали (втраченому часі) і розрахункових фазових коефіцієнтах лежать в основі розрахунку тривалості циклу регулювання, що може бути скоректована з урахуванням вимог пішохідного або трамвайного руху. Завершальним етапом роботи є побудова циклограми світлофорної сигналізації, на якій відображаються тривалість і порядок чергування сигналів.

Однак, деякі процедурні моменти при застосуванні такого методу не визначені чітко, внаслідок чого виникають практичні проблеми, зокрема, на етапі визначення структури циклу світлофорного регулювання.

При проведенні експериментів виявилось, що за певних умов, які визначаються способом розрахунку додаткових тактів (перехідних інтервалів) циклу світлофорного регулювання (СФР), такий параметр режиму СФР, як втрачений у циклі час (L) залежить не лише від загальної кількості фаз (тактів), а також від черговості цих фаз (тактів) у циклі. Так при врахуванні часу руху транспортного засобу до найдалшої конфліктної точки (НКТ) перетинання в кожному з додаткових тактів, величина L змінюється на 15-20% у залежності від загального числа фаз (тактів) регулювання та їх черговості.

Експериментально з'ясували:

- оптимальну черговість фаз (тактів), за якої втрачений час у циклі регулювання найменший;
- при збільшенні кількості фаз (тактів), а отже і кількості способів черговості фаз, діапазон $\Delta L = L_{max} - L_{min}$ збільшується;
- найменше значення втраченого часу досягається при черговості фаз, де сума відстаней до НКТ найменша [5].

Останнє твердження можна заперечити на такому прикладі. Напрями 1 та 2 конфліктні між собою та неконфліктні лише з напрямом 3. Тривалість

дозволяючого сигналу за напрямом 3 значно більша, ніж за напрямими 1 та 2. При цьому, якщо мінімальний проміжок між напрямими 1 та 2 менше різниці тривалості напрямку 3 та суми тривалостей напрямів 1 та 2, його тривалість не впливає на оптимальну тривалість циклу регулювання (рис. 1.5).

Також, в [5] наводяться методи, на основі яких можливо оптимізувати структуру циклу світлофорного регулювання за критерієм мінімізації тривалості втраченого часу.



Рисунок 1.5 Фрагмент структури циклу світлофорного регулювання

Умови оптимізації режиму СФР за критерієм мінімального втраченого часу у циклі регулювання записуються як:

$$L(P_m) = \min, \quad (1.1)$$

$$\text{де } P_m = (m-1)! \quad (1.2)$$

- кількість можливих варіантів черговості та сигнальних груп (фаз) регулювання при обмеженнях:

$$2 \leq m \leq m_{\max}. \quad (1.3)$$

При цьому вираз для визначення втраченого часу у циклі має вигляд:

$$L = \sum_{i=1}^m (t_{i1} - 1), \quad (1.4)$$

де t_{i1} – значення додаткових тактів (перехідних інтервалів) для відповідних основних тактів, що беруть участь у даному циклі регулювання, с.

У свою чергу, тривалості додаткових тактів (перехідних інтервалів) t_{in} є функціями параметрів транспортних потоків і дорожніх умов:

$$t_{.i} = \delta + \frac{V}{2d} + \frac{(l_a + l'_{HKT})}{V} - \left(\frac{2l''_{HKT}}{a} + 3 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1.5)$$

де δ – час реакції водія, с;

V – швидкість на напрямку перехрестя, м/с;

d – комфортне уповільнення, м/с²;

l_a – довжина автомобіля, м;

l'_{HKT} , l''_{HKT} – відповідно дистанції від стоп-лінії до НКТ у фазі, м;

a – максимальне прискорення при розгоні автомобіля, м/с².

Оскільки, значення l_{HKTi} залежить від траєкторії руху транспортних засобів, то відстань до НКТ (1) визначається експериментально. Кут перетину доріг, ширина та кількість смуг руху впливають на траєкторію руху. Обчислення l_{HKTi} ускладнюється, оскільки, характеристики кожного перехрестя різні, однак за допомогою сучасних ІТ можна змоделювати траєкторії руху та обчислити l_{HKTi} , $\sum l_{HKTi}$. Черговість, що відповідає виразу (1.6) приймається за оптимальну.

Можна зауважити, що у формулі (1.5) не враховано можливість включення до одного напрямку регулювання прямих та поворотних траєкторій руху. Під час руху поворотними траєкторіями швидкість руху зменшується на 30%, але не нижче, ніж до 30 км/год, тому лінійний зв'язок між зменшенням відстаней до НКТ та тривалостей перехідних інтервалів можна заперечити. Зміна тривалостей дозволяючих сигналів відбувається при зміні порядку чергування сигнальних груп за рахунок зміни втраченого часу, яка утворює рекурсійну залежність при накладенні на нову структуру перехідних інтервалів.

У [2] йдеться, що для оптимізації структури циклу за критерієм мінімізації втраченого часу слід розглядати лише певні перехідні інтервали з

усіх можливих комбінацій напрямів світлофорного регулювання, наведено визначення поняття критичного перехідного інтервалу як такого, що утворився для відрахування часу, необхідного для роз'їзду критичних конфліктних напрямів регулювання. Критичними напрямими названо конфліктні напрями, перетин яких буде досягнуто через найменший проміжок часу після ввімкнення дозволяючого сигналу в наступній фазі регулювання. Вказано також, що оптимальною з точки зору втраченого часу є послідовність чергування фаз, в якій критичні перехідні інтервали є найменшими за часом.

До недоліків слід віднести те, що визначення критичних перехідних інтервалів відбувається шляхом перебору можливих послідовностей вже сформованих фаз регулювання. У випадку значної кількості напрямів і фаз кількість варіантів збільшується (формула 3.9), тому на перебір витрачається багато часу. Крім того, не враховано, що на складних перехрестях існує кілька варіантів включення напрямів регулювання до фаз. В залежності від вибору цих варіантів змінюються пари критичних напрямів, що, в свою чергу, змінює тривалість критичних перехідних інтервалів.

Слід також розглянути літературні джерела, що наводять математичні методи для визначення оптимальної структури циклу світлофорного регулювання.

У [6] зазначено, що існуюча матрична модель конфліктів між напрямими світлофорного регулювання у циклі достатньо адаптована лише для жорсткого регулювання при обмеженій кількості напрямів у циклі. Проте, в реальних умовах кількість напрямів регулювання визначається для перехрестя одноразово і не змінюється залежно від режимів регулювання, оскільки ця кількість визначає наявність та розташування світлофорних пристроїв на перехресті. Можливо припустити, що в деяких режимах певні напрями будуть змінювати сигнали одночасно (тобто належатимуть до однієї сигнальної групи), проте за рахунок цього розрахункова кількість напрямів може лише зменшуватися, проте не може перевищити кількість смуг на всіх підходах до перехрестя, оскільки для кожного напрямку регулювання повинна виділятися хоча б одна смуга [7].

В статті також запропоновано практичний та наочний метод представлення конфліктності напрямів регулювання за допомогою графа, що відкриває можливість застосування елементів теорії графів для розв'язання поставленої задачі.

Ставиться задача мінімізувати кількість розбивок вихідної множини напрямів на групи (зменшення кількості фаз світлофорного регулювання) та послідовність руху транспортних засобів у визначених напрямках. Щодо наведеної аналогії між сигнальними групами та фазами регулювання, то її застосування може бути припустимим лише при визначенні кількості розбивок вихідної множини, оскільки при оптимізації порядку зміни напрямів у циклі, що сформований за принципом сигнальних груп, слід враховувати співвідношення між тривалостями дозволяючих сигналів кожного напрямку та мінімальних часових проміжків від завершення дозволяючого сигналу за одним з конфліктних напрямків до його початку за іншим з напрямів.

Для поділу напрямів регулювання на неконфліктні групи пропонується використати модифікований «жадібний» алгоритм розфарбування графу[8]. Підмножини одного кольору відповідають групам неконфліктних напрямків регулювання, а отже можуть бути включені до однієї фази.

Крім запропонованого у [8] методу розфарбування графу, існує більш пристосований для застосування в рамках комп'ютерної програми метод поділу графа на підграфи.

В статті [9] пропонується підхід до розв'язку задачі пошуку максимального повного підграфа в графі. Сама задача, як відомо, є NP-повною, тобто в загальному випадку отримати розв'язок можливо лише перебиранням всіх варіантів. Запропоновані у статті алгоритми дозволяють отримати значення кількості підграфів, наближене до оптимального, при цьому кожен підграф характеризуватиметься максимально високою для даних початкових умов потужністю.

Проблема підвищення ефективності світлофорного регулювання загострюється і за кордоном у містах, що мають транспортні проблеми схожого характеру.

Широкого застосування набули табло зворотного відліку часу, вмонтовані у секції транспортних та пішохідних світлофорів, а також в окремому виконанні (останні застосовуються у Санкт-Петербурзі, Києві, Москві).

Означені відомості дозволяють стверджувати, що навіть при здійсненні адаптивного регулювання дорожнього руху, встановлена системою тривалість червоного та зеленого сигналів не може коригуватися протягом дії самих сигналів, з чого, за умови застосування методу управління за сигнальними групами, фактично впливає технічна можливість зміни тривалості зеленого та червоного сигналів лише один раз у циклі регулювання.

Означений висновок підтверджується тим, що у міських умовах складні перехрестя працюють, як правило, у складі систем координованого регулювання, тому кількаразова зміна параметрів циклу призведе до зміни тривалостей сигналів на інших перехрестях системи і режиму координації.

Задача оптимізації режиму роботи світлофорного об'єкту навіть на локальному рівні є багатокomпонентною, що і підтверджується у [10]: завдання розрахунку керуючих впливів на локальному перехресті є багатоетапним і містить такі підпункти: розрахунок перехідних інтервалів; сполучення напрямків у фазі; визначення тривалостей сигналів, які дозволяють і забороняють рух; формування циклу управління (стикування що дозволяють і забороняють руху сигналів, перехідних інтервалів).

У роботі [15] вказується, що оперативність автоматизованих систем управління дорожнім рухом забезпечується шляхом зміни тривалості дозволяючого сигналу на основі даних про рух (в основному в системах використовується алгоритм пошуку розриву у потоці); збільшення тривалості дозволяючого сигналу із урахуванням інтересів громадського транспорту; збільшення тривалості дозволяючого сигналу для пішоходів (якщо від них надходить відповідний запит).

Варто відзначити, що в умовах скоординованого регулювання послідовність дій при пошуку розриву може застосовуватись лише протягом проміжків у циклі регулювання, через які не проходить стрічка безперервного

часу, а також потужні потоки позагрупових транспортних засобів. Крім того, всі перераховані дії спрямовуються лише на тривалості дозволяючи і заборонних сигналів, оминаючи структуру циклу регулювання, У той же час тривалості перехідних інтервалів на перехрестях з багатосмуговими проїзними частинами досягають мінімальних значень тривалостей основних тактів регулювання, крім того, порядок чергування дозволяючих сигналів впливає на графік координованого регулювання, а отже оптимізаційна робота з параметрами світлофорного регулювання повинна супроводжуватися паралельною оптимізацією структури циклу.

Вказані недоліки у постановці задач оперативного регулювання дорожнього руху на перехресті у роботі [11] зазначені у математичних моделях автоматизованих система управління дорожнім рухом, зокрема не вирішується задача оптимального розподілу напрямів регулювання між фазами, визначення фазових коефіцієнтів з урахуванням розділення інтенсивностей руху між частинами дозволяючих сигналів, включених у різні фази та перехідними інтервалами цих фаз.

Енглезі І.П. у [11] зазначає, що для оперативного регулювання дорожнього руху на перехресті необхідно враховувати першість транспорту громадського користування.

Це питання розвивається у роботі [12] Зокрема, йдеться про систему автобусного пріоритету сигналу (АПС), що була впроваджена в багатьох містах світу, транспортну стратегію пріоритету сигналу, що забезпечує ефективний рух автобусів через регульовані перехрестя. Більшість систем АПС не працюють ефективно при русі в мережі з близько розташованою автобусною зупинкою через невизначеність у реальному часі. Більшість автобусних зупинок на магістральних вулицях США має цей тип. Робота [12] показала, що реальний час прибуття до лінії регулювання від поблизу розташованих зупинок може бути змодельований із застосуванням методу регресії найменших квадратів. Більш важливим є те, що були розраховані інтервали передбачення, що пов'язані з оцінкою реального часу. Ці інтервали далі були використані в покращеному алгоритмі, що спрямовувався на

зменшення негативних ефектів близько розташованих автобусних зупинок на операції АПС.

Поняття автобусного пріоритету сигналу (АПС) було встановлено експериментально на початку 60-х. Дослідження, виконане до 1990 р. забезпечило більшу частину бази для сучасних автобусних систем пріоритету. Мета автобусного пріоритету сигналу полягає в тому, щоб зменшити затримку автобусів на регульованих перехрестях. У поясненнях для спеціального опрацювання автобусів є обґрунтування високого завантаження цих транспортних засобів. Одна з цілей у виборі часу транспортного сигналу полягає у мінімізації повної затримки усіх транспортних засобів на перехресті. При розрахуванні завантаження транспортних засобів пасажирями необхідно визначити пріоритет у русі, задля зменшення сумарних затримок усіх учасників дорожнього руху. Тому надання пріоритету автобусам більш імовірно мінімізує повну затримку людини та максимізує пропускну спроможність, виражену в людино-годинах

Системи АПС можуть бути класифіковані за трьома стратегіями: пасивна, активна та адаптивно-оперативна. Різниця між пасивними і активними стратегіями полягає у тому, що перші працюють безперервно, незалежно від наявності автобуса і не вимагають автобусної системи виявлення, активні безпосередньо працюють з автобусною системою для виявлення автобусів, що мають пріоритет. Адаптивна оперативна стратегія забезпечує пріоритет, одночасно випробовуючи та оптимізуючи задані критерії роботи.

Пасивні стратегії АПС застосовують для поліпшення автобусного руху на перехрестях, а також забезпечення сигналу та вибору часу. Незалежно від наявності автобуса, зв'язку регульованих перехресть та рухомого проти напрямку автобуса працює пасивний пріоритет. Однією з пасивних стратегій АПС є подовження дозволяючого сигналу для автобусів при найкращих умовах.

Так як вибір часу сигналу прилаштований для магістральної координації автобусного потоку, рух на другорядних вулицях може мати непотрібні

затримки та зупинки у русі на другорядних напрямках через першочерговий пропуск автобусів у кожному циклі незалежно від того, чи вони є.

Інші пасивні стратегії пріоритету:

- регулювання тривалості циклу (при зменшенні тривалості циклу для транзитних транспортних засобів з'являється потреба у частішому обслуговуванні, що в свою чергу зменшує затримку);
- розщеплення фаз (фази пріоритету розбиваються на багатократні фази, що включаються кілька разів протягом кожного циклу, при цьому не зменшуючи його тривалість);
- збільшення тривалості фази (ймовірно, що збільшення часу зеленого сигналу світлофору для певного напрямку, дозволить подолати лінію регулювання без зупинки);
- вимірювання кількості транспортних засобів (призначене для забезпечення проїзду автобусів у встановлений для них час дозволяючого сигналу, шляхом зменшення кількості транспортних засобів у системі).

Активні стратегії АПС базуються на даних щодо місцезнаходження автобуса і відповідно забезпечують гнучкість управління сигналом. Перевага активної стратегії ПАС у порівнянні з пасивними полягає у пріоритетності лише при наявності автобуса. Такі стратегії – великі інфраструктури, більш інтенсивні і потребують:

1) пристроїв виявлення автобусів, що наближаються на попередньому за напрямом руху перехресті;

2) сучасних дорожніх контролерів для надання пріоритету.

При виявленні автобуса контролер застосовує загальні активні стратегії:

- 1) збільшувати період зеленого сигналу у визначеній фазі;
- 2) припинення другої фази раніше, задля забезпечення раннього старту автобуса;
- 3) додавання ще однієї автобусної фази, для проходження автобусу перш ніж відбудеться повернення до регулярного вибору тривалостей.

Вибір необхідної стратегії, залежить від моменту циклу в якому виявлено транспортний засіб.

У зеленій стратегії тривалість зеленої фази збільшується для автобусів, які під'їжджають до перехрестя під час зеленого сигналу. При наближенні автобусу до перетину для проходження при завершенні зеленого інтервалу, поточний інтервал може бути збільшений, для проїзду перехрестя. В іншому випадку збільшується затримка транспортного засобу, оскільки потрібно чекати зеленого сигналу наступного циклу.

Рання зелена стратегія. При визначенні автобуса під час червоного сигналу, неперіоритетна фаза зменшується за необхідності пришвидшити стартову фазу для руху автобусів. При досягненні транспортним засобом світлофора наприкінці червоного інтервалу для його підходу, теперішня фаза може закінчитися раніше, для початку зеленої фази для автобуса. Такий підхід застосовують в чергах, які скорочуються на автобусному підході так, щоб уникнути автобусом черг перед переїздом через перехрестя.

Стратегія вставки фази. За даним підходом, вставки фази додається спеціальна фаза, при якій автобус виявляють на попередньому за рухом перехресті. При під'їзді автобуса до лінії регулювання всередині червоного періоду його підходу, автобусна фаза додається у межах нормальної послідовності сигналу та при проїзді перехрестя контролер повертається до звичної роботи. Рисунок 2-4 ілюструє цю стратегію, де спеціальна фаза вставлена і призначена для автобусів.

При значному потоці активна стратегія АПС вказує, що для досягнення контролю потрібно зарезервувати нормальний режим в контролерах. Це в свою чергу може призвести до руйнування системи при роботі в координованому режимі. Стратегії, що розвиваються і здатні підтримувати транспортний контролер в прогресивному стані, а також забезпечувати пріоритет сигналу автобусам не досліджені сповна. У запропонованих стратегіях параметри для регулювання сигналу розраховують в межах другорядної тривалості циклу, підтримуючи координацію сигналу. Обмеження тривалості циклу лімітує час, виділений пріоритетній фазі та потребує складнішого контролю логіки для сигналу.

Приймаючи до уваги вище наведені дослідження виникає необхідність

змінити структуру світлофорного циклу при застосуванні активних стратегій в системах пріоритетного пропуску маршрутних транспортних засобів. Оскільки, сигнал про наближення до лінії регулювання маршрутного транспортного засобу надходить у будь-який момент, тому необхідно автоматизувати систему прийняття рішення про зміну структури циклу.

Для ефективної роботи потрібно визначати тип транспортного засобу та напрям його руху. Електричні транспортні засоби мають відмінності від іншого громадського транспорту. У тролейбусів та трамваїв менша технічну швидкість біля перехрестя та на перехрестях, оскільки вони проходять криві ділянки колії і контактного дроту, стрілок, секційних роз'єднувачів та інших спеціальних частин. Враховуючи великі габарити цих транспортних засобів зменшення швидкості призводить до потреби у збільшенні тривалостей елементів циклу для їх пропуску. Найбільш суттєво це позначається на перехідних інтервалах циклу. Виявлення таких транспортних засобів на під'їздах до перехрестя, визначення їх подальшого руху та забезпечення пріоритетного пропуску є важливим завданням.

Пішохідні напрямки світлофорного регулювання впливають на параметри світлофорного циклу, оскільки розрахунок часу на перетин проїзної частини пішоходами відрізняється від значення тривалостей дозволяючих сигналів для руху транспортних засобів.

Задля усунення невідповідностей тривалостей включених в одній фазі дозволяючих сигналів для транспортних засобів та для пішоходів необхідно провести корекцію тривалостей елементів циклу світлофорного регулювання [14, 4, 10]. Корекція здійснюється у три способи[4]: шляхом збільшення тривалості певного елементу циклу регулювання; шляхом збільшення тривалості групи елементів циклу регулювання та шляхом визначення нових співвідношень між елементами циклу.

За першим способом необхідно збільшувати тривалість основного такту регулювання до величини, що дозволить пішоходам перейти проїзну частину протягом фази регулювання, оскільки це є вимогою державного стандарту [14]. Недолік даного способу полягає в тому, що при широкій проїзній частині

з одностороннім рухом тривалість мінімального часового проміжку для пішохідного напрямку може перевищувати нормативне значення, а також ставати визначальною при розрахунку тривалості перехідного інтервалу. В даному способі не береться до уваги час на сходження на проїзну частину декількох рядів пішоходів, не пов'язані основний такт та перехідний інтервал для забезпечення безпеки пішоходів та не відокремлено мінімальний час в залежності від тривалості червоного сигналу в кінці перехідного інтервалу.

При використанні іншого способу корекції необхідно пропорційно збільшувати тривалості основних тактів регулювання так, щоб їх скоригована тривалість гарантувала потрібний мінімум часу для пішоходів. Недоліки полягають у тому, що при великій відмінності визначених для пропуску транспортних засобів тривалостей основних тактів регулювання і при включенні пішохідного напрямку зі значною шириною проїзної частини до фази, для якої розраховану невелику тривалість основного такту відповідно до транспортного завантаження, значення основного такту іншої фази після проведення корекції. Так як при корекції тривалостей основних тактів регулювання їх потрібно пропорційно збільшувати, в результаті їх сумарна тривалість може бути більшою 120с.

При проведенні корекції шляхом пошуку нових співвідношень, розв'язується система рівнянь:

$$\begin{cases} T_{\text{ц}}^* = (1,5T_n + 5) / [1 - (y + y^*)] \\ T_o^* = [(T_{\text{ц}} - T_n)y^*] / (y + y^*) \end{cases} \quad (1.7)$$

де $T_{\text{ц}}$ та $T_{\text{ц}}^*$ – тривалість циклу регулювання до та після корекції відповідно, с;

y та y^* – суми максимальних фазових коефіцієнтів фаз, в яких тривалості основних тактів не коригуються та коригуються відповідно;

T_o^* – сума скоригованих тривалостей основних тактів, с;

T_n – втрачений час у циклі регулювання, с.

Розв'язавши її, визначають нову, кориговану тривалість циклу

світлофорного регулювання за такою формулою:

$$T_y^* = B / 2A + \sqrt{B^2 / (4A^2) - C / A}. \quad (1.8)$$

Принцип полягає у розрахунку нового фазового коефіцієнту для фази, до якої включено пішохідний напрям регулювання, таким чином, щоб його значення відповідало збільшеній за рахунок дозволяючого сигналу для пішоходів тривалості основного такту світлофорного регулювання.

1.1 Висновки до розділу 1

У даному розділі проаналізовано методи управління світлофорами на перехрестях. Виявлено, що управління світлофорною сигналізацією за допомогою пофазного методу не задовільняє вимогам до системи автоматизованого управління дорожнім рухом міста, оскільки основні принципи не забезпечують можливість змінювати структури циклу в залежності від дорожньо-транспортних обставин, а також призводять до утворення ненасичених проміжків у циклі регулювання.

Ефективному впровадженню принципів управління світлофорною сигналізацією за окремими напрямками заважає ряд недоліків. Серед них:

- за конфліктними напрямками регулювання не враховується потреба у оптимальному співвідношенні затримок транспортних засобів та пішоходів при корекції з пошуком нових фазових коефіцієнтів;
- при пропорційному збільшенні основних тактів виникають ненасичені фази регулювання через значні тривалості основних тактів.

РОЗДІЛ 2

ФОРМУВАННЯ РЕЖИМІВ ТА СТРУКТУРИ ЦИКЛУ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

2.1 Формалізація схеми руху на перехресті

Для введення світлофорного регулювання на перехресті необхідно визначити кількість регульованих напрямів руху. В роботах [2, 4, 7, 16] кількість напрямів регулювання відповідає кількості під'їздів до перехрестя та регульованих пішохідних переходів. Для інтенсивних поворотних транспортних потоків виділяють смуги руху, вводять додаткові напрями регулювання за допомогою додаткових секцій світлофорів або світлофорів типу 2 [17]. Наявність розділових смуг або острівців безпеки є передумовою для введення додаткових напрямів регулювання при організації пішохідних переходів по частинах [18].

На даному етапі важко визначити найбільш оптимальний варіант без проведення розрахунків параметрів циклу регулювання.

Схему руху на перехресті відобразимо за допомогою матриці можливих траєкторій (ММТ), в основі якої схема можливих траєкторій (СМТ) – рис. 2.1.

При кресленні СМТ враховуються правила дорожнього руху та розділені на смуги руху під'їзди до перехрестя. ММТ має чотиримірний вигляд. Сума кількості смуг на всіх під'їздах до перехрестя та виїздах з нього визначає порядок матриці можливих траєкторій. Елементи ММТ – це відстані від стоп-ліній на проїзних частинах під'їздів до перехрестя до конфліктних точок перетину або злиття траєкторій руху. На рис. 2.1 зображено схему можливих траєкторій за якою визначають наявність або відсутність конфліктних точок перетину або злиття. При відсутності у траєкторії конфліктних точок, елемент матриці можливих траєкторій рівний нулю.

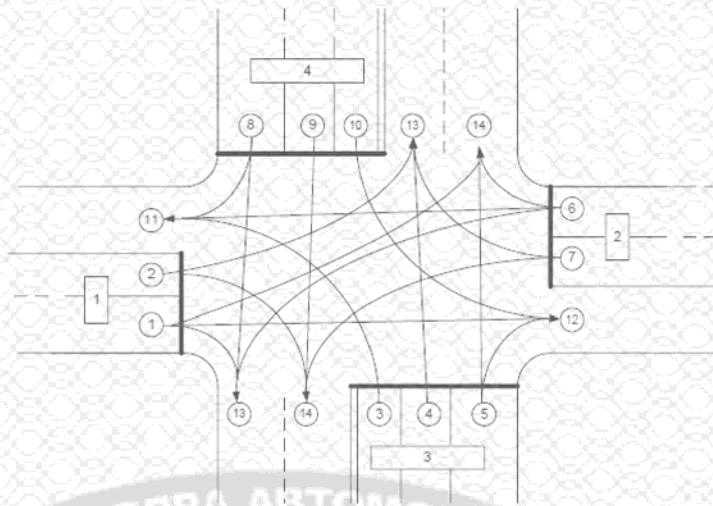


Рисунок 2.1 – Схема можливих траєкторій

Для більш точного визначення тривалостей мінімальних часових проміжків між дозволяючими світлофорними сигналами конфліктних траєкторій необхідно знати відстань від стоп-лінії до конфліктної точки злиття або перетину траєкторій по кожній з двох траєкторій, що перетинаються або зливаються. Таким чином, елемент $ММТ [i, j, m, n]$ дорівнює відстані від стоп-лінії траєкторії $i - j$ до її конфліктної точки перетину або злиття з траєкторією $m - n$.

Для зменшення кількості даних виникає пропозиція за наявності елемента $ММТ [i, j, m, n]$ виключати елемент $ММТ [j, i, m, n]$, що відповідає за зворотний напрямок руху цією ж траєкторією. Проте, задля можливості формалізації схем руху на перехрестях з реверсивними траєкторіями, ця пропозиція відхиляється, і частина даних ММТ, що відповідає зворотним напрямкам руху траєкторіями не визнається надмірністю.

Дані про інтенсивність дорожнього руху за напрямками руху (відрізнати від напрямків регулювання) формалізуються у вигляді квадратної матриці, порядок якої визначається кількістю проїзних частин на під'їздах до перехрестя та на виїздах з нього. Елемент матриці $N [i, j]$ дорівнює зведеній інтенсивності руху з під'їзду i до виїзду j . У випадку, якщо $N [i, j] > 0$, то $N [j, i] = 0$, окрім ситуацій, якщо на під'їздах наявні реверсивні смуги.

У двовимірній матриці PS міститься інформація про розташування смуг на під'їздах і виїздах. Рядки матриці містять номери смуг на під'їздах чи

виїздах, які записуються з крайньої правої смуги під'їзду чи виїзду. Для СМТ, з рис. 2.1, матриця PS виглядає таблиця 2.1

Таблиця 2.1 – Матриця PS

	1	2	3
1	1	2	
2	6	7	
3	5	4	3
4	8	9	10

Квадратна матриця V містить розрахункові швидкості руху по траєкторіях. Організації дорожнього руху на перехресті на основі даної схеми дає змогу автоматизовано обрати напрями світлофорного регулювання та визначати найменші часові проміжки, що необхідні між дозволяючими сигналами конфліктних напрямів регулювання.

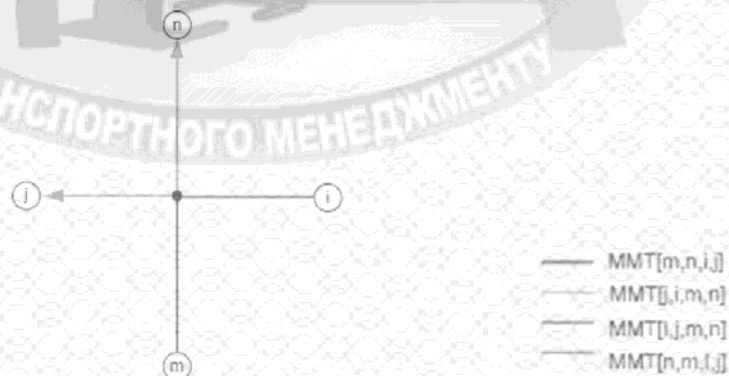


Рисунок 2.2 – Фізичний зміст елементів матриці відстаней до конфліктних точок (ММТ)

При визначенні мінімальних часових проміжків між дозволяючими сигналами конфліктних напрямів регулювання враховуються фактори, що впливають на їх тривалість: швидкість руху, тип транспортного засобу, наявність реверсивного та трамвайного руху, а не лише відстаней від стоп-ліній напрямів регулювання до дальніх конфліктних точок, як це робиться в методиці [14].

2.2 Розрахунок перехідних інтервалів

Визначаючи тривалість перехідних інтервалів з урахуванням найменших часових проміжків на доїзд до дальніх конфліктних точок при виборі цих точок припускають, що найвіддаленіша від стоп-лінії конфліктна точка дає найбільшу тривалість мінімального часового проміжку до проїзду її автомобілем.

Досліджуючи формулу (1.5) [14], з'ясувалось, що залежність між відстанню до найдальшої точки та тривалістю часового проміжку не є прямою. На рис. 2.3, тривалість часових проміжків змінюється у залежності від швидкості руху.

Згідно з [4], при криволінійності траєкторії руху транспортного засобу до дальньої конфліктної точки, значення швидкості руху зменшують на 30% і не нижче 30 км/год.

При визначенні достовірного значення тривалості мінімального часового проміжку виникає неточність, що збільшується при врахуванні часу потрібного для прибуття до вказаної точки транспортного засобу, який рухається на дозволяючий світлофорний сигнал за структурою циклу.

Задля уникнення неточності пропонується визначати конфліктні точки не за напрямками регулювання, а за траєкторіями руху на перехресті.

Використання методики дасть змогу: формалізувати об'єднання траєкторії у напрямки; точно визначати тривалості перехідних інтервалів і оптимізувати структуру світлофорного циклу за параметром мінімізації втраченого часу, напряму впливаючи на значення мінімальних часових проміжків із застосуванням більшого числа регульованих параметрів; обґрунтовано робити висновки про розподіл смуг між напрямками регулювання, каналізування руху.

Швидкість, км/год	Відстань, м													
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
20	4,7	5,6	6,5	7,4	8,3	9,2	10,1	11,0	11,9	12,8	13,7	14,6	15,5	16,4
30	4,3	4,9	5,5	6,1	6,7	7,3	7,9	8,5	9,1	9,7	10,3	10,9	11,5	12,1
40	4,4	4,8	5,3	5,7	6,2	6,6	7,1	7,5	8,0	8,4	8,9	9,3	9,8	10,2
50	4,6	5,0	5,3	5,7	6,0	6,4	6,8	7,1	7,5	7,8	8,2	8,6	8,9	9,3
60	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8
70	5,3	5,6	5,8	6,1	6,3	6,6	6,8	7,1	7,4	7,6	7,9	8,1	8,4	8,6
80	5,7	5,9	6,2	6,4	6,6	6,8	7,1	7,3	7,5	7,7	8,0	8,2	8,4	8,6

Швидкість, км/год	Відстань, м													
	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
20	17,3	18,2	19,1	20,0	20,9	21,8	22,7	23,6	24,5	25,4	26,3	27,2	28,1	29,0
30	12,7	13,3	13,9	14,5	15,1	15,7	16,3	16,9	17,5	18,1	18,7	19,3	19,9	20,5
40	10,7	11,1	11,6	12,0	12,5	12,9	13,4	13,8	14,3	14,7	15,2	15,6	16,1	16,5
50	9,6	10,0	10,4	10,7	11,1	11,4	11,8	12,2	12,5	12,9	13,2	13,6	14,0	14,3
60	9,1	9,4	9,7	10,0	10,3	10,6	10,9	11,2	11,5	11,8	12,1	12,4	12,7	13,0
70	8,9	9,2	9,4	9,7	9,9	10,2	10,4	10,7	11,0	11,2	11,5	11,7	12,0	12,2
80	8,9	9,1	9,3	9,5	9,8	10,0	10,2	10,4	10,7	10,9	11,1	11,3	11,6	11,8

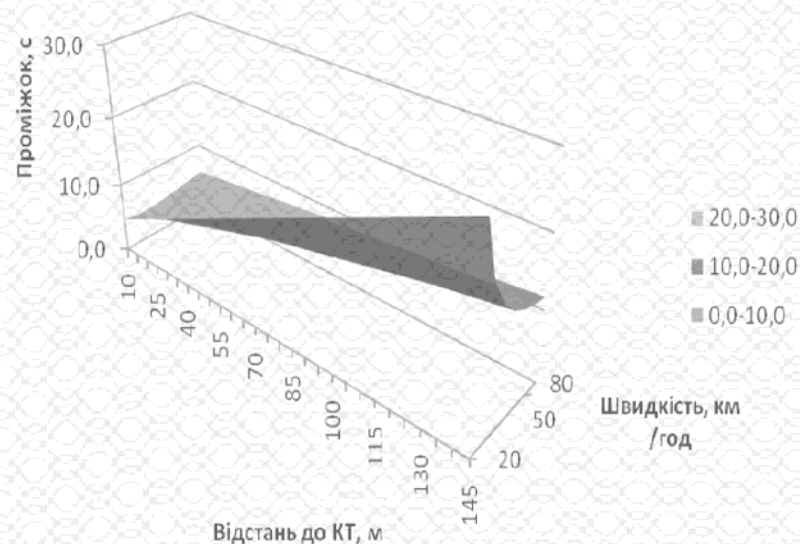


Рисунок 2.3 – Залежність тривалості мінімального часового проміжку від відстані до конфліктної точки та швидкості руху

Послідовність визначення мінімальних часових проміжків між дозволяючими сигналами на основі методу дальніх конфліктних точок виглядає наступним чином:

1. Визначення необхідного часу для проїзду автомобіля, що завершує рух від критичної точки до конфліктної точки [19]:

$$t_s = t_p + \frac{V_s}{2a^k} + \frac{B_s + l_a}{V_s}, \quad (2.1)$$

де

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

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

a^k – прискорення уповільнення, $a^k = 2,5 \dots 3,0$ м/с²;

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

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

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

$$t_{pn} = \frac{B_{pn}}{V_{pn}}, \quad (2.2)$$

де

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

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

За останньою формулою час визначається при умовах підїзду транспортного засобу до стоп-лінії з розрахованою швидкістю при ввімкненні дозволяючого сигналу. (за відсутності черги у смузі):

$$t = t_p + \frac{V_s}{2a^k} + \frac{B_s + l_a}{V_s} - \frac{B_{pn}}{V_{pn}}. \quad (2.3)$$

Перевівши матрицю можливих траєкторій ММТ у матрицю мінімальних

часових проміжків ММП маємо:

$$ММП[i, j, m, n] = t_p + \frac{V[i, j]}{2a^k} + \frac{ММТ[i, j, m, n] + l_a}{V[i, j]} - \frac{ММТ[m, n, i, j]}{V[m, n]}. \quad (2.4)$$

Розраховане за формулою мінімальне значення часового проміжку приймає до уваги всі характеристики руху транспортних засобів.

2.3 Зв'язок між основними тактами та перехідними інтервалами

Тривалість світлофорного циклу визначається тривалістю головної послідовності.

Тривалість головної послідовності складається з відносного часу дозволяючих сигналів та абсолютного часу мінімальних проміжків.

Тривалість абсолютного часу дозволяючих сигналів прямо пропорційна значенням коефіцієнтів завантаження рухом смуг напрямів регулювання [20], що утворюють головну послідовність.

Для того щоб перевести відносний час дозволяючих сигналів у абсолютний час необхідно домножити його значення на часовий коефіцієнт.

$$T_u = \sum (y_i K + t[i, j]). \quad (2.5)$$

Оптимальні тривалості дозволяючих сигналів встановлюються так, щоб черга, що накопичилася протягом циклу регулювання роз'їхалася повністю.

Час для роз'їзду при N_i - інтенсивність руху в од/год, а M_i - потік насичення в од/год визначається:

$$T = \frac{N_i}{M_i}, \text{ год}. \quad (2.6)$$

Перевівши значення N_i та M_i в од/с отримаємо

$$t = \frac{n_i}{m_i}, \text{ с.} \quad (2.7)$$

Визначимо тривалість дозволяючого сигналу:

$$t_i = y_i K = \frac{n_i \cdot T_u}{m_i}. \quad (2.8)$$

Або

$$t_i = y_i K = \frac{n_i \cdot \sum (y_i K + t[i, i+1])}{m_i}, \quad (2.9)$$

$$\frac{n_i}{m_i} K = \frac{n_i \cdot \sum \left(\frac{n_i}{m_i} K + t[i, i+1] \right)}{m_i}. \quad (2.10)$$

При роз'їзді черги часові інтервали між автомобілями зростають, оскільки кожен наступний автомобіль затримується перед початком руху на певний інтервал [6]. Для зменшення таких інтервалів потрібно мінімізувати значення тривалості дозволяючих сигналів із забезпеченням роз'їзду черги, яка накопичилася.

Мінімальним значенням тривалості зеленого світлофорного сигналу є 7с [21]. Отже:

$$t_{i_min} = y_{i_min} K = 7, \quad (2.11)$$

$$t_{i_min} = y_{i_min} K = \frac{n_{i_min} \cdot \sum (y_i K + t[i, i+1])}{m_{i_min}}, \quad (2.12)$$

$$y_{i_min} K = \frac{n_{i_min} \cdot (YK + \sum t[i, i+1])}{m_{i_min}}, \quad (2.13)$$

$$y_{i_min} K = \frac{n_{i_min} \cdot YK + n_{i_min} \sum t[i, i+1]}{m_{i_min}}, \quad (2.14)$$

$$K = \frac{n_{i_min} \cdot YK + n_{i_min} \sum t[i, i+1]}{m_{i_min} y_{i_min}}, \quad (2.15)$$

$$K = \frac{n_{i_min} \times YK + n_{i_min} \sum t[i, i+1]}{m_{i_min} y_{i_min}}, \quad (2.16)$$

$$n_{i_min} \times YK + n_{i_min} \sum t[i, i+1] = K m_{i_min} y_{i_min}, \quad (2.17)$$

$$K = \frac{n_{i_min} \times YK + n_{i_min} \sum t[i, i+1]}{m_{i_min} y_{i_min} - n_{i_min} \times Y}, \quad (2.18)$$

$$K = \frac{\sum t[i, i+1]}{\frac{m_{i_min}}{n_{i_min}} y_{i_min} - Y}, \quad (2.19)$$

$$K = \frac{\sum t[i, i+1]}{1 - Y}. \quad (2.20)$$

Коефіцієнт дає можливість співставляти тривалості мінімальних часових проміжків і дозволяючих сигналів для визначення головної послідовності світлофорного циклу.

В методиці пофазного управління світлофорного сигналізацією [4, 2, 22], використовуються значення основних тактів і перехідних інтервалів, а тривалості дозволяючих сигналів в межах перехідних інтервалів не беруться до уваги.

Ефективний розподіл часу в світлофорному циклі вимагає співставлення значень тривалостей дозволяючих сигналів світлофорного регулювання з максимальними значеннями.

2.4 Формування структури світлофорного циклу та режиму регулювання

2.4.1 Розподіл базисних напрямів

Під структурою світлофорного циклу розуміють групування напрямів світлофорного регулювання при якому забезпечується одночасний рух транспорту і пішоходів за неконфліктними напрямками, а за конфліктними – лише після того, як пройдуть мінімальні часові проміжки, що визначаються матричним способом.

Вихідними даними є матриця тривалостей зелених сигналів за напрямками M та матриця мінімальних проміжків t .

Так як матриця мінімальних проміжків може бути несиметричною, а тривалості мінімальних проміжків між різними напрямками можуть не співпадати при урахуванні тривалостей перехідних інтервалів варто зазначити, що тривалість проміжків між ними збільшується при цьому збільшуючи тривалість циклу залежно від порядку чергування напрямів у циклі регулювання.

Структура циклу визначається за такими кроками:

1. Зміна матриці M полягає у чергуванні елементів другого рядка від максимального до мінімального. Завдяки такій перестановці напрямки з максимальною тривалістю дозволяючого сигналу стають на початок групи неконфліктних напрямів. Потім визначається загальна тривалість

дозволяючих сигналів всіх напрямів регулювання. А в результаті маємо матрицю $M1$.

2. Утворюється двовимірна матриця структури світлофорного циклу S . У рядки записуються послідовності конфліктних напрямів регулювання, для яких дозволяючі сигнали не можуть вмикатися одночасно, натомість вмикаються один за одним, збільшуючи тривалість циклу регулювання.

Формування структури відбувається шляхом запису до матриці S номерів напрямів регулювання у тому порядку, в якому вони знаходяться у матриці $M1$. Заповнення матриці S починається з того, що до комірки $[1,1]$ записується номер напрямку, що першим вказаний у матриці $M1$ (цей напрям має найбільшу тривалість дозволяючого сигналу).

3. У циклі доти, поки до матриці S не будуть внесені всі номери напрямів регулювання, вписуємо на матриці S номери напрямів починаючи з комірки $[1,1]$. У випадку, якщо ця комірка зайнята та напрям регулювання конфліктний з тим, номер якого вже записаний до комірки, зсуваємося праворуч по матриці на 1 стовпчик (рис. 2.4 червона стрілка); якщо напрям регулювання неконфліктний з тим, номер якого вже записаний до комірки, зсуваємося вниз по матриці на 1 рядок (рис. 2.4 синя стрілка).

Таким чином, коли запис номерів напрямів до матриці S буде завершено, у кожному з рядочків буде записана послідовність конфліктних напрямів, сумарна тривалість якої буде не менше, ніж сума тривалостей дозволяючих сигналів напрямів, що складаються послідовність. Оскільки всі напрями одного рядка є конфліктними між собою, то тривалість циклу регулювання буде не менше, ніж тривалість послідовності, оскільки «стиснути» її у часі неможливо.

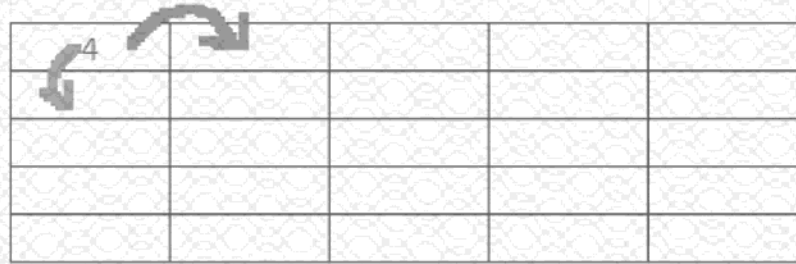


Рисунок 2.4 – Утворення матриці структури циклу

Оскільки напрями регулювання, що входять до одного стовпчику матриці S є попарно неконфліктними, то задачу формування груп неконфліктних напрямів можна вважати задачею на розбиття множини напрямів регулювання на підмножини. При цьому матрицю мінімальних проміжків можна представити у вигляді графу, вершинами якого є напрями регулювання, а дугами – мінімальні часові проміжки. З метою застосування в процесі розв'язку елементів теорії графів, слід провести трансформацію матриці мінімальних проміжків. З матриці t отримаємо матрицю t' . Для цього всі додатні елементи у матриці t замінюємо нулями, а всі нульові – одиницями. Таким чином, матриця t' є протилежністю матрицю інцидентій графу, створеного на основі матриці t . Якщо представити матрицю t' у вигляді графу, то у ній неконфліктні напрями регулювання будуть поєднані ребрами.

Підмножини, що складаються з попарно неконфліктних напрямів можна представити у вигляді повних підграфів графу на основі матриці t' . Таким чином, формування матриці S зводиться до розбиття графу t' на мінімальну кількість повних підграфів.

Розбиття відбувається за допомогою алгоритму, що складається з трьох блоків [9].

Блок 1.

На кожному кроці алгоритму знаходиться вершина з найменшим числом $V(i)$ суміжних ребер (з меншою валентністю), i , якщо виконується наступна умова, ця вершина видаляється.

$$V(i) < G - 1,$$

де G – потужність графу на поточному кроці алгоритму.

Повний підграф початкового графа утворюється лише у випадку наявності у всіх вершин такої самої кількості суміжних ребер.

Існують такі ситуації в яких 100% можна знайти розв'язок. При існуванні 1 повного підграфу, алгоритм його знайде, при існуванні декількох підграфів – алгоритм знайде серед них тільки один.

Більш універсальним є алгоритм ітерації з видаленням. На кожному кроці цей алгоритм здійснює пошук повного підграфу за алгоритмом простої ітерації. При переході до наступного кроку з графа видаляються всі вершини, що належать вже знайденому повному підграфу. Таким чином, кожного разу пошук проводиться у тій частині графу, що не належить жодному з вже знайдених підграфів.

Алгоритм зупиняється, коли потужність графу, що залишився після видалення є менше максимальної з потужностей вже знайдених повних підграфів. Цей підграф вважається останнім. Зходимість алгоритму обумовлюється обмеженою кількістю вершин початкового графу, що видаляються.

Третій крок полягає у пошуку підграфів з використанням алгоритму розширеної ітерації з видаленням. Для усіх знайдених підграфів g на початковому графі проводиться перебір вершин, які алгоритм розширеної ітерації до графу g не включив. Для кожної такої вершини проводиться перевірка на можливість включення її до графу g як початковий граф (існування ребер, які зв'язують вершину з усіма вершинами графу g за умови, що вершини не видалялися).

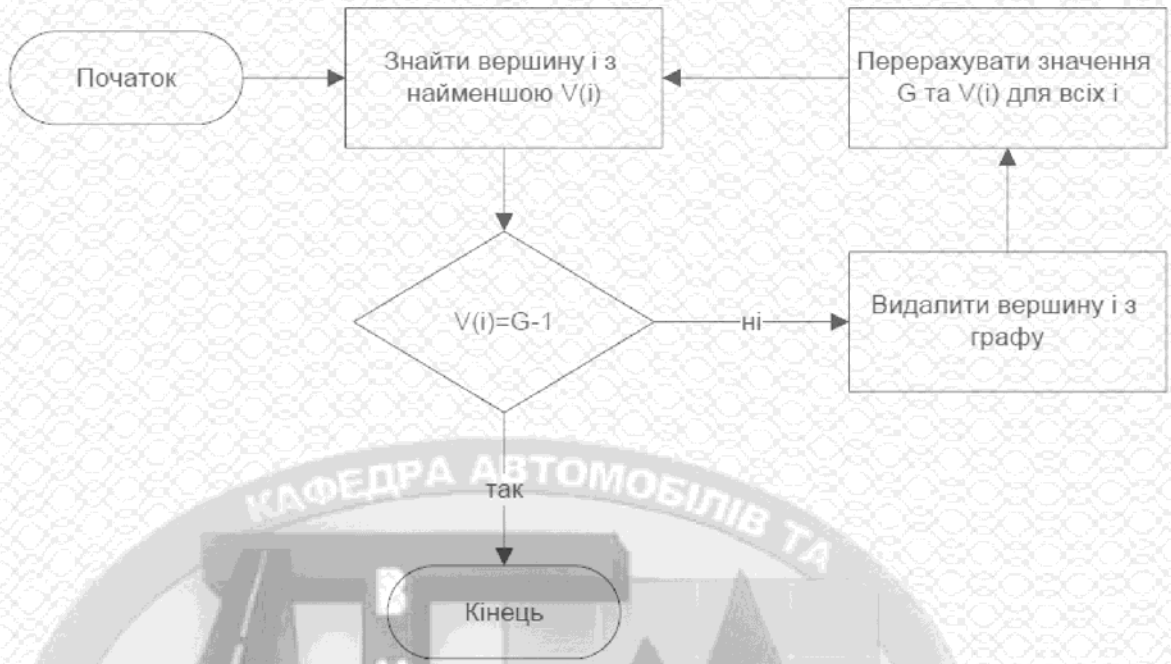


Рисунок 2.5 - Алгоритм простої ітерації (1)



Рисунок 2.6 – Алгоритм розширеної ітерації з видаленням

Якщо включити вершину можна, то вона включається до g.

Зходимість алгоритму доводиться на основі раніше викладених міркувань: обмеження кількості вершин та знайдених початковими алгоритмами підграфів в будь-якому випадку робить кінечним число видалень та перевірок на включення.

Далі необхідно елементи у стовпчиках матриці S сортувати за

зменшенням значень (елемент у першому рядку повинен мати максимальне значення).

Запропонований алгоритм заповнення матриці S дозволяє одразу включити до груп неконфліктних напрямів також і ті напрями, що включалися до попередніх груп, тобто повністю визначити склад груп неконфліктних напрямів.

4. Для кожної послідовності визначаємо сумарну тривалість дозволяючи сигналів усіх включених до неї напрямів, тобто тривалість послідовності. Послідовність з максимальним значенням суми тривалостей сигналів називаємо головною.

5. Окрім дозволяючи сигналів, до послідовності також будуть входити проміжки між конфліктними напрямками. Тривалість циклу регулювання буде визначатися тривалістю головної послідовності, тому для неї слід вирішити оптимізаційну задачу для перехідних інтервалів – «задачу комівояжера» на основі матриці t_1 , до якої включаються лише ті напрями, що їх містить головна послідовність [12].

Аналогічно між задачею чергування елементів головної послідовності циклу світлофорного регулювання та задачею об'їзду кількох пунктів за найкоротшим шляхом пояснюється тим, що в обох задачах розглядається циклічний процес, який складається з кількох підпроцесів, що їх можна довільно чергувати. Тривалості переходів між процесами подібні відстаням між вершинами мережі, якої рухається комівояжер.

Проте слід зазначити, що у випадку врахування тривалостей перехідних інтервалів послідовність, для якої сумарна тривалість всіх дозволяючи сигналів є максимальною, буде головною. Випадки, коли тривалості перехідних інтервалів не дуже відрізняються від тривалостей основних тактів (наприклад, на незавантажених напрямках перехресть, що мають широкі проїзні частини або бульвари), можуть становити виняток з поданого вище алгоритму і на поточному кроці призвести до неповної оптимізації структури.

Для того, щоб не виникала така помилка необхідно переглянути усі

можливі послідовності, серед яких ймовірно є головна. Для цього пропонується використати граф структури циклу регулювання. Кожній вершині цього графу присвоюється вага, значення якої дорівнює тривалості сигналу, що дозволяє руху за напрямом регулювання, що його позначає вершина. Дуги графу позначають мінімальні часові проміжки між напрямом регулювання. Граф на рисунку 2.7 розділений на повні підграфи за допомогою алгоритму «перекриття». Вершини, що становлять повні підграфи знаходяться одна під одною.

Зважаючи на те, що в стовпчиках знаходяться повні підграфи, кожна вершина з будь якого стовпчика інцидентна хоча б одній вершині з іншого стовпчика, інакше ця вершина могла б належати до даного стовпчика.

Для визначення головної послідовності у цьому графі необхідно знайти найбільший замкнений контур, що починається та завершується з будь-якого напрямку та містить у собі по одному напрямку з усіх фаз регулювання.

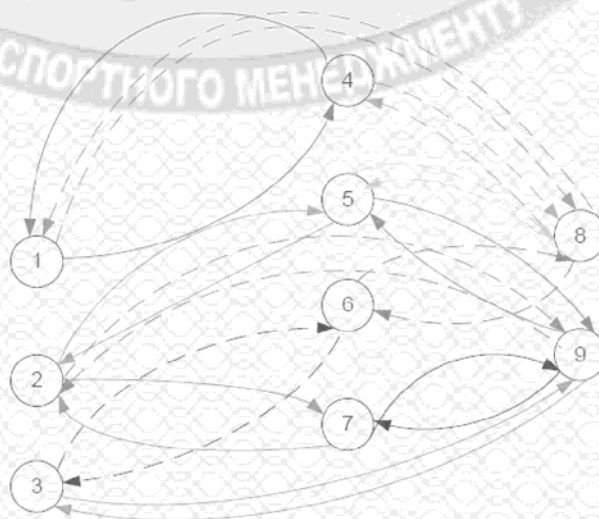


Рисунок 2.7 - Граф структури циклу регулювання

Визначення порядку виклику напрямів головної послідовності зводиться до задачі комівояжера. Класична постановка задачі комівояжера полягає у наступному[12, 23]. Задана транспортна мережа, що з'єднує n пунктів. Комівояжер має віднайти найкоротший маршрут при цьому, відвідавши усі

пункти лише один раз та повернутися до вихідного. Найкращий маршрут визначається за матрицею відстаней між пунктами.

Під час формування структури циклу регулювання необхідно включити усі напрямки регулювання до циклу та повернутись до його початку.

Позначимо:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо комівояжер переїжджає з пункту } i \text{ до пункту } j; \\ 0, & \text{у протилежному разі.} \end{cases} \quad (2.22)$$

Тоді математична постановка задачі має вигляд:
мінімізувати довжину маршруту комівояжера

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min, \quad (2.23)$$

де c_{ij} – відстань між пунктами i та j ;

за обмеженнях:

- одноразового в'їзду до кожного пункту

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j = \overline{1, n}; i \neq j); \quad (2.24)$$

- одноразового виїзду з кожного пункту

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (i = \overline{1, n}; i \neq j); \quad (2.25)$$

- заборони розриву маршрутів на декілька замкнених підмаршрутів

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}; i \neq j; u_i \geq 0; u_j \geq 0). \quad (2.26)$$

- заборони розриву маршрутів на декілька замкнених підмаршрутів

Дана задача відноситься до задач цілочисельного програмування. Для її вирішення найбільш оптимальним є метод «гілок і меж».

Нижня границя довжини усіх маршрутів визначається для усієї області допустимих розв'язків. Довжина маршруту не може бути менша значення цієї границі. Уся множина допустимих розв'язків ділиться на непусті множини для яких визначають нижню границю довжини маршрутів. Потім обирається одна підмножина у якої найменше значення нижньої границі, потім ця підмножина ділиться на 2 непусті підмножини і знову визначають нижню границю і т.д.

Так як множина допустимих розв'язків задачі скінченна, результатом послідовного поділу буде знаходження єдиного розв'язку, а нижня границя співпадатиме із значенням цільової функції. При значенні не більшому за нижні границі усіх нерозбитих підмножин буде один з кращих розв'язків, а при строго меншому за нижню границю значенні буде єдиний оптимальний розв'язок.

Розв'язання задачі включає ряд послідовних операцій [12].

1. Зведення матриці найкоротших відстаней. У кожному рядку матриці знаходять найменший елемент. Такий елемент є константою зведення. Далі від кожного елемента рядка необхідно відняти константу зведення. Потім в матриці знаходять константу зведення, переглядаючи стовпці, які потім віднімаються від елементів відповідних стовпців. В результаті отримуємо зведену матрицю, яка має такі властивості: у будь-якому рядку і стовпці матриці є не менше 1 нульового елемента.

2. Визначення кореня «дерева», тобто нижньої границі довжини або часу для усіх маршрутів. Всі пункти відвідують один раз, тобто в кожен пункт заходять і виходять по 1 разу, а у матриці буде обрано 1 елемент з кожного рядка і стовпця.

Отже, маршрут не може бути меншим за суму найменших елементів у рядках і стовпцях матриці найкоротших відстаней, а значення нижньої границі рівне константам зведення.

$$W(u) = \sum_{i=1}^n h_i + \sum_{j=1}^n h_j, \text{ де } h_i \text{ і } h_j$$

3. Визначення оцінок для всіх нульових елементів. У рядку з оцінюваним нульовим елементом знаходять елемент з найменшим значенням $a_{\min i}$. Далі переглядають стовпець з оцінюваним елементом, знаходять найменший $b_{\min j}$. Оцінка елементу, що розглядається, $\alpha_{ij} = a_{\min i} + b_{\min j}$ дорівнює.

4. Вибір пари пунктів для включення до маршруту. До маршруту включається пара пунктів (k, l) з максимальною оцінкою нульового елемента.

5. Блокування елементів матриці. Задля уникнення зациклювання маршруту недопускається вибір елемента (пари), який називається блокуванням. Блокування здійснюють на всіх кроках розв'язування задачі. Випадки при яких здійснюють блокування пари наведені на рис. 2.8.

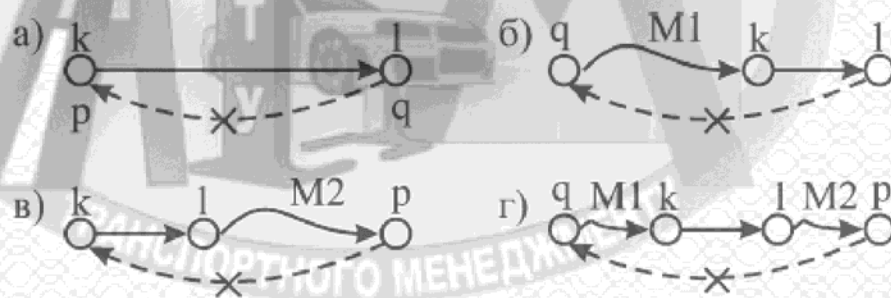


Рисунок 2.8 – Варіанти блокування пар пунктів

На рис. 2.8 заблоковані пари пунктів, які не включаються до маршруту на наступному етапі розрахунків, позначені пунктиром і перекреслені.

У випадку рис. 2.8, а пара (q, p) має зворотну схему нумерації по відношенню до пари (k, l) . Наприклад, пари $(1, 2)$ і $(2, 1)$ утворюють циклічний маршрут $(1-2-1)$. Пара (q, p) блокується.

У випадку рис. 2.8, б обрана на даному кроці розв'язування пара (k, l) є продовженням фрагменту маршруту $M1$ з початковим пунктом l і кінцевим k . Тут пара (k, l) продовжує цей фрагмент маршруту до пункту. Для виключення передчасного зациклювання маршруту у подальшому необхідно заблокувати пару (l, q) . Наприклад, до поточного кроку у розв'язок вже була введена пара $(2, 3)$ і на даному кроці в розв'язок вводиться пара $(3, 5)$. Тоді в проміжній

зведеної матриці при переході до наступного кроку необхідно заблокувати пару (5, 2), так як у подальшому це призведе до замкненого маршруту (2–3–5–2), що є неприпустимим.

У випадку рис. 2.8, *в* пара (k, l) додається до початку деякого вже вибраного раніше фрагмента маршруту M_2 , що починається в пункті l і закінчується в пункті p . На цьому кроці блокується пара (k, l), а номер пункту k буде відповідати номеру q блокованої пари. Наприклад, нехай до даного кроку в розв'язок вже введено пару (2, 4). На цьому етапі до розв'язку вводиться пара (1, 2). Для попередження передчасного зациклювання маршруту у подальшому слід заблокувати пару (4, 1), введення якої призводить до утворення замкненого маршруту (1–2–4–1).

У випадку рис. 2.8, *г* пара (k, l) з'єднує два фрагменти M_1 і M_2 деякого маршруту. Наприклад, нехай до даного кроку до розв'язку вже включені пари (3, 4) і (5, 6). До розв'язку на даному кроці вводиться пара (4, 5). Для виключення утворення замкненого маршруту за схемою (3–4–5–6–3) слід заблокувати пару (6, 3).

Особливість методу комівояжера полягає у допустимості нульових значень у матриці $|T|$ лише на головній діагоналі. Оскільки, в протилежному випадку виникнуть непорозуміння. Нульові значення у матриці замінюють мінімальними, а саме 0,001.

Беручи до уваги особливості програмування циклів, ця заміна забезпечує переходи між напрямками, тобто перш за все розглядаються напрями без конфліктних точок ($T[i,j] = 0,01$), далі переходи без небезпечних конфліктів ($T[i,j] \leq 2,25$), а останніми враховують розраховані до дальніх конфліктних точок напрями ($T[i,j] \geq 6$).

Отже, визначений за допомогою задачі комівояжера «маршрут» визначає оптимальний порядок регулювання світлофорним циклом, який забезпечує мінімізацію перехідних інтервалів.

6. Для того, щоб забезпечити чергування напрямів у оптимальному порядку необхідно змінити рядок матриці S після отримання оптимального

порядку чергування сигналів головної послідовності. Рядок, у якому записана головна послідовність ставимо першим у матриці S .

7. Номери напрямків записуємо до матриці $M1$ з S по рядках зліва на право. Тривалості дозволяючих сигналів знаходимо у матриці M відповідно до номерів напрямів регулювання.

8. У циклограмі номерам рядків відповідають номери напрямів регулювання, а номерам стовпців – секунди циклу регулювання.

Цикл триває допоки не буде відкладено сумарну тривалість всіх напрямів регулювання посекундно заповнені комірки матриці стовпчика. А номери рядків змінюються залежно від зміни номерів напрямів у матриці $M1$ зліва направо.

Перевірка на конфліктність напрямів регулювання з раніше відкладеними відбувається при переході на наступний рядок. Якщо даний напрям є конфліктним, то він не відкладається на поточній секунді.

2.4.2 Доповнення груп неконфліктних напрямів

Алгоритм для розподілу на неконфліктні групи масиву напрямів регулювання полягає у видаленні неконфліктних напрямів підграфів з графу при цьому у структурі циклу кожен напрям враховується один раз.

Це не вирішує завдання зменшення затримок, які виникають в учасників руху, так як щосекундно необхідно забезпечувати рух за усіма неконфліктними напрямками, а це в свою чергу може призвести до багаторазового введення напрямку до структури циклу, тобто повні підграфи цих груп досягнуть максимальної потужності.

Алгоритм працює таким чином, що включає до групи ті напрями регулювання, що не є попарно конфліктними з уже включеними під час ітерації з видаленням.

Опрацювавши, всі початкові підграфи груп неконфліктних напрямів отримують кінцевий склад цих груп.



Рисунок 2.9 – Алгоритм доповнення групи неконфліктних напрямів

П.2.4.1 пояснює, що утворені графи матимуть максимально можливу потужність, а задача складання мінімальної кількості груп неконфліктних напрямів з найбільшим числом елементів у групі виконується програмно.

2.5 Визначення впливу на структуру світлофорного циклу пішоходних напрямків руху

При неврахуванні перехідних інтервалів структура циклу визначається таким чином:

1. Забезпечують чергування елементів другого рядка матриці M від найменшого до найбільшого. Таким чином напрями найменшої тривалості менше будуть розриватися та знаходитимуться на початку утворення структури. Далі визначається сумарна тривалість дозволяючих сигналів усіх напрямів регулювання і отримуємо матрицю $M1$.

2. Структура циклу має вигляд двовимірної матриці у якій номери рядків є номерами напрямів регулювання, а номери стовпчиків – секундами циклу регулювання.

Цикл триває доки не відкладено сумарну тривалість всіх напрямів регулювання, комірки матриці заповнюються посекудно. А номери рядків

змінюються відповідно зміні номерів напрямів у матриці М1 зліва направо.

Перейшовши на наступний рядок перевіряють конфліктність напрямку, що відповідає номеру рядка з тими, що відкладені на у циклі. Якщо виявлено конфліктність, напрям не відкладається на поточній секунді.

Перевірку здійснюють, щоб удостоверитись, що мінімальні часові проміжки між дозволяючими сигналами напрямів дорівнюють елементу матриці ММП.

Проаналізувавши матрицю (площа циклограми), виявлено, що кількість комірок визначає суму тривалостей усіх напрямів. Площу циклограми можна представити у вигляді суми прямокутників, де ширина становить $1c$, а висота є кількістю напрямів регулювання, за якими здійснюється одночасний рух. Ця кількість наперед визначається матрицею мінімальних проміжків для кожної комбінації напрямів, проте сума цих кількостей у всіх прямокутниках є сталою величиною і дорівнює сумарному ефективному часу у циклі світлофорного регулювання. Отже, не враховуючи перехідні інтервали, змінення порядку включення до структури циклу напрямів регулювання не змінює тривалість циклу. Основою формування структури циклу є внесення всіх попарно неконфліктних напрямів до набору напрямів щосекундно.

За формулою Вебстера знаходять середню затримку одного автомобіля при ізолюваному регулюванні, с:

$$\bar{t}_m = 0,9 \left(AT_y + \frac{1}{N_m} B \right), \quad (2.28)$$

$$\text{де } A = \frac{(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)}, \quad B = \frac{x^2}{2(1-x)}, \quad \lambda = \frac{t_{om}^m + 1}{T_y}; \quad x = \frac{y}{\lambda};$$

T_y – тривалість світлофорного циклу, с;

N_m – інтенсивність руху транспорту, од/год;

t_{om}^m – фазовий коефіцієнт транспортної фази.

Припустимо, що цикл складається з транспортної та пішохідної фаз.

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{OT}}^m + t_{\text{III}}^m + t_{\text{OT}}^n + t_{\text{III}}^n, \quad (2.29)$$

де $t_{\text{OT}}^m, t_{\text{III}}^m, t_{\text{OT}}^n, t_{\text{III}}^n$ – тривалості відповідно основних тактів і перехідних інтервалів транспортної та пішохідної фаз, с.

Середня затримка одного пішохода становить [19]:

$$\bar{t}_n = \frac{t_{\text{OT}}^m + t_{\text{III}}^m + t_{\text{III}}^n}{2}. \quad (2.30)$$

Загальна затримка пішоходів за годину складатиме:

$$T_n = N_n \frac{t_{\text{OT}}^m + t_{\text{III}}^m + t_{\text{III}}^n}{2}, \quad (2.31)$$

де N_n – інтенсивність руху пішоходів, чел./год.

$$T_m = 0,9N_m \left(AT_{\text{ц}} + \frac{1}{N_m} B \right). \quad (2.32)$$

Затримка всіх пасажирів транспортних засобів за годину буде:

$$T_{\text{пас}} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\alpha^i T_m P_i k_{n-m}^i}{k_{np}^i} \right), \quad (2.33)$$

де P_i – пасажиромісткість транспортного засобу даного типу;

α^i – частка в потоці транспортних засобів i -го типу;

k_{n-m}^i – коефіцієнт використання пасажиромісткості для даного типу транспортного засобу;

K_{np}^i – коефіцієнт зведення даного типу транспортного засобу до легкового автомобіля;

m – загальна кількість типів транспортних засобів.

Умова рівності тривалостей затримок пасажирів, водіїв транспортних засобів та пішоходів виглядає таким чином:

$$N_n \frac{t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{III}^n}{2} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\alpha^i T_m P_i k_{n-m}^i}{k_{np}^i} \right), \quad (2.34)$$

$$N_n \frac{t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{III}^n}{2} = T_m \sum_{i=1}^m \left(\frac{\alpha^i}{k_{np}^i} P_i k_{n-m}^i \right). \quad (2.35)$$

Складові цього виразу, в свою чергу, дорівнюють:

$$K = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\alpha^i}{k_{np}^i} P_i k_{n-m}^i \right), \quad (2.36)$$

$$\bar{t}_m = 0,9(A \times (t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{OT}^n + t_{III}^n)) + \frac{1}{N_m} B, \quad (2.37)$$

$$\lambda = \frac{t_{om}^m + 1}{t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{OT}^n + t_{III}^n}, \quad (2.38)$$

$$x = \frac{y \cdot (t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{OT}^n + t_{III}^n)}{t_{om}^m + 1}, \quad (2.39)$$

$$B = \frac{(y \times (t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{OT}^n + t_{III}^n))^2}{2 \left(1 - \frac{y \times (t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{OT}^n + t_{III}^n)}{t_{om}^m + 1} \right) (t_{om}^m + 1)^2}, \quad (2.40)$$

$$A = \frac{\left(1 - \frac{t_{om}^m + 1}{t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{OT}^n + t_{III}^n} \right)^2}{2 \left(1 - \frac{t_{om}^m + 1}{t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{OT}^n + t_{III}^n} \times \frac{y \times (t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{OT}^n + t_{III}^n)}{t_{om}^m + 1} \right)}. \quad (2.41)$$

Виконуємо заміну:

$$\Delta = t_{III}^m + t_{OT}^n + t_{III}^n. \quad (2.42)$$

Отримуємо:

$$N_n \frac{t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{III}^n}{2} = 0,9 N_m K \left(\frac{\left(1 - \frac{t_{OT}^m + 1}{t_{OT}^m + \Delta} \right)^2}{2(1-y)} \cdot (t_{OT}^m + \Delta) + \right. \quad (2.43)$$

$$\left. + \frac{1}{N_m} \cdot \frac{(y \times (t_{OT}^m + \Delta))^2}{2 \left(1 - \frac{y \times (t_{OT}^m + \Delta)}{t_{OT}^m + 1} \right) (t_{OT}^m + 1)^2} \right).$$

Перетворивши співвідношення, отримуємо рівняння 4-го ступеня, розв'язками якого є тривалості основного такту світлофорного циклу з урахуванням транспортних напрямків. Перед перетворенням зробимо декілька замін:

$$N_n = a; t_{om}^m = x; t_n^m = b; t_n^n = c; \Delta = d; K = e; \Delta = f; y = g. \quad (2.44)$$

Отримане рівняння має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 & x^4 \cdot ad \cdot (1-g)^2 + x^3 [ad(1-g) \cdot ((2-g(1+f)) + (b+c+f)(1-g)) - \\
 & - 0,9dge^2(1-g)] + x^2 [ad(1-g)((1-gf^2) + (b+c+f)(2-g(1+f))) + \\
 & + f(b+c)(1-g) - 0,9d^2e(f-1)^2(1-g) - 0,9deg^2(1-g) \cdot 3f] + \\
 & + x [ad(1-g)((b+c+f)(1-gf) + f(b+c)(2-g(1+f))) - \\
 & - 0,9d^2e(f-1)^2(2-g(1+f)) - 0,9de(1-g)g^2 \cdot 3f^2] + \\
 & + [ad(1-g)f(b+c)(1-gf) - 0,9d^2e(f-1)^2(1-gf) - \\
 & - 0,9deg^2(1-g)f^3] = 0.
 \end{aligned} \tag{2.45}$$

Отримане рівняння розв'язуємо за методом Феррарі [24]. Ця процедура автоматизована за допомогою програми Microsoft Excel. Відзначимо, що для основного такту транспортної фази найменше допустиме значення – 7с, а найбільше визначається з урахуванням часу терплячого очікування дозволяючого сигналу пішоходами і не перевищує 54с. Серед розв'язків знаходять найменший, саме він дасть змогу мінімізувати тривалість циклу [25].

У табл. 2.4 наведено результати розв'язку рівняння (2.43), що потрапляють до припустимого діапазону.

Таблиця 2.4 – Результати розв'язку рівняння (2.43)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N_n , піш/год	300	500	400	650	200	100	1000	700	800
t_n^m , с	7	10	12	6	12	8	13	15	20
t_n^n , с	7	8	7	6	7	6	7	6	8
N_m , од/год	200	800	500	900	400	700	500	700	500
K	4	2	3	2,1	3,6	10	2	2	3,5
Δ	40	28	36	20	39	25	41	40	41
y	0,04	0,2	0,3	0,15	0,4	0,5	0,6	0,6	0,45
t_{om}^m , с	36	28	14	18	24	23	31	53	41

За результатами побудовано лінійну регресійну залежність, за допомогою якої можна визначити вплив кожного аргумента:

$$t_{om}^m = -111,92 - 0,06N_n - 0,25t_n^m - 0,87t_n^n + 0,04N_m + 7,96K + 1,8\Delta + 306,12y. \quad (2.46)$$

Перевірка адекватності запропонованої моделі здійснювалася за такими характеристиками як коефіцієнт кореляції 0,66, коефіцієнт детермінації 0,44, розрахункове значення критерію Фішера 175,09 (при теоретичному значення 2,2). Для даного регресійного рівняння за критерієм Стьюдента проведено статистичну оцінку значимості коефіцієнтів. Отримані такі значення коефіцієнтів для 7 змінних: -13,26; -0,54; -0,17; 11,57; 8,65; 16,52; 26,51, а також значення критерію вільного члена становить -2,7. Таким чином встановлено, що тривалості перехідних інтервалів дуже слабо впливають на значення основного такту транспортної фази.

Отже, виявлено співвідношення між дозволяючими сигналами для конфліктних напрямів регулювання руху транспортних засобів і пішоходів, це в свою чергу забезпечить рівність витрат часу пішоходами та транспортними засобами.

2.6 Приклад реалізація світлофорного регулювання

З метою формалізації схеми руху на перехресті складаються схеми траєкторій та напрямів регулювання (рис. 2.11 та 2.12).



Рисунок 2.11 – Схема траєкторій

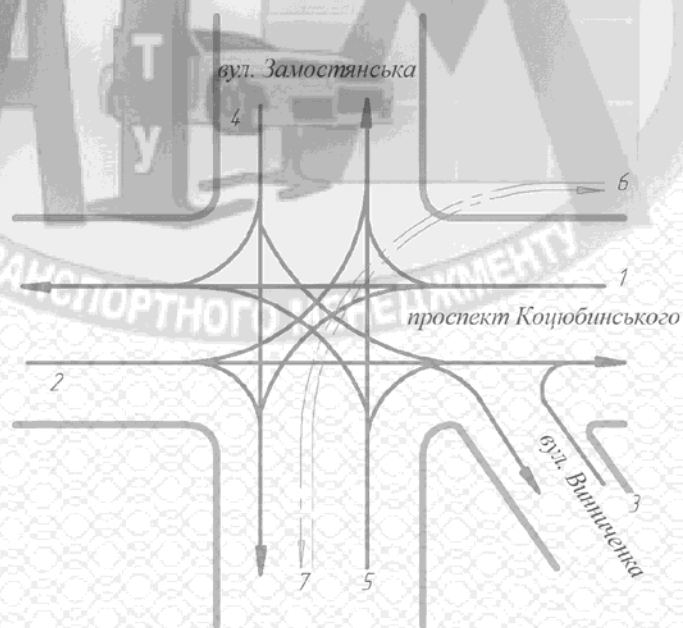


Рисунок 2.12 – Схема напрямів регулювання

Таблиця 2.4 – Матриця мінімальних часових проміжків

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	9	10	0	6	7
2	0	0	11	11	7	0	7
3	10	7	0	0	7	9	9
4	7	10	0	0	6	8	6
5	0	7	8	7	0	0	9
6	7	0	10	9	0	0	9
7	12	8	8	9	6	8	0

1) Визначення груп неконфліктних напрямів

Утворюється матриця сумісності напрямів регулювання. Для цього в матриці мінімальних проміжків (табл. 1) всі числа, окрім нулів, замінюються на 1. Отримуємо матрицю сумісності (табл.2.5).

Таблиця 2.5 – Матриця сумісності

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	1	1	0	1	1
2	0	0	1	1	1	0	1
3	1	1	0	0	1	1	1
4	1	1	0	0	1	1	1
5	0	1	1	1	0	0	1
6	1	0	1	1	0	0	1
7	1	1	1	1	1	1	0

Виконується обернення матриці сумісності (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Обернена матриця сумісності

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	0	0	1	0	0
2	1	1	0	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	0	0
4	0	0	1	1	0	0	0
5	1	0	0	0	1	1	0
6	0	1	0	0	1	1	0
7	0	0	0	0	0	0	1

Формуються групи неконфліктних напрямів за алгоритмом розширеної ітерації з видаленням. При цьому обернена матриця сумісності вважається матричним представленням графу структури світлофорного режиму. Групи неконфліктних напрямів будуть складати повні підграфи у цьому графі, пошук яких виконується шляхом застосування алгоритму визначення найбільшої кліки. Отримані підграфи (групи неконфліктних напрямів) наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Групи неконфліктних напрямів

Номер групи	1	2	3	4
Напрями	4	1	6	7
	3	2	5	

Для отриманої структури визначаються тривалості дозволяючи сигналів регулювання за експрес-методикою або за розрахунком на мінімальний час (для трамваїв) – таблиця 2.8. З кожної групи обирається напрям з максимальною тривалістю дозволяючого сигналу. З напрямів регулювання, що мають максимальні тривалості в кожній групі утворюється головна послідовність (табл. 2.9).

Таблиця 2.8 – Результати застосування експрес-методики

Номер напрямку	1	2	3	4	5	6	7
Тривалість сигналу, с	33	24	10	18	11	7	15

Таблиця 2.9 – Головна послідовність

4	1	5	7
---	---	---	---

Для головної послідовності розв'язується задача комівояжера з урахуваннями тривалості мінімальних проміжків (табл. 2.10).

Таблиця 2.10 – Оптимізована головна послідовність

1	4	7	5	1
---	---	---	---	---

Чергування груп змінюється відповідно до зміни чергування напрямів, що входять в ці групи, у головній послідовності. Заповнюється циклограма відповідно до алгоритму (напрямок 6 – псевдонапрямок для раннього старту напрямку 2.)

Таблиця 2.11 – Групи неконфліктних напрямів

Номер групи	2	1	4	3	2
Напрями	1	4	7	6	1
	2	3		5	2

Оптимальність вибору чергування напрямів головної послідовності за критерієм мінімізації часових проміжків між зеленими сигналами підтверджується перебором варіантів чергування у табл. 2.12. Мінімізація тривалостей часових проміжків між дозволяючими сигналами світлофорної сигналізації, які складають головну послідовність структури світлофорного циклу приведе до зменшення втраченого часу у циклі світлофорного регулювання, і, таким чином, відповідно до викладок, що розглядалися у першому розділі та наведені у [5], може бути критерієм оптимізації структури світлофорного циклу.

Отриману відповідно до п. 2.5 циклограму світлофорного регулювання наведено на рис. 2.13. Наведений приклад підтверджує, що підхід до управління світлофорною сигналізацією за окремими напрямками може бути реалізована на практиці на всіх етапах визначення режиму регулювання

Таблиця 2.12 – Визначення оптимальної структури циклу

Елементи головної послідовності			Втрачений час. С			Мін. проміжки		
4	1	5	7	25	7	0	9	9
4	1	7	5	27	7	7	6	7
4	5	1	7	22	6	0	7	9
4	5	7	1	37	6	9	12	10
4	7	5	1	22	6	6	0	10
4	7	1	5	25	6	12	0	7
1	4	7	5	22	10	6	6	0
1	4	5	7	37	10	6	9	12
1	7	4	5	22	7	9	6	0
1	7	5	4	27	7	6	7	7
1	5	4	7	25	0	7	6	12
1	5	7	4	25	0	9	9	7

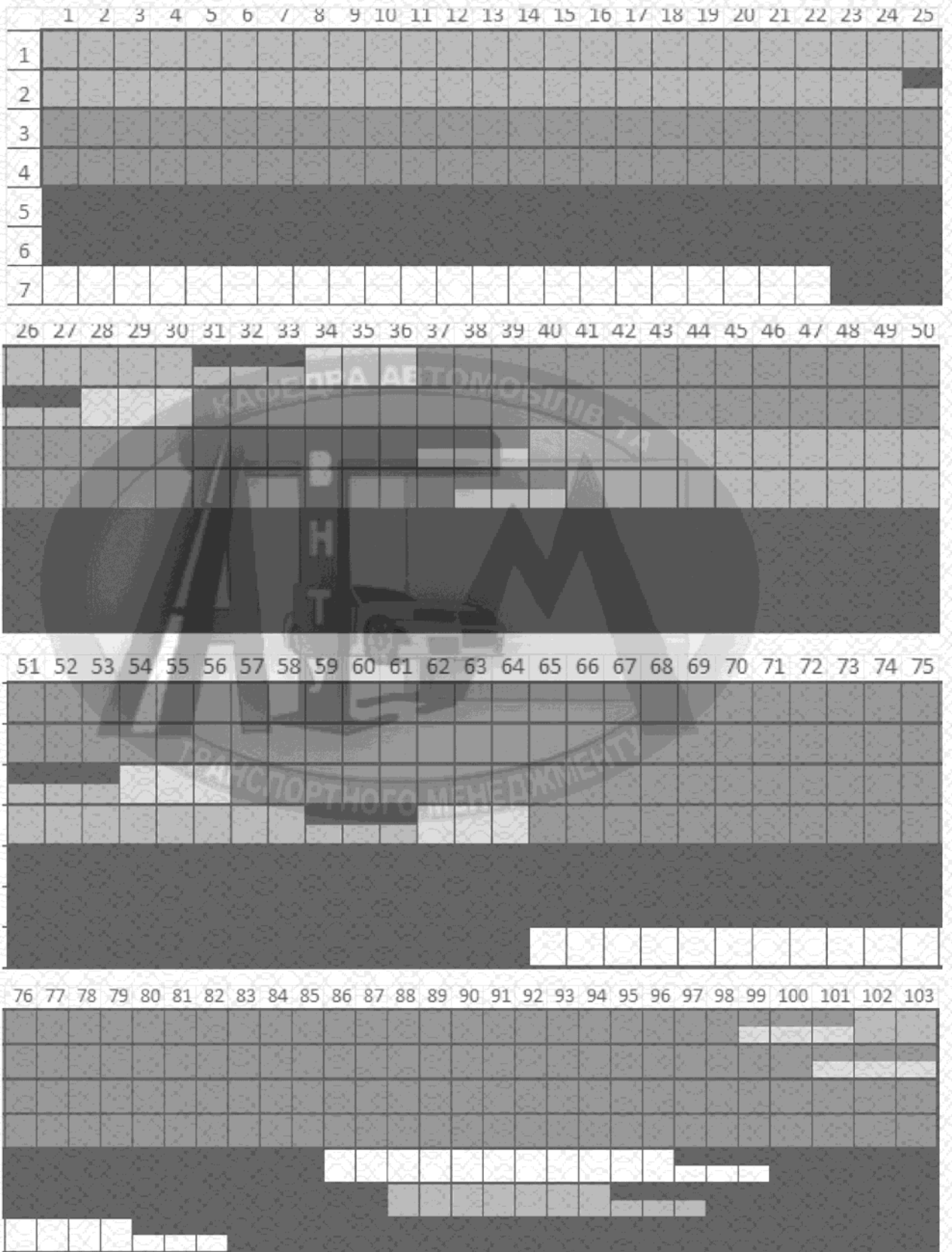


Рисунок 2.13 – Циклограма світлофорного регулювання

Висновки до розділу 2

Розроблені у розділі принципи формування режимів світлофорного регулювання за окремими напрямками охоплюють наступні стадії проектування режимів світлофорного регулювання:

- визначення кількості напрямків світлофорного регулювання залежно від геометрії регульованої ділянки та розподілу інтенсивностей дорожнього руху;
- визначення конфліктності між напрямками регулювання;
- встановлення тривалості мінімальних часових проміжків між дозволяючими сигналами конфліктних напрямків регулювання;
- синтез структури світлофорного циклу: групування неконфліктних напрямків регулювання та встановлення оптимальної за критерієм зниження втраченого часу послідовності напрямків під час роз'їзду;
- визначення тривалостей дозволяючих сигналів для транспортних засобів з дотриманням умови рівності тривалостей затримок водіїв, пасажирів та пішоходів за конфліктними напрямками регулювання;
- встановлення співвідношень між дозволяючими сигналами та мінімальними часовими проміжками у циклі регулювання;
- побудова циклограми світлофорного регулювання.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Удосконалення алгоритму визначення параметрів регулювання транспортних потоків

Для пояснення принципу циклоутворення введемо наступні позначення:

- включені напрями – напрями, за якими вмикається дозволяючий сигнал в даній фазі;
- наявні напрями – напрями, що є включеними хоча б до одної фази;
- невключені напрями – напрями, за якими не передбачено ввімкнення дозволяючого сигналу у даній фазі;
- відсутні напрями – напрями, які не є включеними хоча б одної фази.

Результати підрахунків за алгоритмом встановлення параметрів світлофорного циклу (блок-схему алгоритму наведено на рисунку 3.10) структуруються у вигляді матриці фаз та матриці конфліктних напрямів. У останній кожен елемент позначає мінімально припустимий часовий проміжок у секундах між зеленим сигналом напрямку, номер якого дорівнює номеру рядка, в якому знаходиться у матриці конфліктних напрямів відповідний елемент, та ввімкненням зеленого сигналу за напрямом, номер якого дорівнює номеру стовпчика, в якому знаходиться елемент.

В матриці фаз кількість рядків дорівнює кількості фаз. У першому стовпчику прописано номер фази, у другому – тривалість основного такту фази, у третьому – тривалість додаткового зеленого (вводиться з екрану для кожної фази під час введення включених напрямів за умови, що номер включеного напрямку співпадає із номером напрямку, для якого передбачено зелений додатковий сигнал), з четвертого по десятий стовпчик прописуються

номери включених напрямів. Після заповнення матриць процедура вводу вважається завершеною.

Далі проводиться перевірка фаз на відсутність включених конфліктних напрямів. Для цього в циклі програма для кожного рядку матриці фаз перебирає всі наявні включені напрями попарно та перевіряє, чи дорівнюють нулю елементи матриці конфліктних напрямів, рядок та стовпчик для яких відповідають напрямам, що перевіряються. Нульове значення мінімального часового проміжку показує, що напрями не є конфліктними, а додатне – що конфлікт наявний. У разі виявлення фази, для якої хоча б одна пара включених напрямів є конфліктними розрахунок переривається. У разі, якщо тест пройдено алгоритм розрахунку продовжується.

Далі для кожної з фаз проводяться такі операції. Фазу, з якою проводяться операції встановлюють такою, що знімається, а ту, що є наступною – такою, що готується.

З поміж включених напрямів обирається базисний напрям за найбільшою величиною перехідного інтервалу. При цьому величина перехідного інтервалу складається із тривалості мінімального проміжку, зеленого додаткового та зеленого миготливого базисного напрямку, якщо у матриці фаз відповідне значення є додатнім, а тривалість мінімального проміжку визначається елементом у матриці конфліктних напрямів в рядку, номер якого дорівнює номеру фази, що знімається, шляхом перевірки на максимум за усіма стовпчиками матриці мінімальних часових проміжків. Встановлюються значення міток: першій передається значення другої, а другій – значення першої плюс тривалість основного такту в фазі, що знімається, плюс отримане значення перехідного інтервалу.

Проводиться розмітка головного напрямку: від першої мітки відкладаються інтервали для зеленого, зеленого миготливого, жовтого та червоного сигналів у основному та проміжному тактах. Під час відкладання

ведеться перевірка останніх інтервалів для кожного каналу з метою пошук співпадання станів попереднього та поточного інтервалів для раціонального використання обмеженої кількості інтервалів.

Далі розмічаються інші включені напрями. Треба зауважити, що початок миготіння зеленого сигналу за напрямом, який не є включеним до фази, що готується, розпочинається у момент часу, який залежить від мінімально припустимого проміжку між вимкненням зеленого сигналу даного напрямку та початком основного такту фази, що готується. Тому до тривалості зеленого сигналу у основному такті додається величина Z_{da} – зелений додатковий автоматичний такт.

$$Z_{da} = M2 - M1 - T_{mi} - T_{ocn} - T_{zm}, \quad (3.1)$$

де M_2 та M_1 – значення відповідно першої та другої міток циклограми;

T_{mi} – значення мінімального часового проміжку для даного включеного напрямку;

T_{ocn} – тривалість основного такту фази, що знімається;

T_{zm} – тривалість зеленого миготливого (приймається рівним 3 с [13]).

У випадку, коли небазисний напрям включено і до фази, що готується, мінімальний часовий проміжок для нього із ним самим буде дорівнювати нулю, отже у формулі $T_{mi}=0$, а T_{zm} у разі присутності одного напрямку у матриці фаз як у рядку фази, що готується, так і у рядку фази, що знімається, автоматично обертається на 0. Таким чином очевидно, що зелений сигнал напрямку, що його включено до двох послідовних фаз послідовності у перехідному інтервалі між основними тактами цих фаз буде ввімкнено.

Зрозуміло, що для базисного напрямку значення мінімально допустимого проміжку дорівнює величині проміжного такту без миготіння зеленого сигналу (зелений блимаючий за означенням відноситься до

проміжного такту, але, оскільки згідно до вимог Правил дорожнього руху України [26], що їх введено у дію з 10.10.2001 року, рух транспортних засобів на блимаючий зелений сигнал дозволено, а, отже, дозволено і в'їзд на перехрестя, будемо вважати, що звільнення напрямку розпочинається з моменту ввімкнення жовтого сигналу, а, отже, розраховане значення мінімально припустимого проміжку будемо відкладати з моменту ввімкнення жовтого сигналу означеного напрямку або з моменту вимкнення стрілки додаткової секції за напрямом, що відповідає стрілці), а для інших включених напрямків ці моменти будуть іншими, якщо значення мінімально припустимих проміжків для цих напрямків не дорівнюють такому значенню для головного напрямку [7].

Згідно до вищезазначеного, розраховується момент часу початку миготіння зеленого сигналу за кожним із включених напрямків. Для цього у рядку матриці конфліктних напрямків, номер якого дорівнює номеру напрямку, що прораховується, знаходиться максимальний елемент у одному зі стовпчиків, номери яких дорівнюють елементам матриці фаз (з четвертого по десятий стовпчик) у рядку, що дорівнює номеру фази, що готується (тобто для напрямків, включених у фазу, що готується).

На рисунку 3.1 – сигнали за номерами каналів: 1, 2, 3 – сигнали за головним (базисним) напрямом, включеним до фази, що знімається; 4, 5, 6 – сигнали за небазисним напрямом, включеним до фази, що готується; 7, 8, 9 – сигнали за неголовним (небазисним) напрямом, включеним до фази, що знімається; сигнали за напрямками накреслено у послідовності: червоний, жовтий, зелений.

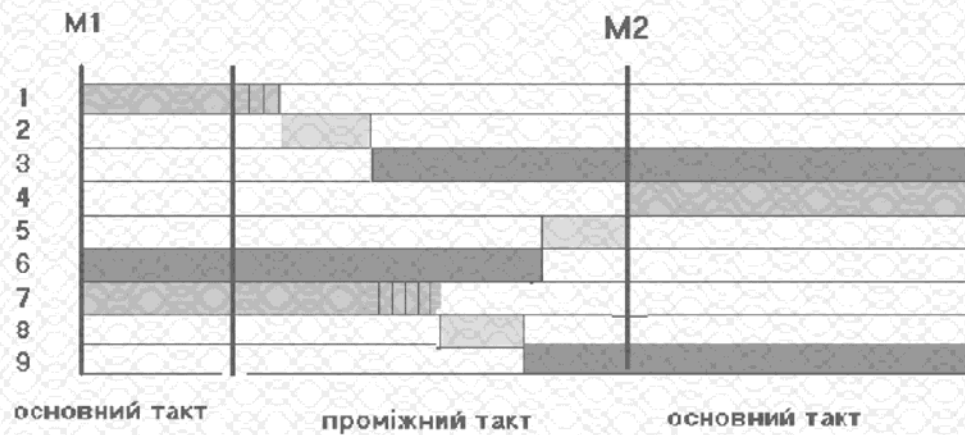


Рисунок 3.1 – Фрагмент графіка роботи світлофорного об'єкту
(M1 – перша головна мітка)

Тому при зміні порядку чергування фаз збільшується втрачений на перехресті час, оскільки перехід для кожного напрямку з червоного на зелений сигнал та з зеленого на червоний є атрибутом виключно напрямку і не має стосунку до інших включених напрямів у фазах що знімаються та готуються. Важливо, що на основі відомостей, що їх отримано з матриці мінімальних проміжків, програма розраховує проміжні такти для будь-якого порядку чергування фаз та для будь-яких варіантів (з числа припустимих за вимогами конфліктного тесту) входження напрямів у фази.

Далі відбувається розмітка напрямів, що не включені до фази, що знімається (впродовж основного такту фази на світлофорах цих напрямів ввімкнено червоне світло). Для цього по-перше визначаються номери невключених напрямів (усього їх 4, і деякі можуть бути відсутніми): в матриці фаз вишуковуються напрямів з номерами, відмінними від тих, що включені до фази, що знімається. Для знайдених таким чином напрямів від мітки M1 до M2 закладається червоний сигнал, а також визначається значення J, що показує, чи є напрям, що не включений до фази, що знімається, включеним до фази, що готується. У разі істинності J за 3 с перед міткою M2 вмикається і жовтий сигнал за невключеним напрямом.

В результаті проходження головним циклом матриці каналів стільки разів, скільки сконфігуровано фаз, матриця заповнюється.

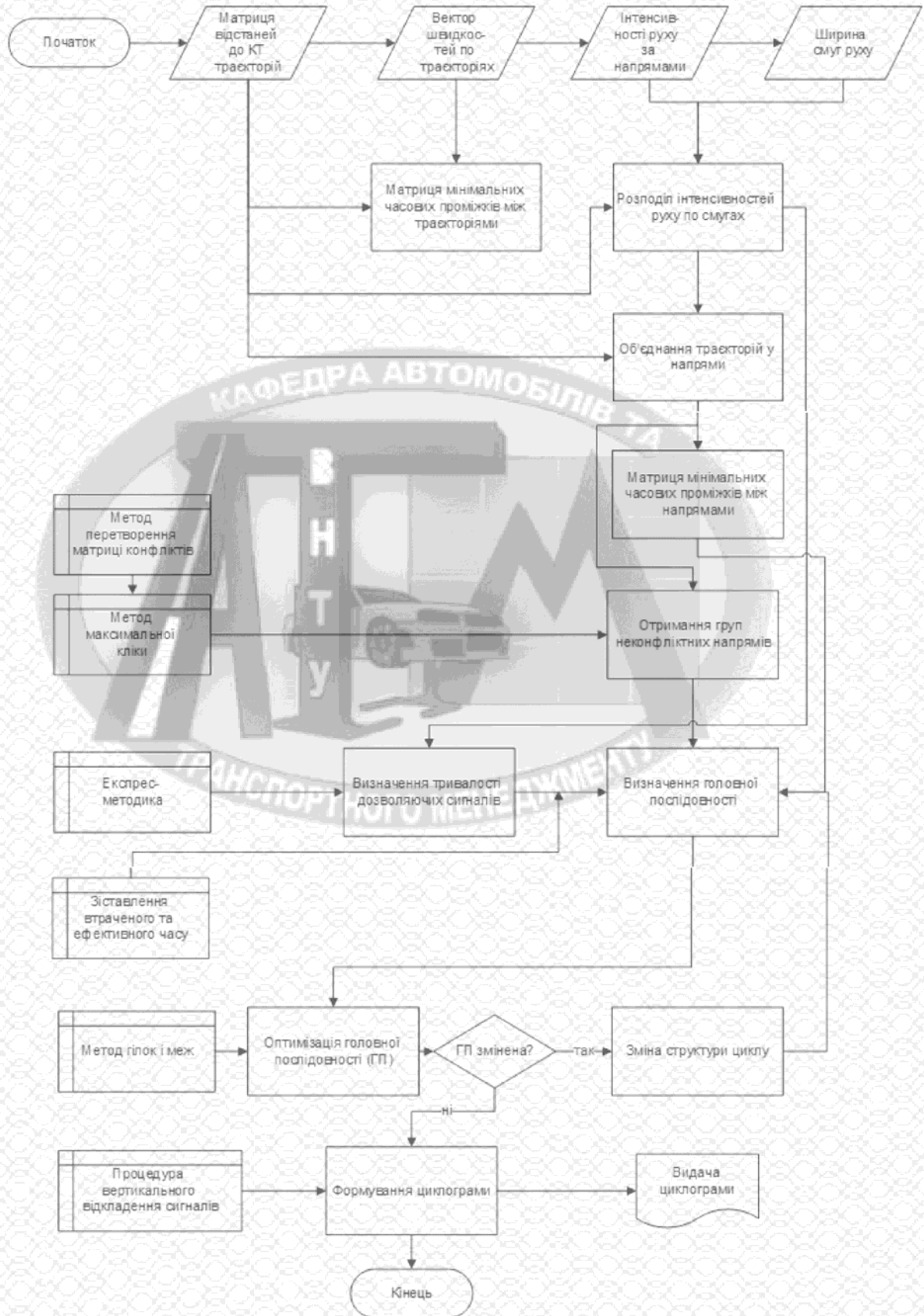


Рисунок 3.6 – Алгоритм програмного комплексу

3.2 Розрахунок режимів координованого регулювання транспортних потоків

Координоване регулювання – це режим роботи світлофорних об’єктів на магістралі чи в районі, що забезпечує безупинний проїзд всіх перехресть на магістралі координації чи за маршрутом координованого регулювання транспортних засобів, що рухаються з розрахунковою швидкістю.

Розрахункова швидкість координованого регулювання мусить визначатися на базі 85%-го забезпечення, тобто не перевищувати швидкість руху 85% транспортних одиниць потоку.

Метою проведення розрахунків з координування за даними про цикл координації та режими світлофорних об’єктів на магістралі є одержання значень зсувів моментів початку горіння зелених сигналів магістральних напрямів. Графік координованого регулювання являє собою графічне відображення у двовимірній системі координат руху щільних груп транспортних засобів і будується за графоаналітичним методом.

До вихідних даних належать початок і тривалість виклику фази координатором. Для спрощення обчислень номер першої за порядком фази завжди приймається за одиницю. Оскільки процес зміни фаз є циклічним, то за допомогою цілочисельного ділення можна привести значення зсуву, взяте з будь-якого циклу регулювання до зсуву в межах циклу. Операційне значення зсуву O знаходиться для i -ої фази за формулою:

$$O = \Pi - t_{g(i-1,i)}, \quad (3.2)$$

де Π – номер секунди початку виклику.

Дійсне значення зсуву D , що відкладається на графіку координації знаходиться за формулою (ділення цілочисельне):

$$D = O + \Pi - \left(\frac{O}{\Pi} \right) \times \Pi, \quad (3.3)$$

де T – тривалість циклу координованого регулювання, с.

Цикл регулювання становить 81 с. Так, наприклад, якщо отримане значення зсуву 87с, це означає, що дійсне його значення 6 с, а якщо -10 с, це значить 71 с.

На графіку координованого регулювання стрічки часу проходять через смуги перехресть, відстані між якими відповідають відстаням між стоп-лініями на перехрестях магістралей координації. Для програми координації відстані між перехрестями задаються окремо в прямому та зворотному напрямках.

За умови, що значення швидкостей та циклу встановлено і вони незмінні, завдання полягає у «закритті» зеленими сигналами магістральних напрямів ділянки графіку, де стрічка часу входить до смуги перехрестя. Фігура, що повинна закрити цю ділянку, зветься калькою. Далі викладається графічна методика магістральної координації з уточненнями та поправками щодо роботи програми автоматичної координації.

З початку координат під ухилом, що відповідає швидкості координації (для кожного з напрямів та для кожного з перегонів швидкість координації може бути різною, проте вона не повинна відрізнятися від тієї, для якої були підраховані перехідні інтервали циклу і може бути змінена для кожного перехрестя за допомогою відповідного обробника) виходить пряма, що проходить через усі смуги перехресть під кутами, що відповідають швидкості на кожному з перегонів. Паралельно їй праворуч на відстані стрічки часу відповідного напрямку теж будується пряма і така побудова паралельно зноситься праворуч на відстані, що дорівнює світлофорному циклу у масштабі.

Так як світлофори в межах одного плану координації працюють циклічно, то одержані стрічки рівні для усіх побудов.

Така ж сітка за допомогою обчислення кутів зводиться і у зворотному напрямку, але початок першої лінії зсувається по смузі перехрестя на значення не більше циклу регулювання. Таке значення називається зміщенням

зворотної стрічки або зміщенням і використовується для побудови графіку координації. Програма координації перебирає різні способи і знаходить найкращий розв'язок при якому всі кальки закривають точки входження стрічок часу до смуг перехресть.

Щоб досягти цього потрібно, щоб контрольна стрічка близько розташовувалася до стрічок зустрічного напрямку. Для полегшення побудови контрольною не може бути перша зліва стрічка.

Точки входження до смуги перехресть контрольної стрічки позначають А та В. Відкладена від зміщення стрічка утворює по 2 точки на перетині зверху зі смугами перехресть.

Потім знаходять пари точок на верхніх межах смуг перехресть на відстані циклу попарно та через них проводяться лінії, що є паралельно знесеними праворуч штрих пунктирними стрічками.

З цієї сітки методом цілочисельного ділення обираються дві стрічки (рис. 3.7), що знаходяться якнайближче до контрольної стрічки.

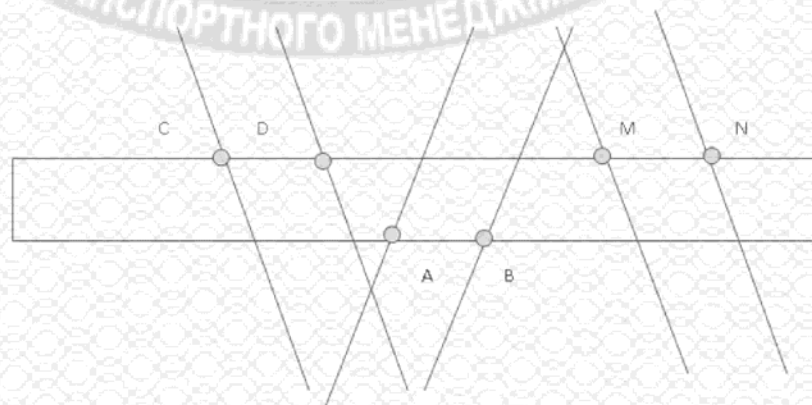


Рисунок 3.7 – Визначення стрічок оточення

Кальки є фрагментами циклограм магістральних напрямків, а саме їхніми зеленими сигналами разом із зеленим миготінням. Однак, стрічки часу мають закриватися калькою, а стрічки позначають рух щільної групи в координації. Наявність позагрупових одиниць транспорту забороняє використання усього зеленого сигналу для руху щільної групи. Через це калька

зменшується на 5 с. Цей час потрібен для проїзду через переріз стоп-лінії поза групових автомобілів.

Варто відмітити, що на трифазних перехрестях кальки містять не лише тривалості фаз відповідних магістральних напрямків, а й тривалості перехідних інтервалів між фазами, що змінюються від порядку чергування фаз.

Світлофорний цикл формується за такими двома послідовностями фаз: 1 – 2 – 3 та 1 – 3 – 2 при трифазному регулюванні. Для зрозумілості послідовності позначатимемо починаючи з першої за конфігурацією фази, так як вона викликається при переході до координованого режиму. Включимо до першої фази обидва магістральні напрями (прямий та зворотний), псевдонапряма або стрілку додаткової секції включимо до третьої фази при її наявності. Друга фаза містить прямий та зворотний напрями вулиць, що перетинають магістраль (рис. 3.8).

На рисунку зображено можливі конфігурації перетинів стрічок часу та смуг перехресть з накладеними на них кальками. Наведено 4 варіанти до яких зводиться розв'язок задачі введення в координований режим кожного з перехресть (рис. 3.9). Довжину кальок можна визначити за формулами:

$$Z_{el} = f_1 + f_3 + t_{\alpha_{1-3}} - 5; \quad (3.4)$$

$$Z_{el} = f_1 + f_3 + t_{\alpha_{3-1}} - 5. \quad (3.5)$$

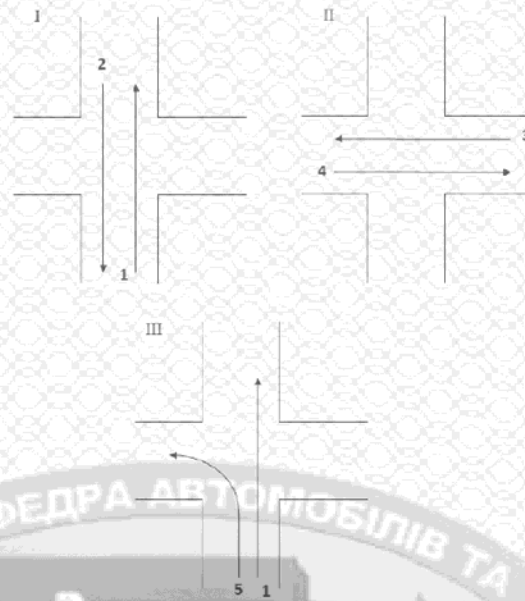


Рисунок 3.8 – Типова схема пофазового роз'їзду для трифазного перехрестя (магістральні напрямки 1,2,5; другорядні напрямки 3,4)



Рисунок 3.9 – Варіанти розташування кальок на стрічках часу

Операційне значення абсолютного зсуву O початку першої фази визначається для варіантів, наведених на рис. 3.9 за наступними формулами.

Твірна стрічка ліва, фази 1-3-2:

$$O = \max(d, b - f_3 - t_{01-3}). \quad (3.6)$$

вірна стрічка ліва, фази 1-2-3:

$$O = \max(n, b). \quad (3.7)$$

Твірна стрічка права, фази 1-3-2:

$$O = \max(b, n - f_3 - t_{\partial 1-3}). \quad (3.8)$$

Твірна стрічка права, фази 1-2-3:

$$O = \max(n, b). \quad (3.9)$$

Операційне значення зсуву O слід розділити націло на цикл координованого регулювання та залишок від ділення прийняти за дійсне значення зсуву:

$$D = \frac{O - f1}{\text{Ц}}, \quad (3.10)$$

Дійсне значення вносять у дорожній контролер, щоб працювати з безцентровою схемою координації. Налаштування координатора полягає у розрахунку моментів початку виклику наступних фаз координатором. Для автоматизації розрахунків використовують програму, яку згадували на початку розділу.

Під виглядом псевдофази зелений додатковий сигнал або ранній старт на перехресті входить до графіку координованого регулювання.

Виконавши поворот із введеним зеленим додатковим або раннім стартом з магістралі координацій, псевдонапряма має номер 5 або 6 для створення кальок з урахуванням збільшення зеленого сигналу за рахунок додаткового сигналу.

Третя фаза може входити в послідовність після першої та другої. В такому випадку, псевдонапряма з'являтиметься перед чи після зустрічного і конфліктного до нього магістрального напрямку. При координації зелений

додатковий чи ранній старт можуть мінятися між собою відповідно до розрахунків графіку координованого регулювання. Враховуючи, недопустимість зміни на деяких ділянках у зв'язку з вимогами безпеки руху, є можливість заборони на зміну додаткового сигналу. У такому випадку розглядається можливість введення лише зеленого додаткового, ігноруючи ранній старт. Отже, зелений додатковий і ранній старт є різними видами виходу зеленого сигналу в перехідний інтервал або псевдофазу.

У роботі розглядалися такі вихідні дані:

- відстані між стоп-лініями сусідніх перехресть, які заведено до плану координації;
- розрахункові швидкості руху транспортних потоків в координованому режимі в прямому та зворотному напрямках координації. Прямий напрям це такий напрям в якому транспортні засоби рухаються вздовж маршруту координації від перехрестя з меншим номером на магістралі координації до перехрестя з більшим номером;
- номери локальних ідентифікаторів перехресть, під'їзди яких підлягають координуванню за даним маршрутом.

Результатом проведених розрахунків за алгоритмом, наведеним на рис. 3.10 та 3.11, є накреслений графік координації, на якому зображені параметри плану координованого регулювання на окремих перехрестях і усьому маршруту. Для кожного перехрестя приводиться порядок слідування груп безконфліктних напрямів, який забезпечує проходження щільної групи транспортних засобів у межах стрічки безперервного часу відповідно до розрахункових характеристик плану координації. Варто відзначити, що пропонувані структури циклів в координованому режимі мають розглядатися на предмет безпеки руху.

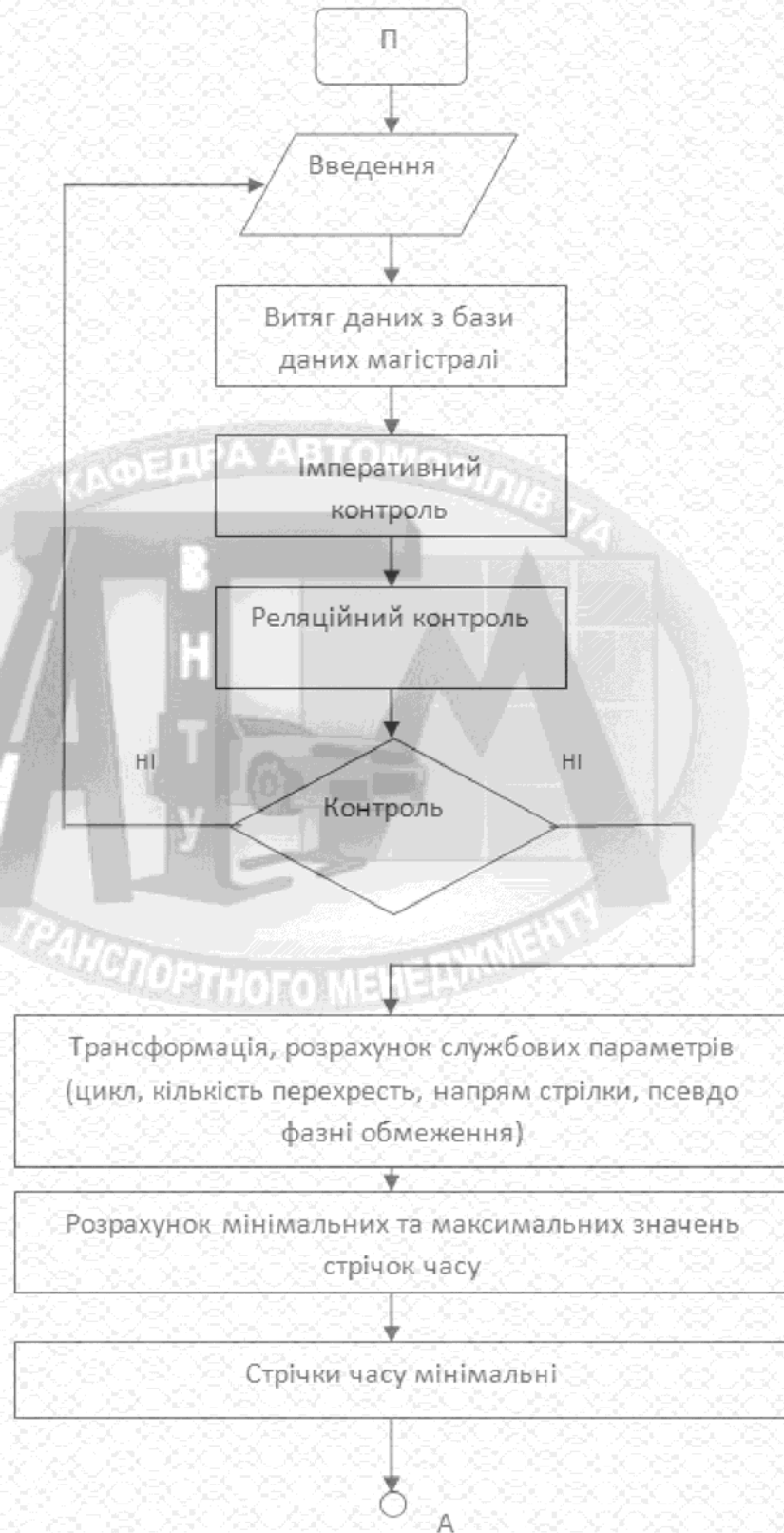


Рисунок 3.10 – Алгоритм координації (частина 1)

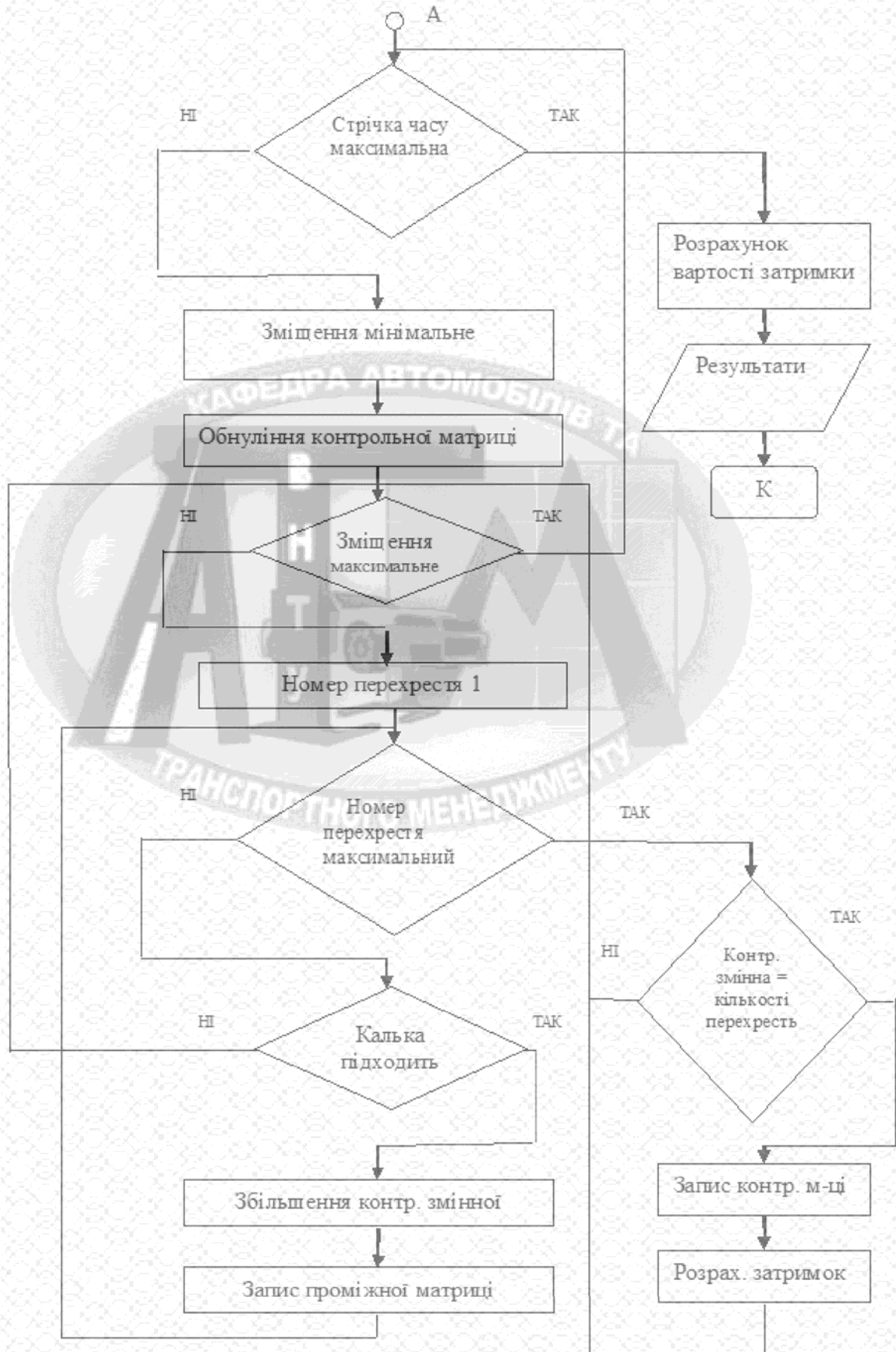


Рисунок 3.11– Алгоритм координації (частина 2)

На графіку координації для перехресть з рознесеними стоп-лініями показуються лише зовнішні стоп-лінії, оскільки локальна координація здійснюється за рахунок перехідних інтервалів. Якщо ж вона здійснюється за рахунок певного чергування фаз, то мусить бути введена заборона на зміну порядку чергування фаз програмою координації.

На рис. 3.12 наведено приклад автоматизованої побудови графіку координованого регулювання для вулиці Келецька м. Вінниця.

Жовтим кольором позначено межі смуг перехресть, яким відповідає розташування вхідних стоп-ліній на виїздах на перехрестя. Синім кольором позначено стрічки часу прямого напрямку, що відповідають руху транспортних засобів від початкового до кінцевого перехрестя на маршруті координованого регулювання. Стрічки часу зворотного напрямку червоні.

Кальки зображені зеленим кольором – фрагменти циклограм магістральних напрямів регулювання, що містять зелений та зелений миготливий сигнали. За формулами (3.6) – (3.10) розраховують положення кальок з урахуванням варіантів розташування стрічок часу навколо кальки.

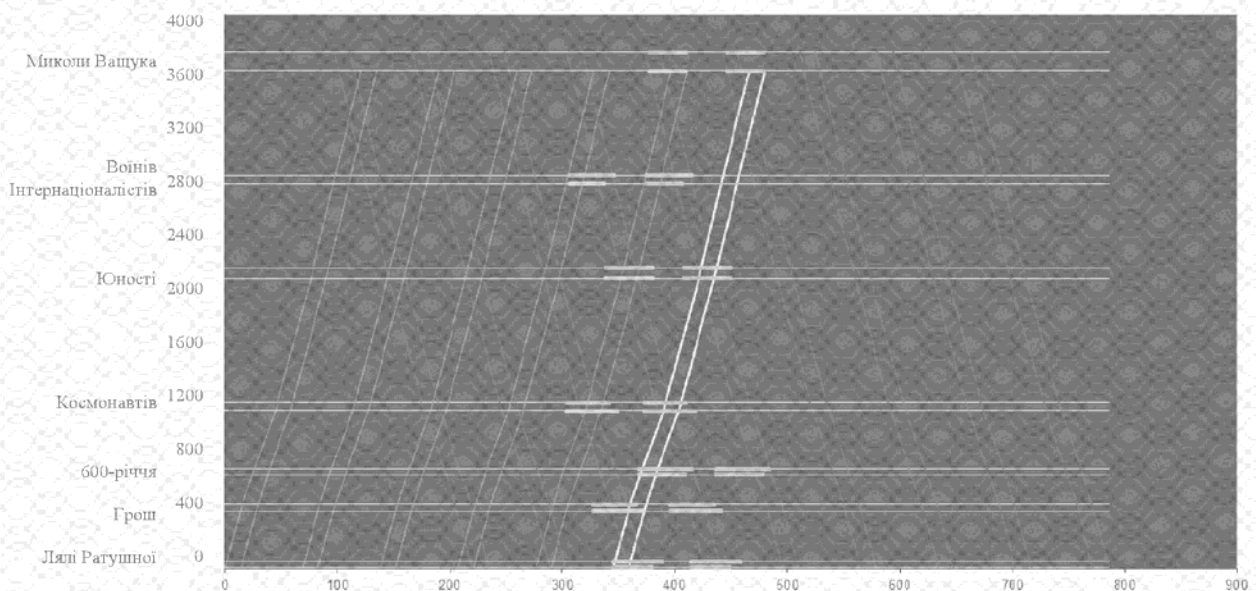


Рисунок 3.12 – Проектний графік координованого регулювання

3.3 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи НДР роботи може складатись з таких етапів:

- 1– розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу НДР;
- 2– розрахунок загальних витрат на виконання даної НДР;
- 3– прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів НДР;
- 4– розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу НДР.

1) Основна заробітна плата кожного з розробників визначається:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника, грн. T_p – число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21 \dots 23$ дні; t – число днів роботи розробника.

Основна заробітна плата розробників становить, грн:

$$Z_{01} = \frac{15500}{23} \cdot 7 = 4717,4;$$

$$Z_{02} = \frac{8500}{23} \cdot 250 = 92391,30.$$

Проведені розрахунки занесені до табл. 4.3.

Таблиця 3.1 – Розрахунки витрат на основну заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	15500	673,90	7	4717,40
Інженер	8500	369,56	250	92391,3
Всього				97108,7

2) Основна заробітна плата робітників, що виконують роботу за робочими професіями, у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою, грн.:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c,$$

де n – число робіт за видами та розрядами; t_i – норма часу на виконання конкретної роботи, годин; K_c – коефіцієнт співвідношень, який установлений генеральною тарифною угодою між урядом і профспілками, $K_c = 1 \dots 5$; C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу, яка визначається за формулою, грн./год.:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}},$$

де M_m – мінімальна місячна оплата праці, грн. З 01.01.2021 року становить 6000 грн; K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду; T_p – число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21 \dots 23$ дні; T_{zm} – тривалість зміни, зазвичай $T_{zm} = 8$ годин

$$C_{i1} = \frac{6000 \cdot 1,27}{23 \cdot 8} = 41,41;$$

$$C_{i2} = \frac{6000 \cdot 1,54}{23 \cdot 8} = 50,21;$$

$$Z_p = \sum_1^2 0,5 \cdot 41,41 \cdot 1 + 1 \cdot 50,21 \cdot 1 = 70,915.$$

Проведені розрахунки занесені до таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Розрахунки витрат

Найменування робіт	Трудомісткість, н. - годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
Встановлення додаткового обладнання	0,5	4	41,41	20,705
Налаштування та тестування роботи об'єкта світлофорної сигналізації.	1	7	50,21	50,21
Всього				70,915

3) Додаткова заробітна плата Z_d (грн.) всіх розробників та робітників, які приймали участь в розробці вдосконаленого алгоритму управління світлофорною сигналізацією на перехресті при організації руху транспортних та пішохідних потоків за окремими напрямками з врахуванням оптимальних співвідношень між дозволяючими світлофорними сигналами розраховується як 10...12% від основної заробітної плати всіх розробників та робітників

$$Z_d = 0,11 \cdot (98107,7 + 70,915) = 10799,65.$$

4) Нарахування на заробітну плату H_{zn} (грн.) розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення розраховується як 0,363% від суми основної та додаткової заробітної плати всіх розробників та робітників

$$H_{zn} = (Z_o + Z_p + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100},$$

де Z_o - основна заробітна плата розробників, грн.; Z_p - основна заробітна плата робітників, грн.; Z_d - додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.; β - ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, %

$$H_{zn} = (98107,7 + 70,915 + 10799,65) \cdot 0,363 = 39559,11.$$

5) Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались для розробки нового технічного рішення, грн:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a \cdot T}{100 \cdot 12},$$

де $Ц$ – балансова вартість обладнання, приміщень, грн.; H_a – річна норма амортизаційних відрахувань для даного виду обладнання, %, $H_a=10\%$; T – термін використання обладнання, приміщень, місяці.

$$A = \frac{50000 \cdot 10}{100} \cdot \frac{12}{12} = 5000.$$

Проведені розрахунки занесені до таблиці 4.5

Таблиця 3.3 – Розрахунки амортизаційних витрат на обладнання

Найменування обладнання, приміщень	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
Комп'ютер	50000	10%	12	5000
Всього				5000

б) Витрати на комплектуючі та матеріали K , що були використані на розробку нового технічного рішення, розраховуються за формулою, грн.:

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i,$$

де n – кількість видів комплектуючих; H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; C_i – покупна ціна комплектуючих i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1 \dots 1,15$

$$K = \sum_{i=1}^1 1 \cdot 365 \cdot 1,1 + 1 \cdot 80 \cdot 1,1 = 489,5.$$

Проведені розрахунки занесені до таблиці 4.6

Таблиця 3.4 – Розрахунки витрат на комплектуючі та матеріали

Найменування комплектуючих	Кількість	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Картридж	1	365	401,5
Бумага А4	1	80	88
Всього			489,5

7) Витрати на силову електроенергію B_e визначається за формулою, грн.:

$$B_e = B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_n,$$

де B – вартість однієї кіловат-години електроенергії, $B = 1,68$ грн./кВт;
 Π – установлена потужність обладнання, кВт; Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин; K_n – коефіцієнт використання потужності встановленого обладнання, $K_n < 1$

$$B_e = 1,68 \cdot 0,7 \cdot 250 \cdot 0,6 = 176,4.$$

Загальні витрати на розробку нового програмного продукту.

9) Інші витрати охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати доцільно прийняти як 100...300% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які були зайняті розробкою нового технічного рішення, тобто $(Z_0 + Z_p)$, грн.:

$$I_B = (97108,7 + 70,915) \cdot 1 = 97179,615.$$

Загальні витрати на розробку нового програмного продукту складають, грн.:

$$B = Z_0 + Z_p + Z_D + H_{zn} + A + O + K + B_e + I_B,$$

$$B = 97108,7 + 70,915 + 10799,65 + 39559,11 + 5000 + 489,5 + 176,4 + 97179,615 = 250383,89.$$

3. Прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів НДР. Прогнозування здійснюється за формулою, грн.:

$$ЗВ = \frac{B}{\beta},$$

де β - коефіцієнт, характеризує етап виконання даної НДР

$$ЗВ = \frac{250383,89}{0,9} = 278204,32.$$

Прогнозовані загальні витрати на виконання та впровадження результатів НДР склали 278204,32 грн.

3.4 Висновки до розділу 3

Запропоновано алгоритм визначення керуючих параметрів світлофорного регулювання, що базується на масиві вихідних даних:

- відстані між стоп-лініями сусідніх перехресть, занесені до плану координації;
- розрахункові швидкості руху транспортних потоків в координованому режимі в прямому та зворотному напрямках координації.
- номери локальних ідентифікаторів перехресть, під'їзди яких потребують координації за даним маршрутом.

За допомогою алгоритму можна виконувати розрахунки і побудову координованого регулювання, реалізуючи графоаналітичний метод в формалізованому вигляді.

Алгоритми забезпечують автоматизацію всього комплексу операцій розрахунку режимів світлофорного регулювання від стадії введення даних до отримання циклограм світлофорних об'єктів.

Спрогнозовані витрати на виконання науково-дослідної роботи по вдосконаленню светофорного регулювання. Загальні витрати становлять 250383,89 грн.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даному розділі розглядається зона поточного ремонту. Для даної зони характерні такі умови роботи.

На робітників можуть впливати шкідливі та небезпечні виробничі фактори. До них належать:

- системи, які знаходяться під тиском, не рівним атмосферному (компресори – підвищений тиск 10 бар.);
- підвищений рівень вібрації і шуму (за рахунок роботи компресора, підйомників та іншого обладнання);
- психофізіологічні: фізичні перевантаження, нервово-психічні перевантаження (монотонність роботи, емоційні перевантаження).

Організація та проведення робіт в зоні поточного ремонту, розташування та експлуатація устаткування повинні відповідати Правилам з техніки безпеки і виробничої санітарії, а також ДНАОП 0.00-1.28-97). Енергетичні витрати робітника незначні – до 100 ккал/год.

Освітлення природне бокове та штучне комбіноване.

Напруга живлення обладнання 380/220 В.

Використовується природна вентиляція та механічна приточно-витяжна система.

Робота здійснюється в 2 зміни.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочого місця

Виробничі приміщення для технологічного процесу повинні відповідати вимогам. Об'єм виробничого приміщення на одного працюючого повинен бути не менше 15 м³, а площа – не менше 4,5 м².

Вимога до зони поточного ремонту:

а) приміщення повинно бути з щільними непротікаючими стелями. Підлоги варто робити не пильними. Стіни – покриття олійною фарбою світлих тонів. Комунікації бажано робити схованими чи офарблювати олійною фарбою.

б) приміщення повинно бути обладнане загальною приточно-витяжною вентиляцією. Повітрозбірники приточної вентиляції повинні бути постачені пиловловлюючими фільтрами.

в) загальне висвітлення бажано здійснювати газорозрядними лампами. Освітленість не менше 3000 лк.

г) установка устаткування, меблів, у тому числі і робочих столів повинна дозволяти проведення вологого прибирання приміщення не рідше 3-х раз у тиждень.

На ділянці є аптечка першої медичної допомоги, умивальник для миття рук.

До роботи повинний допускатися обслуговуючий персонал, що добре знає технологічний процес, пройшов підготовку за правилами експлуатації обладнання, правилами техніки безпеки і гігієни.

Вентиляція, що відсмоктує, повинна бути постачена пиловловлюючим фільтром. Необхідно стежити за своєчасним очищенням пиловловлюючого фільтра.

Робоче приміщення, у яких виробляється обробка чи деталей вакуумних судин із застосуванням бензину, спирту, ацетону повинні бути знеструмлені.

Особи, відповідальні за роботу обладнання, повинні знати, що його включення категорично забороняється:

- а) при несправній системі блокувань;
- б) зі знятими захисними кожухами на механізмі обертання;
- в) при несправній системі електроживлення;
- г) при несправній системі водоохолодження.

Для забезпечення умов безпеки роботи і для запобігання неправильних дій обслуговуючого персоналу, що можуть привести до аварії і виходу з ладу устаткування, передбачені блокування.

Додаткові заходи безпеки при роботі з конкретними матеріалами повинні бути зазначені у відповідних технологічних інструкціях.

Кожен споживач зобов'язаний (у залежності від конкретних умов) розробити свою інструкцію з техніки безпеки.

4.1.2 Електробезпека

За ступінню електробезпеки зони поточного ремонту відноситься до категорії особливо небезпечних умов по ураженню людей електричним струмом, так як в цьому відділенні присутні такі небезпечні фактори: струмопровідна підлога, струмопровідний пил, можливість одночасного дотику до корпусів обладнання та заземлених частин.

Для захисту від ураження електрострумом обираємо такі засоби: занулення, подвійна ізоляція.

Занулення – навмисне електричне з'єднання з нульовим проводом металевих не струмонесучих частин, які можуть опинитися під напругою.

При зануленні провідники мають бути вибрані таким чином, що при замиканні на корпус виникає струм короткого замикання, що забезпечує вимикання автомата чи плавлення плавкої вставки – запобіжника.

Подвійна ізоляція – електроізоляція, що складається з двох частин: робочої і додаткової ізоляції.

Корпус будь-якої електроустановки необхідно заземлювати. Послідовне включення в провідник, що заземлює, декілька апаратів, забороняється.

4.1.3 Промислова безпека об'єктів з підвищеною небезпекою

Роботи повинні проводитися у відповідності з типовими правилами пожежної безпеки для промислових підприємств.

Категорії виробництв по пожежній небезпеці варто приймати по спеціальних відомчих переліках, затверджених міністерствами у встановленому порядку згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Зона поточного ремонту відносяться до категорії Г виробництв по пожежній і вибуховій небезпеці. Кількість вогнегасників і інших первинних засобів пожежегасіння для таких цехів і дільниць повинне вибиратися відповідно до зазначених вище типовими правилами.

Приміщення, у яких виконуються роботи, повинні бути побудовані з елементів конструкцій по IV категорії протипожежної безпеки (протипожежна стійкість не менше 2 годин).

Місця, відведені для установки устаткування, повинні бути очищені від легкозаймистих матеріалів у радіусі не менше 5 м.

Таблиця 4.1 – Ступінь вогнестійкості, допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі

Категорія будівлі	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного відсіку		
			Одноповерхови х	Багатоповерхови х	
				2	3 і більше
Г	6	Не обмеж.	Не обмеж.	Не обмеж.	Не обмеж.

Таблиця 4.10 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у год.) і максимальні межі розповсюдження полум'я по них (у см) для даного ступеня вогнестійкості будівель

Ступінь вогнестійкості	Стіни				Колони	Східчасті площадки і клітки, косоури	Плити, настили, інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі				Плити, настили	Балки, ферми, рами
Па	1/0	0,5/0	0,25/40	0,25/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0

У чисельнику – межі вогнестійкості будівельних конструкцій, у знаменнику – межі розповсюдження полум'я по них.

Найбільш прийнятним способом пожежегасіння для зони поточного ремонту є спосіб розбавлення. Він полягає у тому, що при концентрації кисню у повітрі до 14-18% горіння припиняється. Досягається це за рахунок введення в повітря інертних газів, головним чином вуглекислого. Вуглекислим газом можна гасити все, включаючи електроустановки, що знаходяться під напругою. Для пожежегасіння використовують рідку вуглекислоту. В якості ручних вуглекислотних вогнегасників застосовуються ОУ-2, ОУ-5 та ОУ-8.

За рекомендаціями технічних вимог з експлуатації в приміщеннях, де відбуваються роботи, необхідно мати вогнегасники ОУ-5 в кількості не менше 4 шт.

Відстань до евакуаційних виходів для категорії приміщень Г та III ступеня вогнестійкості не обмежується густиною людського потоку в загальному проході. Ширина шляхів евакуації у світлі повинно бути не менше 1 м, дверей – не менше 0,8 м. Висота проходу на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат нормується відповідно до норм ГОСТ 12.1.005-88 в залежності від категорії робіт та періоду року, від того, постійне чи непостійне робоче місце. Мікроклімат характеризується наступними показниками: T – температура повітря, °С; I – відносна вологість повітря, %; V – інтенсивність теплового опромінення, Вт/м²; v – швидкість руху повітря, м/с. Параметри мікроклімату наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура					Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		Оптимальна	Допустима верхня		Допустима нижня		Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
			Пост. роб. місце	Непост. роб. місце	Пост. роб. місце	Непост. роб. місце				
Холодний	Пб	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	≥0,4
Теплий	Пб	20-22	27	29	16	15	40-60	70 при 25 °С	0,3	0,2-0,5

Категорія робіт Пб – енерговитрати 200-250 ккал/год (233-290 Вт).
 Норми інтенсивності теплового опромінення беремо з ГОСТ 12.1.005-88 (таблиця 4.3)

Таблиця 4.3 – Норми інтенсивності теплового опромінення

Відсоток опромінення поверх тіла людини	> 50	25-50	<25
Допустима інтенсивність теплового опромінення, Вт/м ²	35	70	100

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинна перевищувати встановлених норм.

Для вилучення шкідливих викидів від місць їх виникнення необхідно встановити місцеві відсмоктувачі. Аварійна вентиляція повинна забезпечувати кратність повітрообміну не нижче загальнообмінної. Забороняється працювати у виробничих приміщеннях, де виділяються шкідливі речовини при несправній або відключеній вентиляції.

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони приведені в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 – Гранично допустима концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки	Агрегатний стан
Бензин-розчинник	100	4	П
Окис титану	12	A	A
Сірчана кислота	0,01	1	A
Свинець	600	4	П

Кількість повітря, необхідного для розчинення шкідливих аерозолів до ГДК повинна бути не менше 38700 м³/кг при швидкості руху створюваного місцевими витягами $\geq 1,3$ м/с. В зоні поточного ремонту використовується приточно-витяжні системи вентиляції й місцеві витяги. Повітропроводи

повинні систематично очищатися від пилу, щоб кількість зваженого в повітрі й осілого пилу не могли створити вибухонебезпечні повітряні суміші в об'ємі більш 1% від об'єму приміщення.

Розрахунок бортового відсмоктувача

Бортовий відсмоктувач застосовується для відсмоктування шкідливих випарів з поверхні ванни для попередньої обробки деталей перед ремонтом.

Витрата повітря, що видаляється відсмоктувачем, визначають по формулах, м³/год:

1) без піддува

$$L = 1400 \left(0,53 \frac{B_p l}{B_p + l} + H_p \right)^{\frac{1}{3}} B_p l K_1 K_{\Delta t} K_T, \quad (4.1)$$

де $B_p = 0,2$ м – розрахункова ширина ванни;

$l = 0,45$ м – довжина ванни;

$H_p = 0,09$ м – розрахункова відстань від дзеркала електроліту до осі щілини;

K_1 – коефіцієнт обліку конструкції відсмоктувача, прийнятий рівним: 1 – для відсмоктувача з піддувом, 1,8 – для відсмоктувача без піддува;

$K_{\Delta t}$ – коефіцієнт врахування температури електроліту: з піддувом – 1,03, без піддува – 1;

K_T – коефіцієнт врахування токсичності шкідливих речовин, що виділяються з поверхні розчину у ванні, прийнятий для відсмоктувачів без піддува – 1,6, для відсмоктувача з піддувом у всіх випадках $K_T = 1$.

$$L = 1400 \left(0,53 \frac{0,2 \cdot 0,45}{0,2 + 0,45} + 0,09 \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 0,2 \cdot 0,45 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1,46 = 198 \text{ м}^3 / \text{год}$$

2) з піддувом

$$L = 1200V_p^{3/2} l K_1 K_{\Delta t} K_T, \quad (4.2)$$

$$L = 1200 \cdot 0,2^{3/2} \cdot 0,45 \cdot 1 \cdot 1,03 \cdot 1 = 50 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Витрата повітря на піддув, м³/год:

$$L_{\Pi} = 60V_p l K_{\Delta t}, \quad (4.3)$$

$$L_{\Pi} = 60 \cdot 0,2 \cdot 0,45 \cdot 1,03 = 5,56 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Потужність встановленого електродвигуна з вентилятором достатня.

Виробничі приміщення повинні бути обладнані опаленням.

Для обігріву і створення у приміщеннях показників мікроклімату повинно застосовуватись опалення. Передбачається парова система опалення, яка повинна забезпечувати рівномірне прогрівання повітря в приміщеннях, можливість місцевого регулювання або вимикання, зручність у експлуатації і доступ до ремонту.

4.2.3 Виробниче освітлення

Освітлення здійснюється природним та штучним освітленням. Коефіцієнт освітленості нормується з врахуванням найменшого розміру об'єкта розрізнення, характеристики зорової роботи, системи освітлення фону і контрасту об'єкта з фоном відповідно до СНіП II-4-79.

У діючих нормах проектування виробничого освітлення задаються кількісні (розмір мінімальної освітленості) і якісні характеристики (показник

осліпленості і дискомфорту, глибина пульсації освітленості) штучного освітлення.

Таблиця 4.5 – Вибір коефіцієнта сонячності клімату

Пояс світлового клімату	Коефіцієнт сонячності клімату		
	При світлових проїмах, що орієнтуються по сторонах горизонту (азимут, град)		
	136-225	226-315, 46-135	316-45
IV 50 с.ш.	0,7	0,75	0,95

Таблиця 4.6 – Параметри штучного та природного освітлення

Характеристики зорової роботи	Найменший розмір розрізн. об'єкта, мм	Розряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізно з фоном	Характеристика фона	Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення	
					Освітленість, лк		КЕОН, %		КЕОН, %	
					При комбінованому освітленні	При верхньому освітленні	При верхньому	При боковому	При верхньому	При боковому
Високої точності	0,3-0,5	II	Середній	Малий	1000	300	5	2	2,3	0,7-1,2

Природне освітлення регламентується нормами.

Коефіцієнт природної освітленості $e_{iv} = 0,35$

Для загального освітлення в системі комбінованого освітлення необхідно встановити газорозрядні лампи, освітленість яких складає близько 300 лк.

4.2.4 Виробничий шум

В зоні поточного ремонту джерелами шуму є працюючі двигуни технологічного обладнання, поршневі компресор та пневмогайковерти.

Допустимі рівні звукового тиску у відповідності до СНіП 3223-85 наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Рівні звукового тиску

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньгеометричними частотами Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку в дБ (А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виконання всіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях і на території	107	95	87	82	78	78	75	73	71	80

До організаційно-технічних засобів і методів колективного захисту відноситься: застосування малощумного технологічного процесу, оснащення шумних агрегатів засобами дистанційного керування й автоматичного контролю, застосування малощумних агрегатів, удосконалювання технології ремонту і обслуговування, використання раціональних режимів праці і відпочинку робітників.

4.2.5 Виробничі вібрації

При роботі на дільниці працюючий може піддаватися дії вібрації від поршневого компресора та пневмопістолета. Загальна вібрація викликає струс всього організму, місцева – окремі частини тіла. Локальній вібрації піддаються працюючі з ручним електричним інструментом. Працюючий може піддаватися одночасно впливу загальної і локальної вібрації (“комбінована вібрація”). Для попередження негативного впливу вібрацій на працюючих допускаються такі граничні величини відповідно ГОСТ 12.1012-90, які наведені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.8 – Категорії вібрацій

Категорія вібрації по санітарним нормам, критерій оцінки	Характеристика умов праці	Приклад джерел вібрацій
Тип “а” Границя зниження рівня виробничої праці	Технологічна вібрація діє на операторів стаціонарних машин і обладнання або на робочі місця від інших джерел вібрації	Верстати, електричні машини, насосні агрегати, вентилятори

Таблиця 4.9 - Характеристика вібрацій

Вид вібрації	Категорія вібрації	Напрямок дії	Нормативне коректування по частоті і еквівалентне коректування значень			
			Віброприскорення		Віброшвидкість	
			м/с ²	дБ	м/с ² ·10 ⁻²	дБ
Локальна	-	Хл, Ул, Зл	2,0	126	2,0	112
Загальна	3 тип “а”	Z ₀ , Y ₀ , X ₀	0,1	100	0,2	92

Для зменшення впливу вібрації від поршневого компресора необхідно його встановити на вібро-ізолюючих опорах та розмістити його якомога далі від робочих місць робітників.

4.3 Висновки до розділу 4

В даному розділі було описано необхідні заходи щодо забезпечення потрібного рівня безпеки роботи в зоні поточного ремонту.

Було детально розглянуто питання щодо здійснення заходів та забезпечення необхідного рівня безпеки праці. Було визначено рівень освітлення і вимоги щодо нього, рівень вібрації і заходів щодо його зменшення, стан з пожежебезпекою на підприємстві, встановлено вимоги щодо вентиляції та опалення, організаційно-технічні заходи щодо зменшення виробничого шуму.

Було встановлено, згідно розрахунків, необхідну потужність для бортового відсмоктувача шкідливих випарів та встановлено, що його потужність є достатньою.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі отримані такі основні результати:

1. Проведено аналіз існуючих методів синтезу структури циклу світлофорного регулювання та визначено потребу у корекції і зміні загальних підходів до реалізації. Покращено спосіб розрахунку режимів світлофорної сигналізації, який дає змогу автоматизувати процес з'ясування параметрів світлофорного режиму на різних перехрестях.

2. Запропонований алгоритм визначення схем руху транспортних засобів та пішоходів за допомогою якого можна зобразити усі характеристики, що необхідні для комп'ютерної обробки для визначення оптимального режиму світлофорного керування у формальному вигляді.

3. Розроблені принципи оптимізації структури циклу обслуговування напрямків регулювання, на основі графу, що базується на матриці формалізації руху на перехресті, а порядок чергування напрямків, який характеризує найменшу тривалість циклу визначається розв'язанням задачі комівояжера. Встановлено найкращу структуру світлофорного циклу, покращено метод визначення тривалостей перехідних інтервалів, що в свою чергу зменшує тривалість часових проміжків між світлофорними сигналами.

4. Спрогнозовані витрати на виконання науково-дослідної роботи по вдосконаленню светофорного регулювання. Загальні витрати становлять 250383,89 грн.

5. Описано необхідні заходи щодо забезпечення охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Галушак О.О. Підвищення гальмівної ефективності транспортних засобів КП «Вінницька транспортна компанія» вдосконаленням роботи антиблокувальної системи // О.О. Галушак, В.Л. Щербатюк / L Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту. – ВНТУ, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12443/10387>
2. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: Учеб. пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.
3. ОДМ 218.6.003–2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. / Москва: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. – 69 с.
4. Кременец Ю. А. Инженерные расчеты в регулировании движением / Ю.А. Кременец, М. П. Печерский. – М.: Высш. школа. – 1977. – 220с.
5. Полозенко П. М. Комплексна оцінка режимів світлофорного регулювання на перехрестях : дис. – ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22. 01 «Транспортні системи» / П.М. Полозенко, 1999. – 160 с.
6. Прокудін Г.С. Оптимізація структур циклів світлофорного регулювання на ізольованих перехрестях / Г.С. Прокудін, Б.М. Четверухін, Л.А. Пономаренко // Безпека дорожнього руху України, № 1–2 (17), вид. НДЦ БДР МВС України, 2004. – С. 120–128.
7. Руководство по регулированию дорожного движения в городах. – Моск-ва.: Стройиздат, 1974. – 99 с.
8. Кристофидес Н. Теория графов. алгоритмический подход / Н. Кристофидес. – М. – Мир, 1978. – 432 с.
9. Грибков М. А. Вычислительный подход к решению задачи о поиске максимальной клики / М.А. Грибков, А. В. Алексеевский, С. А. Спирин

//Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2006. – Т. 25. – С. 185–192.

10. Сайт Государственного казенного учреждения города Москвы Центра организации дорожного движения Правительства Москвы. – Режим доступа: <http://www.gucodd.ru>.

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

12. Kim W. Improved transit signal priority system for networks with nearside bus stops / W. Kim, L. Rilett //Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2005. – Т. 1925. – №. 1. – С. 205–214.

13. Abrams C. Selection of Pedestrian Signal Phasing / C. Abrams //Transportation Research Record. – 1977. – №. 629.

14. Guo H. Reliability analysis of pedestrian safety crossing in urban traffic environment / H. Guo // Safety Science. – 2012. – Vol. 50, Issue 4. – P. 968–973. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.12.027>

15. Noland R. Pedestrian travel times and motor vehicle traffic signals / R. Noland //Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 1996. – Т. 1553. – №. 1. – С. 28–33. <http://dx.doi.org/10.3141/1553-04>.

16. Методические рекомендации по регулированию пешеходного движения. – Москва.: ВНИИБД МВД СССР, 1977. – 55 с.

17. Кухаренок Г. М. Применение многофункциональных дополнительных секций светофоров / Г. М. Кухаренок, В. Ю. Карпилович, Е. Н. Пустовойт //Научно–технический сборник. Коммунальное хозяйство городов. – 2006. – С. 233–244.

18. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 254 с.

19. Самойлов Д. С. Организация и безопасность городского движения: Учебник для вузов / Д. С. Самойлов, В. А. Юдин, П.В. Рушевский. –М: Высшая школа, 1981. – 10с.

20. Страментов В.Г. Городской транспорт и организация движения / А.Е. Страментов, В.Г. Сосянц, М. С. Фишельсон. – М.: Изд-во Министерства коммунал. хоз-ва РСФСР. – 1960. – 352 с.

21. Капитанов В.Т. Расчет параметров светофорного регулирования. Научно-практическое пособие / В.Т. Капитанов. – М.: МВД СССР ВНИИБДД., 1981, – 95 с.

22. Повышение эффективности организации дорожного движения на регулируемых пересечениях А.Г. Левашев, А.Ю Михайлов //Материалы XI между-народной (четырнадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции. – Режим доступа: http://towntraffic.narod.ru/Russian/Streets_net/2005/lev.htm

23. Кузькін О.Ф. Пошук шляхів у маршрутних мережах міст методом відгалужень і меж / О.Ф. Кузькін. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/29538/1/32.pdf>

24. Гордиенко Н.А. Комплексные числа и их приложение к решению уравнений 3-й и 4-й степени. Учебное пособие для студентов физико-математического факультета / сост.: Гордиенко Н.А. – Воронежский госпедуниверситет, 2010. – 92 с.

25. Рейцен Е. А. Оптимизация цикла работы светофора с использованием методов линейного программирования / Е. А. Рейцен, А. Г. Богданов // Містобудування та терит. планув. – 2003. – № 14. – С. 143–151.

26. Правила дорожнього руху України. – Введ. 2001–10–10. – К.: Моноліт, 2002. – 57 с.

27. Инструкция по пользованию Программой конфигурирования Дорожного контроллера “СИМВОЛ–01”. – Запорожье. – 2001. – 62 с.

28. Трушевський В.Е. Формалізація відпрацювання переходів між режимом жовтого миготіння та основними програми світлофорного регулювання / С.В. Грицай, В.Е. Трушевський // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 2 (53). – С. 36–40.

29. Трушевський В.Е. Оцінки змін та пропозиції щодо вдосконалення нормативних актів України в галузі безпеки дорожнього руху / В.Е. Трушевський // Матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми підвищення рівню безпеки, комфорту та культури дорожнього руху». – Харків. – ФОП Попов, 2013. – С. 72–73.

30. Рейцен Е. А. Оптимизация цикла работы светофора с использованием методов линейного программирования / Е. А. Рейцен, А. Г. Богданов // Місто-будування та терит. планув. – 2003. – № 14. – С. 143–151.

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

32. Рейцен Е.А. Задержки транспорта в городах, как экономический фактор / Е.А.Рейцен, А.Ю.Васильева // Градостроительство и территориальное планирование. №9. Киев, 2001. С.229–23

33. Руководство по регулированию дорожного движения в городах. – Москва.: Стройиздат, 1974. – 99 с.

34. Сайт Государственного казенного учреждения города Москвы Центра организации дорожного движения Правительства Москвы. – Режим доступа: <http://www.gucodd.ru>.

35. Славич В.П. Модель автоматизованої системи управління потоками транспортних засобів / В.П. Славич // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні системи та комплекси. – 2008. – № 1(21). – С. 20–23.

36. Полищук В. П. Проектирование автоматизированных систем управления движением на автомобильных дорогах / В.П. Полищук. – К.: КАДИ, 1983. – 362 с.

37. Полищук В.П. Проектирование автоматизированных систем управления дорожным движением на автомобильных дорогах / В.П. Полищук. – К.: КА-ДИ, 1983. – 95 с.

38. Полищук В.П. Автоматизированное управление дорожным движением на автомобильных дорогах: Автореферат дис. д-ра техн. наук: 05.22.01 / Укр. трансп. ун-т. – К., 1996. – 41 с.

39. Поліщук В.П. Організація та регулювання дорожнього руху: Підручник. / за заг. ред. В.П. Поліщука; О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В.І. Єресов, О.В. Красільнікова, О.В. Христенко. – К.: Знання України, 2012. – 467 с.

40. Клибавичус А.Ю. Координированное регулирование светофоров в ре-альном времени в условиях перенасыщения потоков А.Ю. Клибавичус // Материалы XI международной (четырнадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции. – Режим доступа: http://towntraffic.narod.ru/Russian/Streets_net/2005/kli.htm

41. Кот Е.Н. Исследование взаимодействия конфликтующих пешеходных и поворотных транспортных потоков методом конфликтных ситуаций / Е.Н. Кот. – Режим доступа: <http://towntraffic.narod.ru/Russian/2006/II/kol.htm>

43. Живоглядов В.Г. Методология повышения эффективности управления дорожным движением / В.Г. Живоглядов // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Армавир, 2008,– 350 с.



ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри АТМ
д.т.н., проф. В.А. Макаров

« » _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
на тему: Розробка комплексної системи підвищення безпеки
експлуатації автомобілів на прикладі комунальної установи
«Авторемонтна база закладів охорони здоров'я» м. Вінниця
08-29.МКР.209.00.000.ТЗ

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

_____ Галушак О.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Студент групи _____ ІТТ-19мз
назва групи

_____ Щербатюк В. Л.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Вінниця – 2021 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

наказ № 64 по ВНТУ від «09» березня 2021 р. про затвердження теми МКР.

2. Мета і призначення магістерської кваліфікаційної роботи

Магістерська кваліфікаційна роботи призначена для вирішення питань підвищення безпеки руху на автомобільному транспорті.

Мета роботи: підвищення ефективності світлофорного регулювання та визначення параметрів світлофорного режиму за умови утворення цілісної структури світлофорного циклу.

Для виконання МКР необхідно розв'язати такі задачі:

- аналіз методів управління світлофорами на автомобільних перехрестях;
- розглянути сучасні методи поєднання структури циклу світлофорного настроювання та визначення його складових;
- визначити оптимальну структуру та елементи циклу при управлінні транспортними потоками за окремими напрямками;
- синтез структури світлофорного циклу;
- розробити послідовність для визначення управляючих параметрів світлофорного регулювання на базі вихідних даних.

3. Вихідні дані для написання магістерської кваліфікаційної роботи

Законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; цикли світлофорного настроювання; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

4. Виконавець МКР – Щербатюк Валентин Леонідович, ст. гр. 1ТТ-19мз.

5. Вимоги до виконання МКР

В процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи потрібно – формалізувати схеми руху на перехресті; визначити перехідні інтервали;

визначити зв'язок між основними тактами та перехідними інтервалами; сформувати структури світлофорного циклу та режиму регулювання; визначити вплив на структуру світлофорного циклу пішохідних нарядків руху; удосконалити алгоритм визначення параметрів регулювання транспортних потоків; розрахувати режими координованого регулювання транспортних потоків та розробити заходи щодо забезпечення необхідного рівня охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях при виконанні наукових досліджень.

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 	10.03-14.03.2021	розгорнутий план МКР
Основна частина роботи	<ul style="list-style-type: none"> Аналіз методів управління світлофорами на автомобільних перехрестях 	15.03-28.03.2021	Розділ 1
	<ul style="list-style-type: none"> Формування режимів та структури циклу світлофорного регулювання 	29.03-18.04.2021	Розділ 2
	<ul style="list-style-type: none"> Удосконалення автоматизованого проектування режимів світлофорного регулювання 	19.04-07.05.2021	Розділ 3
	<ul style="list-style-type: none"> Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях 	26.04-25.05.2021	Розділ 4
	<ul style="list-style-type: none"> Складання висновків за результатами досліджень 	20.05-25.05.2021	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 	25.05-28.05.2021	Ілюстративний матеріал, презентація

7. Очікувані результати

На основі одержаних наукових результатів отримати вдосконалений спосіб розрахунку режимів світлофорної сигналізації та провести розрахунок режимів координованого регулювання транспортних потоків м. Вінниця.

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

Переплетена пояснювальна записка магістерської кваліфікаційної роботи; графічний матеріал, відгук керівника; рецензія зовнішнього рецензента.

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 – 10 березня 2021 р.

Граничний термін закінчення робіт – 28 травня 2021 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра АТМ

ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО
РУХУ УДОСКОНАЛЕННЯМ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ
(НА ПРИКЛАДІ МІСТА ВІННИЦІ)**

зі спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами)
за спеціалізацією 275.03 – Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)

Керівник роботи к.т.н., ст. викл.
Розробив студент гр. 1ТТ-19мз

Галушак О.О.
Щербатюк В. Л.

Вінниця ВНТУ 2021

Мета і завдання дослідження

Мета роботи – підвищення ефективності світлофорного регулювання та визначення параметрів світлофорного режиму за умови утворення цілісної структури світлофорного циклу.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- проаналізувати методи управління світлофорами на автомобільних перехрестях;
- розглянути сучасні методи поєднання структури циклу світлофорного настроювання та визначення його складових;
- визначити оптимальну структуру та елементи циклу при управлінні транспортними потоками за окремими напрямками;
- синтез структури світлофорного циклу;
- розробити послідовність для визначення управляючих параметрів світлофорного регулювання на базі вихідних даних.

Об'єкт дослідження – рух транспортних і пішохідних потоків на регульованих перехрестях.

Предмет дослідження – параметрами світлофорного регулювання на перехрестях.

Наукова новизна:

- Вдосконалено алгоритми управління світлофорною сигналізацією на перехресті при організації руху транспортних та пішохідних потоків за окремими напрямками з врахуванням оптимальних співвідношень між дозволяючими світлофорними сигналами.

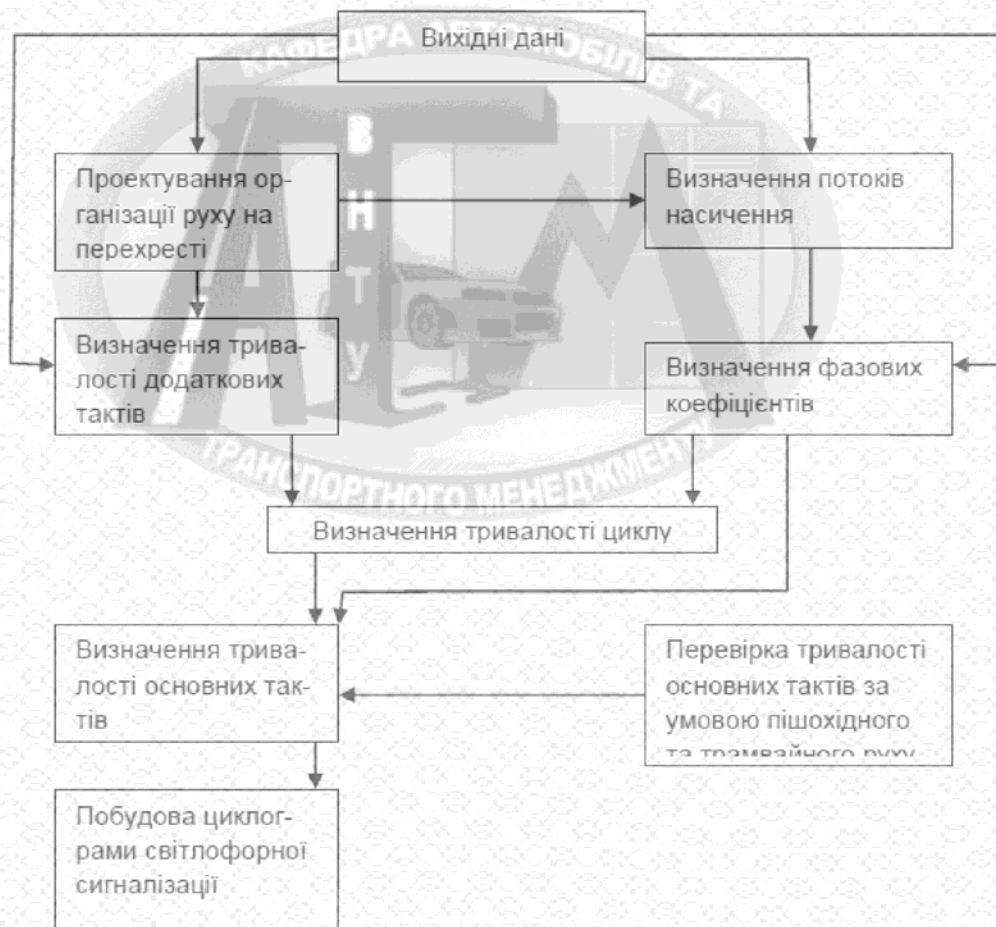
Практичне значення одержаних результатів

Вдосконалено спосіб розрахунку режимів світлофорної сигналізації за певними напрямками.

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПОФАЗНОГО РОЗ'ЇЗДУ

1. Прагнути до мінімального числа фаз у циклі регулювання.
2. Враховувати, що допускається сполучати в одній фазі лівоповоротний потік, що конфліктує з зустрічним потоком прямого напрямку, якщо інтенсивність лівоповоротного потоку не перевищує 120 авт/год.
3. Забезпечувати безконфліктний пропуск пішоходів; у крайньому випадку пішохідний і конфліктує з ними транспортні потоки, що повертають, можна пропускати в одній фазі, якщо інтенсивність пішохідного потоку не перевищує 900 чол/год., а транспортних потоків, що повертають – не перевищують 120 авт/год.
4. Не випускати з однієї і тієї ж смуги транспортні засоби, рух яких передбачено в різних фазах, тобто смуги руху закріплюють за певними фазами.
5. Прагнути до рівномірного завантаження смуг. Інтенсивність руху, у середньому, яка приходить на одну смугу, не має перевищувати 700 авт/год.
6. При широкій проїзній частині і наявності острівців безпеки варто розглядати можливість поетапного переходу пішоходами вулиці протягом двох наступних один за одним фаз регулювання.

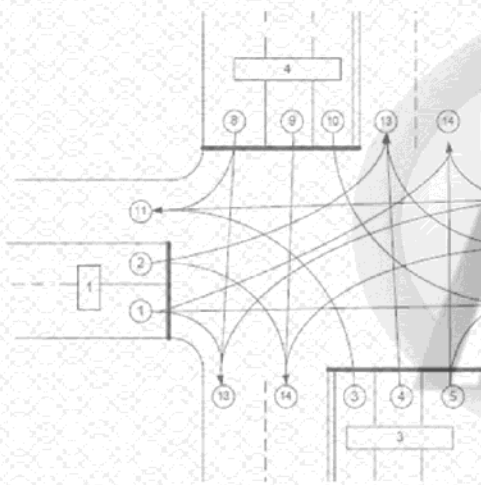
ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ЦИКЛУ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ



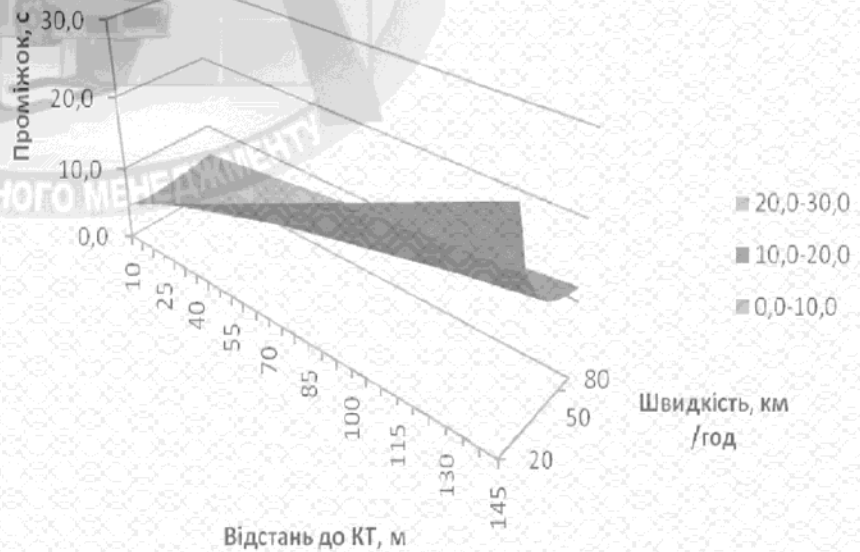
ФОРМАЛІЗАЦІЯ СХЕМИ РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ

6

Схема можливих траєкторій



Графік залежності тривалості мінімального часового проміжку від відстані до конфліктної точки та швидкості руху



Розташування смуг на під'їздах і виїздах у двомірній матриці (приклад)

	1	2	3
1	1	2	
2	6	7	
3	5	4	3
4	8	9	10

ФОРМАЛІЗАЦІЯ СХЕМИ РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ

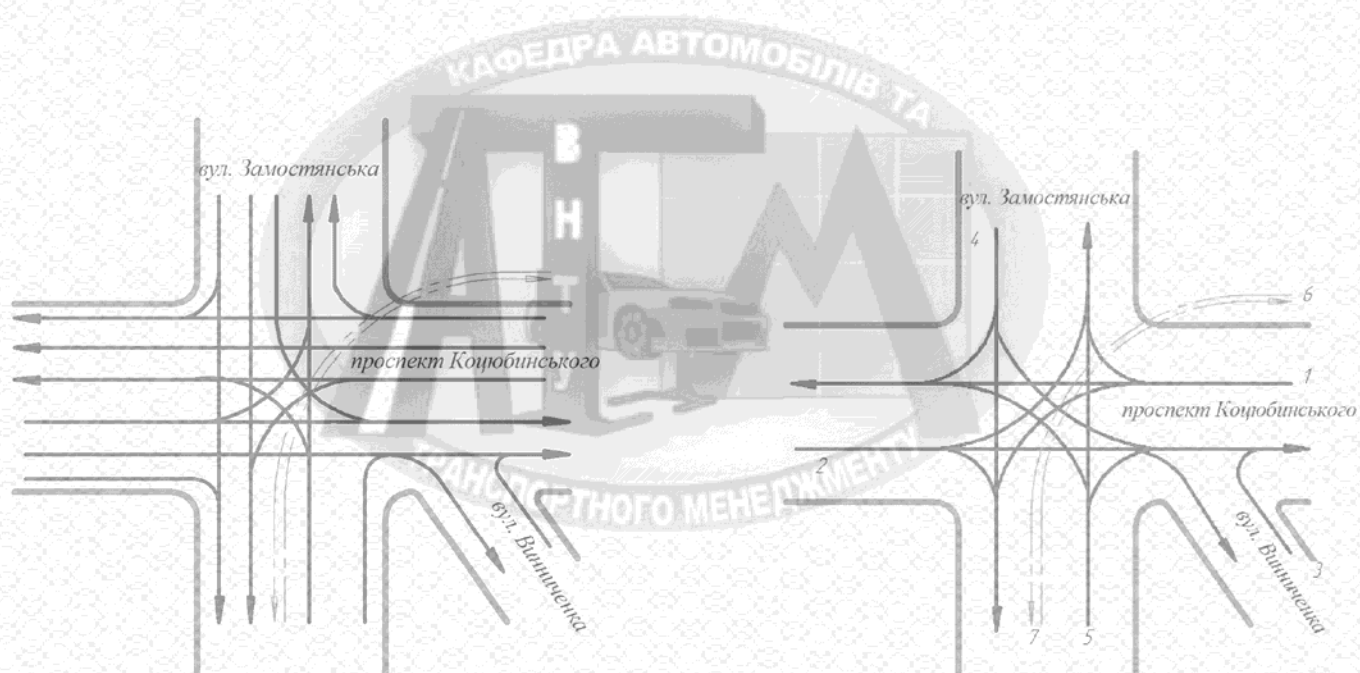


Схема траєкторій (перехрестя вул. Замостянська – проспект Коцюбинського)

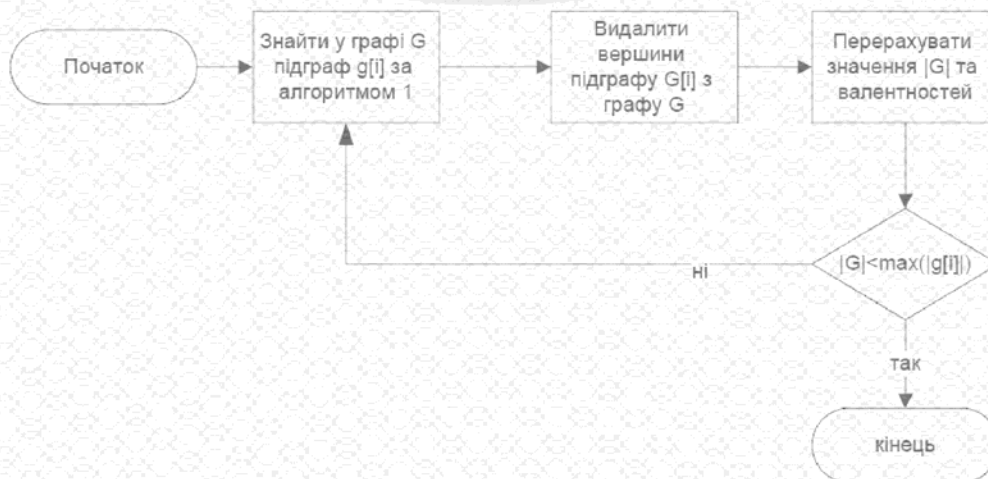
Схема напрямів регулювання (перехрестя вул. Замостянська – проспект Коцюбинського)

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СВІТЛОФОРНОГО ЦИКЛУ ТА РЕЖИМУ РЕГУЛЮВАННЯ

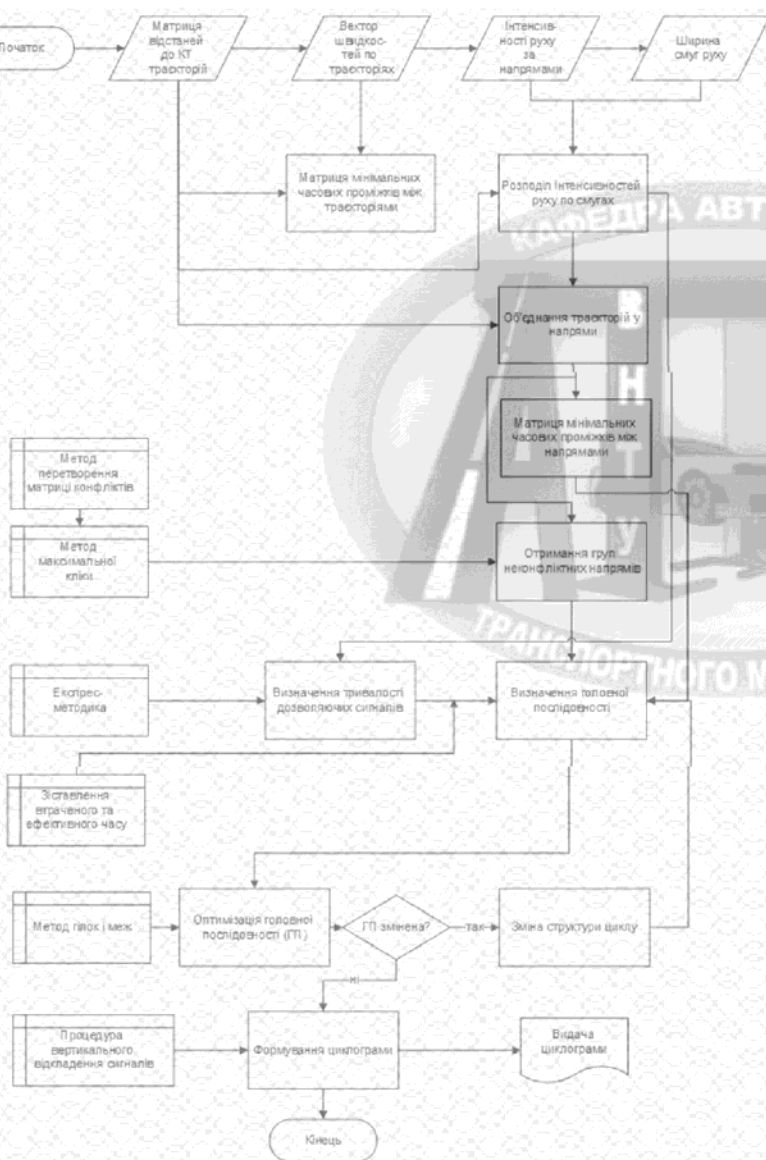
Матриця мінімальних часових проміжків

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	9	10	0	6	7
2	0	0	11	11	7	0	7
3	10	7	0	0	7	9	9
4	7	10	0	0	6	8	6
5	0	7	8	7	0	0	9
6	7	0	10	9	0	0	9
7	12	8	8	9	6	8	0

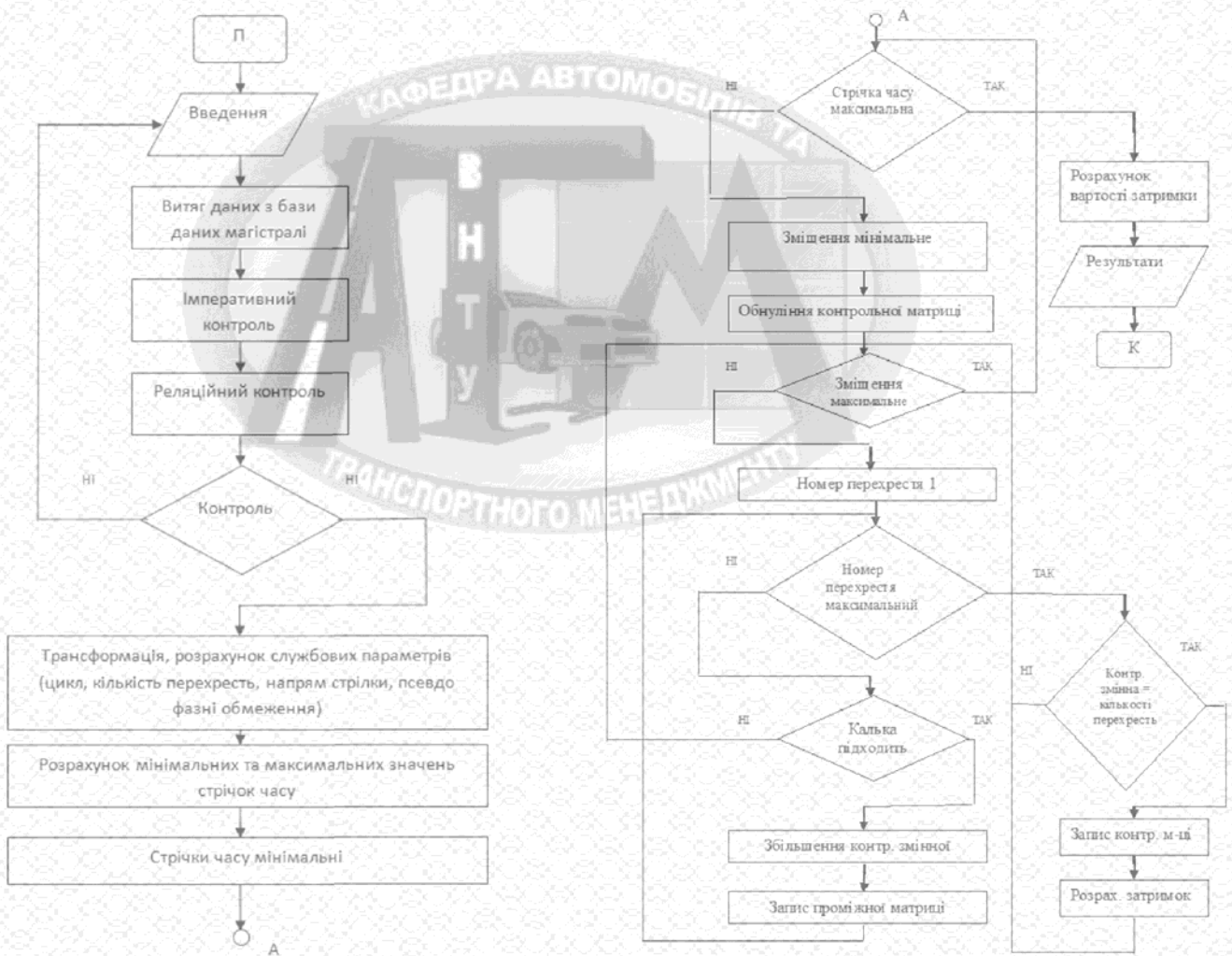
Алгоритм розширеної ітерації з видаленням



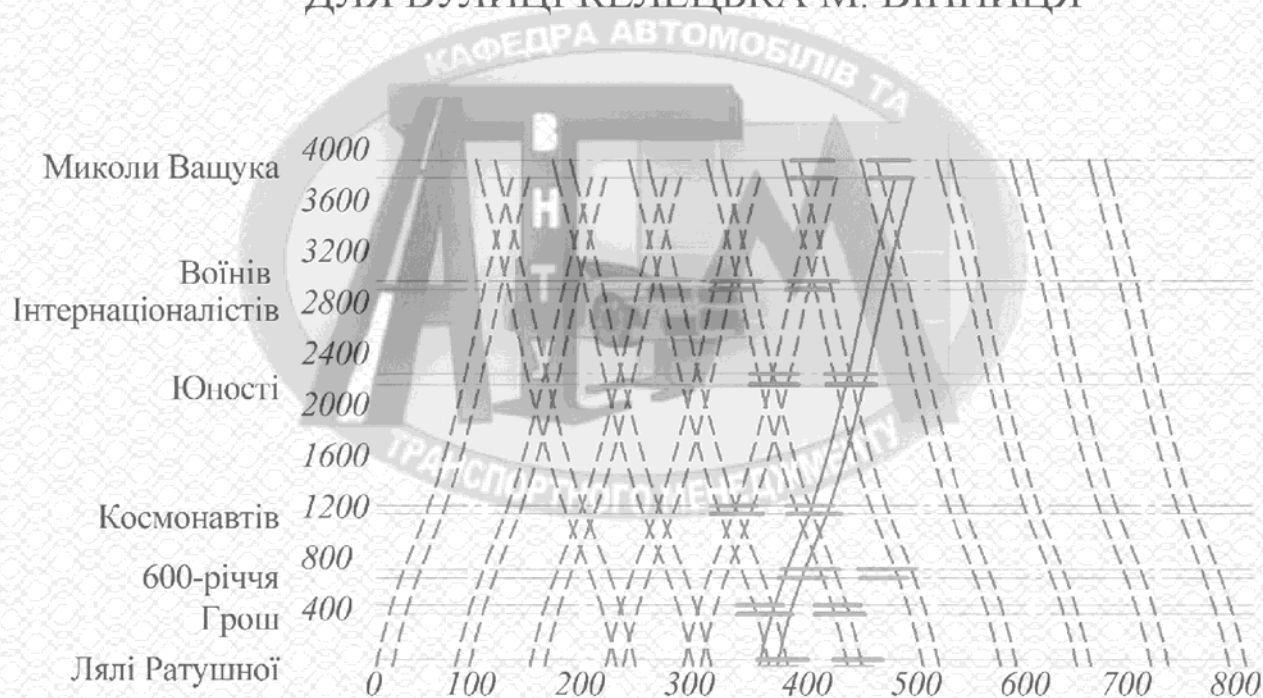
АЛГОРИТМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ



АЛГОРИТМ КООРДИНОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ



ГРАФІК КООРДИНОВАНОГО СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ДЛЯ ВУЛИЦІ КЕЛЕЦЬКА М. ВІННИЦЯ



Прогнозовані загальні витрати на виконання та впровадження результатів науково-дослідної роботи склали 250383,89 грн.

У магістерській роботі отримані такі основні результати:

1. Проведено аналіз існуючих методів синтезу структури циклу світлофорного регулювання та визначено потребу у корекції і зміні загальних підходів до реалізації. Покращено спосіб розрахунку режимів світлофорної сигналізації, який дає змогу автоматизувати процес з'ясування параметрів світлофорного режиму на різних перехрестях.
2. Запропонований алгоритм визначення схем руху транспортних засобів та пішоходів за допомогою якого можна зобразити усі характеристики, що необхідні для комп'ютерної обробки для визначення оптимального режиму світлофорного керування у формальному вигляді.
3. Розроблені принципи оптимізації структури циклу обслуговування напрямків регулювання, на основі графу, що базується на матриці формалізації руху на перехресті, а порядок чергування напрямків, який характеризує найменшу тривалість циклу визначається розв'язанням задачі комівояжера. Встановлено найкращу структуру світлофорного циклу, покращено метод визначення тривалостей перехідних інтервалів, що в свою чергу зменшує тривалість часових проміжків між світлофорними сигналами.
4. Спрогнозовані витрати на виконання науково-дослідної роботи по вдосконаленню світлофорного регулювання. Загальні витрати становлять 250383,89 грн.
5. Описано необхідні заходи щодо забезпечення охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.