

«Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістр

(освітній рівень)

на тему: Напрями вдосконалення транспортних властивостей  
регульованих перехресть вулично-дорожньої мережі міст  
(комплексна тема)

Виконав: студент 6 курсу, групи МНм-61  
спеціальності 275 «Транспортні технології»  
(шифр і назва спеціальності)

Студент

(підпис)

Гнідий Д.А.

(прізвище та ініціали)

Крук С.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дзюра В.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дзюра В.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. каф.

(підпис)

Цьонь О.П.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет *інженерії машин, споруд та технологій*

Кафедра *Автомобілів*

Освітній рівень *Магістр*

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність *275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)*

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри *О.П. Цьонь*

«20» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

*Гнідому Денису Андрійовичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Напрями вдосконалення транспортних властивостей  
регульованих перехресть вулично-дорожньої мережі міст*

керівник проекту (роботи) *Дзюра Володимир Олексійович, д.т.н., проф.*

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

затвержені наказом по університету від «20» листопада 2023 року № 4/7-1070

2. Термін подання студентом проекту (роботи) *грудня 2023 р.*

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_

*Дані системи вантажного транспорту (марка транспортних засобів, тип вантажу, ключові точки маршруту, кількість транспортних засобів).*

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

*1.1 Аналіз стану регульованих перехресть у містах; 1.2 Споживчі властивості ізолюваних регульованих перехресть в Україні та за кордоном та методи їх оцінки*

*2.1 Загальні підходи до теоретичного обґрунтування методики оцінки та підвищення споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть. 2.2 Системний аналіз ізолюваного регульованого перехрестя як підсистеми вулично-дорожньої мережі. 2.3. Формування системи споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть.*

*3.1 Обґрунтування вимог до оцінки закономірностей розподілу величини інтервалів між автомобілями, що роз'їжджаються з ізолюваного регульованого перехрестя.*

*4.1. Охорона праці на підприємствах автотранспортного комплексу. 4.2. Управління охороною праці на підприємстві.*

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Вовк Ю.Я., к.т.н., доц.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>ст. викл. Клепчик В.М.</i>		

7. Дата видачі завдання

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	<i>1.1 Аналіз стану регульованих перехресть у містах;</i>	<i>20.11.2023</i>	
	<i>1.2 Споживчі властивості ізолюваних регульованих перехресть в Україні та за кордоном та методи їх оцінки</i>	<i>25.11.2023</i>	
	<i>2.1 Загальні підходи до теоретичного обґрунтування методики оцінки та підвищення споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть.</i>	<i>27.11.2023</i>	
	<i>2.2 Системний аналіз ізолюваного регульованого перехрестя як підсистеми вулично-дорожньої мережі.</i>	<i>02.12.2023</i>	
	<i>2.3. Формування системи споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть.</i>	<i>04.12.2023</i>	
	<i>3.1 Обґрунтування вимог до оцінки закономірностей розподілу величини інтервалів між автомобілями, що роз'їжджаються з ізолюваного регульованого перехрестя.</i>	<i>11.12.2023</i>	
	<i>4.1. Охорона праці на підприємствах автотранспортного комплексу.</i>	<i>12.12.2023</i>	
	<i>4.2. Управління охороною праці на підприємстві.</i>	<i>15.12.2023</i>	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)Гнідий Д.А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Дзюра В.О.  
\_\_\_\_\_

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет *інженерії машин, споруд та технологій*

Кафедра *Автомобілів*

Освітній рівень *Бакалавр*

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність *275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)*

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри *О.П. Цьонь*

« 11 » *листопада* 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

*Круку Сергію Андрійовичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Напрями вдосконалення транспортних властивостей  
регульованих перехресть вулично-дорожньої мережі міст*

керівник проекту (роботи) *Дзюра Володимир Олексійович, д.т.н., проф.*

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

затверджені наказом по університету від «20» січня 2023 року № 4/7-1070

2. Термін подання студентом проекту (роботи) *грудня 2023 р.*

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_

*Дані системи вантажного транспорту (марка транспортних засобів, тип вантажу, ключові точки маршруту, кількість транспортних засобів).*

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

*1.3 Методи підвищення споживчих властивостей на регульованих перехрестях*

*1.4 Проведені дослідження пропускну здатності обладнаних світлофорами смуг руху*

*автомобільних доріг; 1.5 Мета та завдання кваліфікаційної роботи магістра*

*2.4 Система споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть.*

*2.5 Пріоритетність заходів підвищення споживчих властивостей ізольованих регульованих*

*перехресть та оцінка їх ефективності. 2.6 Визначення переліку параметрів споживчих*

*властивостей, об'єктів та методів для проведення натурних спостережень.*

*3.2 Закономірності впливу геометричних характеристик ІРП та сучасного складу транспортних потоків на споживчі властивості ІРП*

*4.3. Методи і шляхи вирішення завдань управління охороною праці. 4.4. Пожежна безпека*

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Вовк Ю.Я., к.т.н., доц.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>ст. викл. Клепчик В.М.</i>		

7. Дата видачі завдання

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	<i>1.3 Методи підвищення споживчих властивостей на регульованих перехрестях</i>	<i>15.11.2023</i>	
	<i>1.4 Проведені дослідження пропускну́ї здатності обладнаних світлофорами смуг руху автомобільних доріг</i>	<i>25.11.2023</i>	
	<i>1.5 Мета та завдання кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>27.11.2023</i>	
	<i>2.4 Система споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть.</i>	<i>04.12.2023</i>	
	<i>2.5 Пріоритетність заходів підвищення споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть та оцінка їх ефективності.</i>	<i>06.12.2023</i>	
	<i>2.6 Визначення переліку параметрів споживчих властивостей, об'єктів та методів для проведення натурних спостережень.</i>	<i>09.12.2023</i>	
	<i>3.2 Закономірності впливу геометричних характеристик ІРП та сучасного складу транспортних потоків на споживчі властивості ІРП</i>	<i>10.12.2023</i>	
	<i>4.3. Методи і шляхи вирішення завдань управління охороною праці.</i>	<i>11.12.2023</i>	
	<i>4.4. Пожежна безпека</i>	<i>12.12.2022</i>	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Крук С.А.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Дзюра В.О.  
\_\_\_\_\_

## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	7
<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	
1.1 Аналіз стану регульованих перехресть у містах.....	12
1.2 Споживчі властивості ізольованих регульованих перехресть в Україні та за кордоном та методи їх оцінки.....	21
1.2.1 Аналіз оцінюваних споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть.....	21
1.2.2. Оцінка пропускної здатності смуги руху на ізольованому регульованому перехресті.....	24
1.2.3 Порівняння методик оцінки пропускної здатності смуги руху для умовно сумісних потоків у США та ФРН.....	25
1.2.4 Безпека дорожнього руху на регульованому перехресті.....	31
1.2.5 Екологічні споживчі властивості регульованих перехресть.....	34
1.2.6 Економічні споживчі властивості регульованих перехресть.....	36
1.2.7 Комплексні показники споживчих властивостей.....	39
1.3 Методи підвищення споживчих властивостей на регульованих перехрестях.....	47
1.4 Проведені дослідження пропускної здатності обладнаних світлофорами смуг руху автомобільних доріг.....	56
1.5 Мета та завдання кваліфікаційної роботи магістра.....	64
<b>2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ</b>	
2.1 Загальні підходи до теоретичного обґрунтування методики оцінки та підвищення споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть.....	66

2.2 Системний аналіз ізолюваного регульованого перехрестя як підсистеми вулично-дорожньої мережі.....	66
2.3. Формування системи споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть.....	74
2.3.1 Принципи формування системи споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть.....	74
2.3.2 Методика проведення експертної оцінки.....	87
2.3.3. Аналіз результатів експертного опитування визначення системи споживчих властивостей .....	90
2.4 Система споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть...	93
2.5 Пріоритетність заходів підвищення споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть та оцінка їх ефективності.....	96
2.6 Визначення переліку параметрів споживчих властивостей, об'єктів та методів для проведення натурних спостережень.....	100

### **3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ**

3.1 Обґрунтування вимог до оцінки закономірностей розподілу величини інтервалів між автомобілями, що роз'їжджаються з ізолюваного регульованого перехрестя.....	105
3.1.1 Попередня оцінка закономірності розподілу величини інтервалів.....	105
3.1.2 Перевірка закону розподілу часових інтервалів між автомобілями.....	107
3.1.3 Обґрунтування необхідного обсягу вибірки для оцінки математичного очікування .....	110
3.2 Закономірності впливу геометричних характеристик ІРП та сучасного складу транспортних потоків на споживчі властивості ІРП.....	112
3.2.1 Інтервали між автомобілями, що роз'їжджаються з ізолюваного регульованого перехрестя.....	112
3.2.3 Вплив складу транспортних потоків та геометрії смуг руху на пропускну здатність ІРП.....	119

3.2.4 Закономірності зміни потоку насичення залежно від дорожньо-транспортних умов на ІРП.....	121
3.2.5 Вплив величини потоку насичення на споживчі властивості ізолюваного регульованого перехрестя.....	125
<b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	
4.1. Охорона праці на підприємствах автотранспортного комплексу.....	129
4.2. Управління охороною праці на підприємстві.....	134
4.3. Методи і шляхи вирішення завдань управління охороною праці.....	136
4.4. Пожежна безпека.....	137
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....</b>	<b>140</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>142</b>



## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, основних результатів, викладена на 142 сторінках машинописного тексту.

Перший розділ присвячено аналізу методик оцінки та підвищення споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть (ІРП). Наводяться результати проведених досліджень на ІРП, поставлено мету та завдання роботи.

У другому розділі кваліфікаційної роботи проведено теоретичне обґрунтування методики підвищення споживчих властивостей ІРП. Запропоновано систему споживчих властивостей ІРП.

У третьому розділі наводяться результати проведеного дослідження часових інтервалів на регульованих перехрестях в Україні та Німеччини, і навіть їх аналіз. Мета спостережень полягала у визначенні впливу геометрії ІРП на режими руху сучасних транспортних потоків. Також в цьому розділі наведено рекомендації щодо підвищення транспортних споживчих властивостей ізолюваних регульованих перетинів на ВДМ міст на основі використання сучасної моделі потоку насичення. Запропоновано алгоритм підвищення споживчих властивостей ІРП.

Четвертий розділ присвячений охороні праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: перехрестя, вулично-дорожня мережа, властивості, транспортні технології, споживачі.

## ВСТУП

В останнє десятиліття зі зростанням рівня автомобілізації багато міст України та Європи зіткнулися з проблемою заторів та тривалих затримок транспортних засобів на вулично-дорожній мережі (ВДМ). На ВДМ великих міст місцями виникнення таких проблем є, як правило, регульовані перехрестя (РП), що визначають пропускну здатність та інші споживчі властивості вулиць та доріг регульованого руху. Очевидно, що з подальшим зростанням рівня автомобілізації в Україні ці проблеми загострюватимуться, тому одним із завдань транспортної стратегії розвитку України до 2030 р. є усунення «вузьких місць», до яких відносять ізольовані регульовані перехрестя (ІРП), де суттєво змінюються умови, режими та склад транспортних потоків. Наведене вище говорить про необхідність розвитку теорії та практики методів підвищення споживчих властивостей регульованих перехресть.

Значення теоретичної пропускну здатності (потік насичення) смуги руху на РП використовувані нині до було прийнято понад 30 років тому вони.

В інших діючих рекомендаціях значення максимальної практичної пропускну здатності смуги руху значно відрізняються один від одного, так на вулицях регульованого руху відповідно до національних нормативних документів вони дорівнюють 750 - 850 прив.авт/год. - 700 прив.авт./год.

Оцінка пропускну здатності смуг руху на РП істотно впливає прийняття оптимальних рішень як проектування вулиць і доріг регульованого руху, так детального планування РП.

На РП міст України відбувається від 8,8 до 24,4% ДТП (що більше місто, то більше ДТП посідає регульовані перехрестя). Закордонні дані також підтверджують це, так дослідження [14] у Штутгарті (Німеччина) показало, що 58% ДТП припадає на перехрестя, а 21% ДТП на РП, при цьому витрати від ДТП на РП 34% і вище, ніж витрати від ДТП на регульованих. При цьому встановлено, що безпека дорожнього руху багато в чому визначається споживчими властивостями, які приймаються залежно від точності оцінки

пропускної здатності на РП.

У зв'язку з цим вивчення та вдосконалення методів оцінки та підвищення споживчих властивостей ІРП ВДМ міст на основі дослідження сучасних складу та режимів руху транспортних потоків є вельми актуальним.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка рекомендацій щодо оцінки та підвищення транспортних споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть вулично-дорожньої мережі міста на основі врахування впливу геометричних характеристик перетинів та складу руху на режими руху транспортних потоків.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

1. проаналізувати існуючі методи оцінки та підвищення споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть на вулично-дорожній мережі міста;

2. розробити систему споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть, з метою встановлення їх внутрішніх та зовнішніх взаємозв'язків та обґрунтування ефективного методу їх оцінки та розрахунку;

3. виявити та оцінити закономірності впливу геометричних характеристик перетинів та складу сучасних транспортних потоків на споживчі властивості ізолюваних перетинів на вулично-дорожній мережі міста;

4. розробити математичну модель оцінки потоку насичення смуги прямого напрямку руху в залежності від ширини смуги руху та складу транспортного потоку на ІРП;

5. Розробити рекомендації щодо підвищення транспортних споживчих властивостей ізолюваних регульованих перетинів на ВДМ міст на основі математичної моделі оцінки потоку насичення смуги прямого напрямку руху в залежності від ширини смуги руху та складу транспортного потоку.

Основна ідея роботи полягає в уточненні величин потоку насичення для використання в існуючих методах розрахунку циклу та фаз регулювання, а також при оцінці пропускної здатності ІРП здатне суттєво підвищити їх транспортні споживчі властивості.

Об'єктом дослідження є ізольовані регульовані перехрестя.

Предметом дослідження є закономірності, що описують вплив дорожньо-транспортних факторів на споживчі властивості ІРП.

Наукова новизна роботи полягає у розробці наступних теоретико-методологічних та методичних засад підвищення споживчих властивостей РП, що виносяться на захист:

- система споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть;
- математична модель оцінки потоку насичення смуги прямого напрямку руху залежно від ширини смуги руху та складу транспортного потоку ізольованих регульованих перехресть;
- рекомендації щодо підвищення транспортних споживчих властивостей ізольованих регульованих перетинів на ВДМ міст на основі використання вдосконаленої моделі оцінки потоку насичення смуги прямого напрямку руху в залежності від ширини смуги руху та складу транспортного потоку.

***Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає у:***

- у вдосконаленні методики підвищення споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть;
- можливості обґрунтування ширини вулиці регульованого руху (в зоні ІРП) на основі отриманих моделей оцінки величини потоку насичення смуг прямого напрямку руху;
- розроблена система споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть;
- розроблена математична модель впливу ширини смуги руху та складу транспортного потоку на потік насичення смуги прямого напрямку руху ізольованих регульованих перехресть;
- розроблено рекомендації щодо підвищення транспортних споживчих властивостей ізольованих регульованих перетинів на ВДМ міст на основі використання в існуючих методах сучасної моделі потоку насичення з

урахуванням геометричних характеристик перетинів та сучасного складу транспортних потоків.

# 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Аналіз стану регульованих перехресть у містах

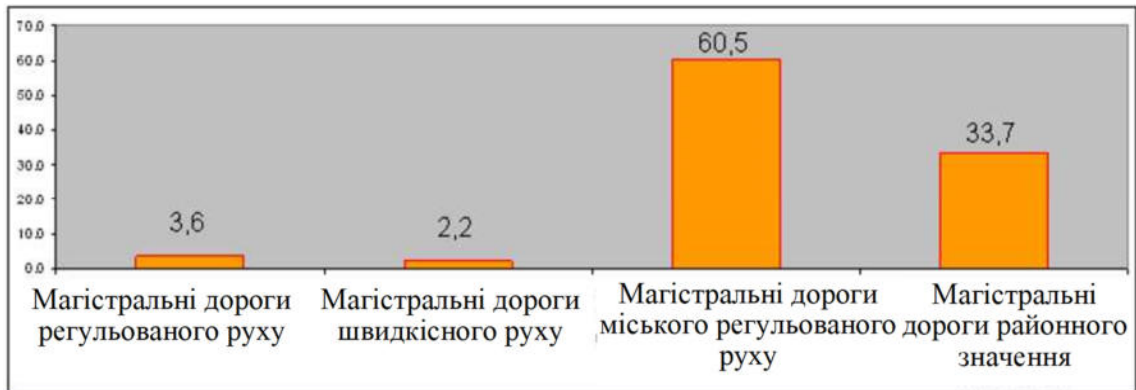
В останнє десятиліття зі зростанням рівня автомобілізації не тільки мегаполіси України такі як Київ і Харків, а й такі міста як Тернопіль, Вінниця, Івано-Франківськ та інші зіткнулися з проблемою заторів та тривалих затримок транспортних засобів на вулично-дорожній мережі (ВДМ). На ВДМ великих міст місцями виникнення таких проблем є, як правило, регульовані перехрестя (РП), що визначають пропускну здатність та інші споживчі властивості вулиць та доріг регульованого руху. Так, наприклад, у Хмельницькому на 68% РП регулярно утворюються затори. Очевидно, що з подальшим зростанням рівня автомобілізації в Україні ці проблеми загострюватимуться, тому одним із завдань транспортної стратегії України до 2030 р. є усунення «вузьких місць», до яких відносять ізольовані регульовані перехрестя (ІРП), де суттєво змінюються умови, режими та склад транспортних потоків.

За даними статистичних установ на 2008 р. у м. Тернополі 175 регульованих перехресть. У 80% випадків потреба в облаштуванні світлофорами ділянки автомобільних доріг та вулиць припадає на перехрестя (мал.1.1).



Малюнок 1.1. Регульоване перехрестя у м. Тернополя

Більшість РП у Тернополі розташовані на магістральних вулицях загальноміського значення регульованого руху (мал. 1.2).



Малюнок 1.2 – Процентне співвідношення розташування регульованих перехресть на міських вулицях та дорогах різних категорій у м. Тернопіль

Якщо для України сьогодні характерні жорсткі режими регулювання на РП і наявність координованих режимів роботи на окремих ділянках ВДМ [8], то у Німеччині сьогодні широко поширене адаптивне регулювання, забезпечення пріоритету громадському транспорту на РП, мережне регулювання. За результатами дослідження у містах Німеччини [10] розподіл застосовуваних методів світлофорного регулювання представлено на мал.1.3.



Малюнок 1.3 – Застосовувані сьогодні Німеччини методи управління на регульованих перехрестях і пішохідних переходах обладнаних світлофорами

З мал. 1.3 можна дійти висновку, що лише третина РП у Німеччині має жорстке керування. Очевидно, що зі зростанням рівня автомобілізації в Україні кількість РП у містах та рівень їх завантаження буде також збільшуватися, що призведе до потреби ускладнення методів управління на РП, тому необхідно розвивати теорію та практику як локальних, так і системних методів підвищення споживчих властивостей, методів контролю та оцінки якості дорожнього руху на регульованих перехрестях.

Одним із основних критеріїв введення світлофорного регулювання на перетині доріг є сумарна інтенсивність руху транспортних потоків, значення якої різні у різних країнах (табл.1.1).

Таблиця 1.1 – Мінімальна сумарна інтенсивність руху на перетині доріг для застосування світлофорного керування

Нормативний документ	Країна, рік видання	Мінімальна сумарна інтенсивність руху на перетині, од.
HCM 2000 [109]	США, 2000р	1200
RiLSA [134],	Німеччина, 2003р	Конкретні значення не встановлені, що обґрунтовується
HB8 2001 [106]	Німеччина, 2001р	

Крім інтенсивності руху основним критерієм для запровадження світлофорного регулювання на перетині доріг є число та важкість наслідків ДТП на перехресті [13,16].

Відповідно до німецьких рекомендацій [13] перед введенням світлофорного регулювання необхідна перевірка того, що інші заходи не здатні призвести до підвищення безпеки та/або підвищення пропускну здатності регульованого перехрестя:

- запровадження одностороннього руху;
- закриття окремих в'їздів;
- постійна чи періодична заборона окремих маневрів на перехресті;



- облаштування кільцевого руху.

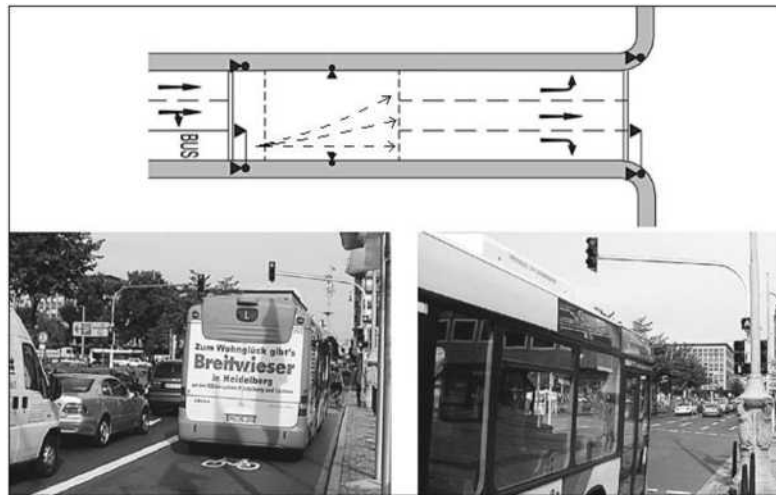
При запровадженні світлофорного регулювання основними суперечливими вимогами є:

- забезпечення безпеки дорожнього руху та високої пропускної здатності. Втрати загальної пропускної здатності, зазвичай, відбуваються у проміжні такти світлофорного циклу, так як в цей період припиняється рух транспортних засобів. У Німеччині проміжні такти призначаються більш тривалими, ніж у США [14] та в Україні, що теоретично має призводити до зниження пропускної здатності та підвищення БДР. Пропуск потоків ТЗ, що повертають, як правило, призводить до підвищення загальної пропускної здатності, але водночас призводить до появи додаткових конфліктних точок (підвищення ймовірності ДТП);

- для пішохідного потоку необхідно забезпечити достатню тривалість дозвільного сигналу для переходу проїзної частини та обмежити тривалість забороняючого сигналу при цьому забезпечити достатню пропускну здатність основного транспортного потоку, що перетинає пішохідний перехід. Час очікування для пішоходів в Україні - 40с, у Німеччині у сучасному керівництві [13] як можливий кордон терплячого очікування для пішоходів та велосипедистів називається час 60с.

У Німеччині однією з основних функцій світлофорного регулювання вважається забезпечення пріоритету громадському транспорту [10, 13], при цьому очевидно буде знижуватися пропускну здатність при проїзді індивідуального транспорту.

Перед перехрестям можливе забезпечення пріоритету громадського транспорту з можливістю зміни напрямку руху, як показано на мал. 1.4 з допомогою затримки основного потоку.



Малюнок 1.4 – Принцип та приклад пріоритетної пропуску автобусів у Німеччині перед регульованим перехрестям [13]

Для безпечної посадки/висадки пасажирів на зупинках трамваїв на середині проїзної частини, необхідно облаштування тимчасових острівців за допомогою світлофорного регулювання (мал. 1.5).

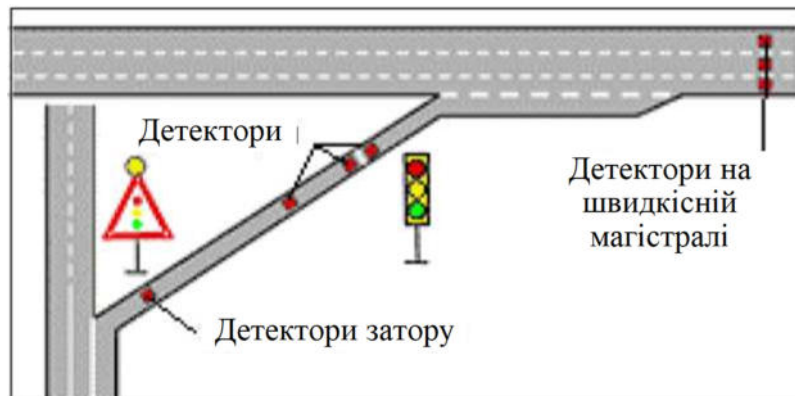


Малюнок 1.5 – Забезпечення безпечного переходу проїзної частини під час посадки/висадки пасажирів на трамвайній зупинці, розташованій на середині проїжджої частини [13]

У випадку мережного регулювання (захист окремих частин ВДМ від навантаження, дозування в'їзду на магістралі) пропускна здатність інших частин ВДМ, перехресть, підходів знижуватиметься (оскільки загальна кількість ТЗ не змінюється).

Дозування кількості автомобілів при в'їзді на швидкісну магістраль

здатне контролювати рівень завантаження магістралі в зоні дії ділянки примикання іншої дороги (мал.1.6 і 1.7).

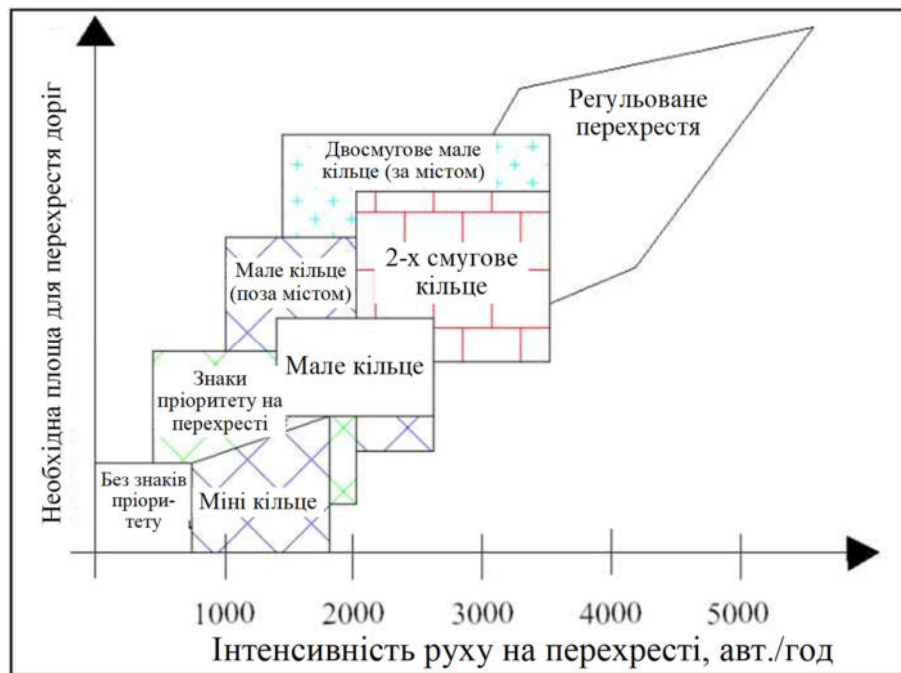


Малюнок 1.6 – Облаштування регульованого примикання дозування інтенсивності в'їзду на магістраль [9]



Малюнок 1.7 – Регульоване примикання для дозування кількості автомобілів, що в'їжджають, на автомагістраль в Німеччині [9]

В умовах сформованої щільної міської забудови площі території для забезпечення необхідної пропускну здатності перехрестя обмежені. Порівняння залежності необхідної площі від інтенсивності руху для різних типів перетинів автомобільних доріг в одному рівні представлено на мал. 1.8.



Малюнок 1.8 – Области застосування перетинів на одному рівні [16]

На вільних від забудови територіях міста можливе застосування перетинів автомобільних доріг у різному рівні або великих кільцевих перетинів із частковим регулюванням (мал. 1.9).



Малюнок 1.9 – Велике кільцеве перехрестя обладнане світлофорами в Німеччині (зовнішній діаметр 150м) [19]

Застосування великих кільцевих перехресть обладнаних світлофорами

рекомендується [19]:

- для підвищення безпеки дорожнього руху на кільцевих перехрестях;
- якщо сумарна добова інтенсивність дорожнього руху на перетині 40.000 – 60.000 авт./добу.

З наведеного вище можна зробити висновок, що інтенсивність руху і пропускну здатність на перетині доріг є найважливішими критеріями використання регульованих перехресть. Разом про те, під час проектування ізольованих регульованих перехресть (ІРП) в Україні там застосовується ще низка критеріїв з метою оцінки їх споживчих властивостей різних стадіях містобудівного проектування [48].

Сучасними закордонними інструкціями для проектування регульованих перехресть та оцінки їх споживчих властивостей на які посилаються дослідники в Україні [2, 4, 7] є НВ8 2001 [16], НСМ 2000 [19]. У роботі [14] проводилося порівняння моделей та рекомендацій щодо їх застосування у цих посібниках (табл. 1.2). Застосовувані моделі у цих нормативах відбивають, які споживчі властивості оцінюються на ІРП в сучасних нормативних документах країн із високо розвиненими транспортними системами та які чинники на них впливають.

Таблиця 1.2 – Порівняння факторів, що враховуються при проектуванні регульованих перетинів доріг в американському НСМ2000 та німецькому НВ82001 нормативних документах [14]

Нормативний документ		НВ82001	НСМ2000
Ідеальний потік насичення, прив. авт/год		2000	1900
Використовувані фактори, що впливають на пропускну здатність потоків, що	Частка вантажного транспорту	так	так
	Ширина смуги руху	так	так
	Повертаючі потоки	так	так
	Поздовжній ухил проїжджої	так	так
	Активність паркування	ні	так
	Наявність зупинки	ні	так
	Розташування на ВДМ	ні	так

безконфліктно пропускаються	Число смуг	так	так
	Фактори, що застосовуються для розрахунку	макс. 2	Усе
Пропускна здатність умовно сумісних потоків	Праві/ліві повороти та конфліктний транспортний потік	так	так
	Праві/ліві повороти та конфліктний пішохідний потік	так	так
	Праві/ліві повороти та конфліктний велосипедний потік	ні	так
	Правий поворот на червоний сигнал	так	так
Розрахунок затримок	Багатоперіодний аналіз	так	так
	Транспортно-залежні сигнали	ні	так
Пропускна здатність коротких смуг, смуг для змішаного руху	Короткі смуги	так	ні
	Смуги для змішаного руху за напрямами	так	так
Оцінка якості дорожнього руху	Рівень зручності руху Р при затримці	=>100 (T=1год)	=>80 (T = 0,25)
	Число зупинок	так	ні
	Довжина черги	ні	так
	Пропускна здатність визначальних сигналів	так	так
Оцінка координованого регулювання		За	За типами

Застосовувані в Україні рекомендації для проектування ІРП [3, 5, 6] враховують над повною мірою сучасні методи оцінки споживчих властивостей регульованих перетинів вулиць та доріг (табл.1.2). Аналіз публікацій [1, 21], а також закордонних методик оцінки пропускної здатності [6, 10] показав, що питання оцінки пропускної здатності регульованих перетинів автомобільних доріг в Україні для вирішення різних містобудівних завдань потребує

подальшого опрацювання.

## **1.2 Споживчі властивості ізолюваних регульованих перехресть в Україні та за кордоном та методи їх оцінки**

### **1.2.1 Аналіз оцінюваних споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть**

Оцінка стану елементів ВДМ є початковою складовою під час містобудівного проектування. Відомо, що основним показником технічного рівня та експлуатаційного стану доріг є їх споживчі властивості, так як цільове призначення автомобільної дороги – обслуговування інтересів користувачів дорожніх послуг.

До споживчих властивостей як параметрів управління дорожнім рухом висувається низка вимог [6], зокрема:

- вони повинні піддаватися кількісній оцінці;
- властивості повинні бути зрозумілими та обчислюваними;
- вони повинні піддаватися обліку з допустимими витратами в умовах обмеженого часу та недостатнього фінансування на практиці застосовуються спрощені методики, наприклад, при врахуванні параметрів транспортного потоку;
- значущість – витрати часу на облік цих критеріїв повинні призводити до відчутного економічного, екологічного або іншого ефекту, що встановлюється в конкретних умовах;
- охоплювати максимально можливу кількість факторів впливу на умови дорожнього руху.

Враховуючи наведене вище, а також [4] споживчі властивості ІРП можна розділити згідно з мал. 1.10.



Малюнок 1.10 – Типи споживчих властивостей ізольованого регульованого перехрестя

Для того щоб визначити які споживчі властивості у яких належать до однієї чи іншої групи (мал.1.10) необхідно розглянути вітчизняний та закордонний досвід оцінки споживчих властивостей на регульованих перехрестях.

Якщо для дороги в цілому основною споживчою властивістю прийнята фактична забезпечена швидкість руху [4], то для - регульованого перехрестя (елемента автомобільної дороги) в Україні як споживчі властивості застосовуються ступінь завантаження (1) і середня затримка згідно з формулою Вебстера (2), застосовна при ступеня завантаження напрямків  $a < 1$ .

$$a = \frac{q \cdot t_u}{M_n \cdot t_3} \quad (1.1)$$

$$w = 0.9 \cdot \left( \frac{t_u}{2} \cdot \frac{\left(1 - \frac{t_3}{t_u}\right)^2}{\left(1 - \frac{t_3}{t_u} \cdot a\right)} + \frac{a^2}{2q(1-a)} \right) \quad (1.2)$$

де  $a$  – ступінь завантаження окремого напрямку;  $q$  -інтенсивність руху, авт./год;  $M_n$  - величина потоку насичення, авт./год;  $t_3$  - ефективна тривалість дозвільного сигналу світлофора, с;  $t_u$  - тривалість циклу регулювання;  $w$  - середня затримка окремого напрямку, с.

При цьому за кордоном застосовується низка інших критеріїв оцінки



споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть (табл.1.3).

Таблиця 1.3 – Параметри оцінки споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть

в Україні	За кордоном (США, Німеччина)
Ступінь завантаження	Ступінь завантаження
Затримка (Вебстер), застосовна за ступенем завантаження до 1	Затримки (засновані на сучасних моделях їхньої оцінки)
-	Частка автомобілів, що зупиняються на перехресті
-	Довжина черги (порівняно з довжиною перегону)
-	Рівень зручності (обслуговування) руху
-	Інтегральні показники, що враховують вагове значення окремих споживчих властивостей

Методики оцінки затримок у Німеччині та США дозволяють враховувати затримки, що виникають при повторній зупинці транспортних засобів перед перехрестям (при завантаженні напрямку руху більше 1). Так у Німеччині [16] затримки автомобілів одного напрямку руху оцінюють як:

$$w = w_I + w_{II} = \frac{t_u (1 - g)^2}{2 \left( 1 - \frac{q}{M_N} \right)} + \frac{N_{GE}}{M_N \cdot g} \quad (1.3)$$

де  $w_I$ - це затримки без урахування повторних зупинок транспортних засобів перед перехрестям;  $w_{II}$ - це затримки, спричинені повторними зупинками перед перехрестям,  $c$ ;  $g$  – частка зеленого сигналу в циклі;  $N_{GE}$ - черга автомобілів на перехресті в кінці зеленого сигналу (визначається за різними формулами [16] в залежності від ступеня завантаження напрямку і визначається параметрами:  $t_u$ ,  $t$ ,  $g$ ,  $M_N$ ,  $q$ ,  $a$  середньою інтенсивністю за цикл і числом циклів за період спостережень).

У США [19] оцінка затримок проводиться так:

$$w = w_I + w_{II} = \frac{t_u(1-g)^2}{2(1-\min(1, X)g)} + 900T[(X-1)^2] + \frac{8kIX}{M_N \cdot T} \quad (1.4)$$

де  $T$  – тривалість періоду обстеження, год;  $k$  - коефіцієнт, що враховує тип світлофорного регулювання (для випадку жорсткого регулювання приймається 0,5);  $I$  - коефіцієнт, що враховує вплив попереднього по ходу руху регульованого перетину на аналізований (для ізолюваних перетинів приймається рівним 1,0);

$X = q/M_n$  – ступінь насичення транспортного потоку.

Аналіз методик оцінки затримок транспортних потоків, що безконфліктно пропускаються в Німеччині та США [16] показав, що німецька методика застосовна тільки для жорсткого не координованого регулювання. Оцінку якості дорожнього руху для координованих регульованих перехресть у ФРН проводять за часткою автомобілів, що зупиняються на перехресті. Методика HCM2000 дозволяє оцінювати затримки при адаптивному регулюванні та на координованих світлофорних об'єктах.

Основні споживчі властивості регульованого перетину доріг транспортних потоків (пропускна здатність, ступінь завантаження, затримки, довжина черги) залежить від величини потоку насичення.

### **1.2.2. Оцінка пропускної здатності смуги руху на ізолюваному регульованому перехресті**

Пропускна здатність однієї смуги проїжджої частини в перерізі стоп-лінії ІРП для потоку, що безконфліктно пропускається в Україні [6] визначається як:

$$N_{II} = \frac{3600(t_s - t_o)}{t_{II} T_u} \quad (1.5)$$

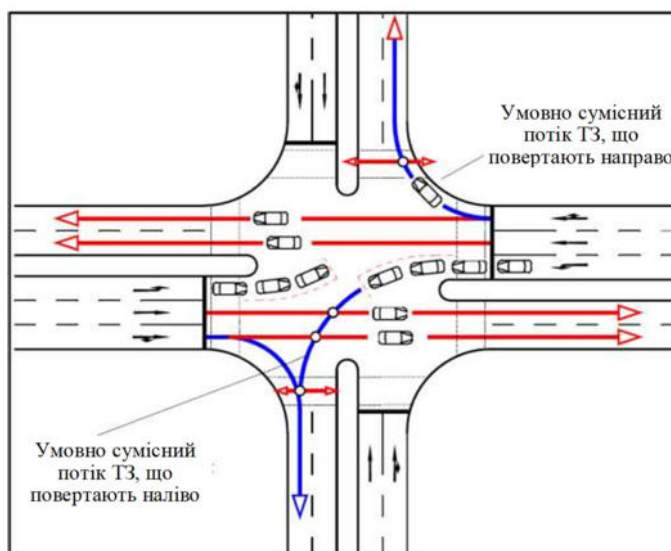
де  $t_3$  - тривалість зеленої фази світлофора, с;  $T_{\text{ц}}$  - тривалість циклу регулювання, с;  $t_a$  - відрізок часу між включенням зеленого сигналу світлофора та перетином стоп-лінії першим автомобілем (стартовий часовий інтервал), с;  $t_a$  залежить від ступеня уважності та досвіду водія та знаходиться в межах від 1 до 3 с. Для розрахунків рекомендується приймати  $t_a = 2$  с.  $t_{\text{п}}$  - середній інтервал проходження автомобілів через стоп-лінію (інтервал проходження між автомобілями), с; Інтервал прямування відповідно до спостережень [6] становить для легкових автомобілів 2-3 с, для вантажних - 3-5 с.

Облік впливу автомобілів, що здійснюють поворот з конфліктними точками в Україні проводиться за рахунок скорочення пропускної здатності смуг з безконфліктним перетином транспортних засобів а також введенням поправочних коефіцієнтів [6]. У Німеччині та США інший підхід до визначення пропускної здатності смуг із потоками, що здійснюють перетин перехрестя з конфліктними точками.

### **1.2.3 Порівняння методик оцінки пропускної здатності смуги руху для умовно сумісних потоків у США та ФРН**

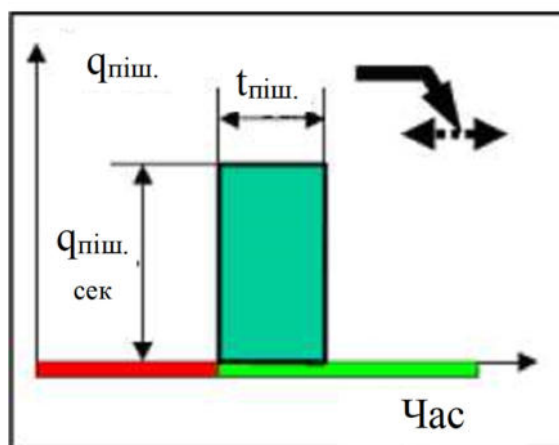
Сучасні методики оцінки пропускної здатності смуг для умовно сумісних потоків представлені в німецькому НВ8[17] та американському HCM[19] інструкціях, в українській рекомендаційній та нормативній літературі відсутні подібні методики. В роботі [14] порівнюються ці методики.

Методи оцінки пропускної здатності смуг для умовно сумісних автомобілів, що повертають направо (мал. 1.11) в HCM і НВ8 якісно і кількісно порівняні. В обох нормативах виходять із того, що лише частина зеленого сигналу зайнята пішоходами. Автомобілі, що повертають праворуч, після блокованого часу проїзду, що викликаний червоним сигналом світлофора можуть вільно проїжджати перехрестя.



Малюнок 1.11 – Умовно сумісні потоки автомобілів ІРП

В обох методиках оцінюється мінімально можлива пропускна здатність.



Малюнок 1.12 – Модель пропуску умовно сумісного потоку автомобілів , що повертають праворуч

$q_{пiш}$  – інтенсивність пішоходного потоку,  $q_{пiш.с}$  – інтенсивність пішоходного потоку за час переходу проїздної частини

Як у HBS, так і в HCM пропускна здатність смуги руху для умовно сумісних повертають праворуч потоків визначається максимальною пропускною здатністю при просочуванні або пропускною здатністю за проміжні такти.

$$C_{RA} = \max(C_D, C_{PW}) \quad (1.6)$$

$C_{RA}$  - пропускна здатність смуги для умовно сумісних потоків, що повертають

праворуч автомобілів;

$C_D$  - пропускна здатність при просочуванні.

$C_{pw}$  – пропускна здатність за проміжні такти;

$$C_D = M_n \frac{(t_p - t_{niu})}{t_u}, \quad (1.7)$$

де  $M_n$  – величина потоку насичення;

$t_p$  – тривалість дозволеного сигналу світлофора для пішоходів;

$t_u$  – тривалість циклу регулювання;

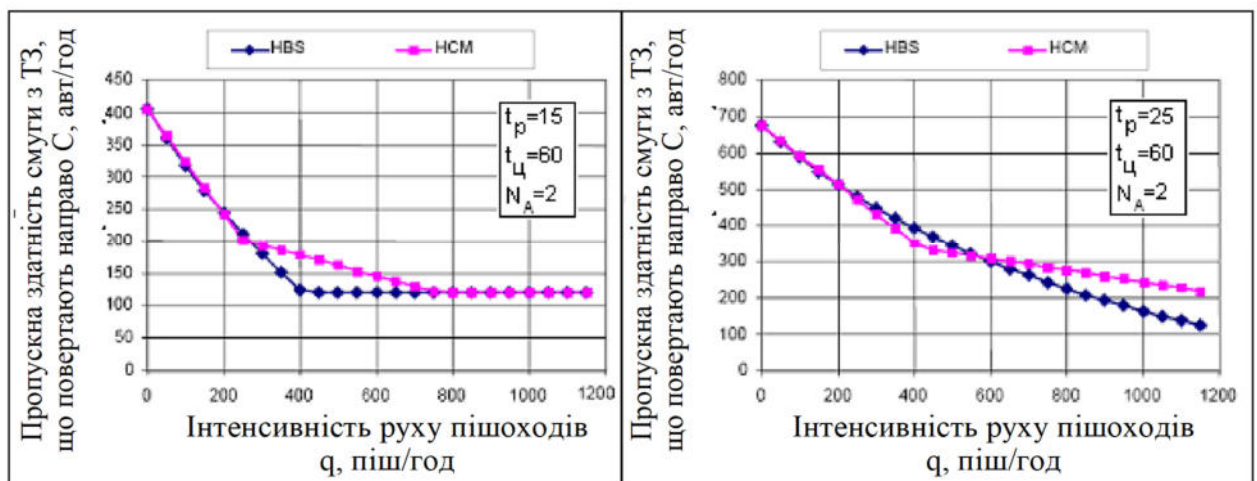
$t_{niu}$  – час переходу прозної частини пішоходами.

Різниця полягає у визначення часу переходу проїзної частини пішоходами в

HBS  $t_{niu} = \frac{P}{0,24 \cdot P + 0,48}$ , де  $P = \frac{t_p \cdot t_u}{3600}$ , а в HCM:

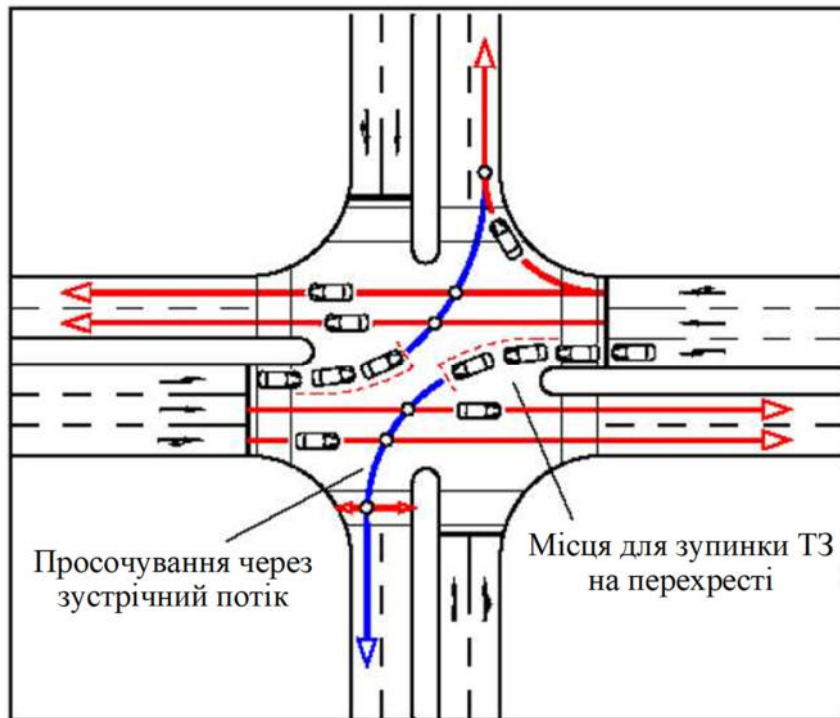
$$t_{niu} = t_p \left( 1 - \min \left( \frac{P}{2000 \cdot t_p} \text{ або } 0,4 \frac{P}{1000 \cdot t_p} \right) \right)$$

На мал. 1.13 зображено порівняння значення пропускної здатності смуг для умовно сумісних потоків, що повертають направо ТЗ HBS 2001 і HCM 2000.



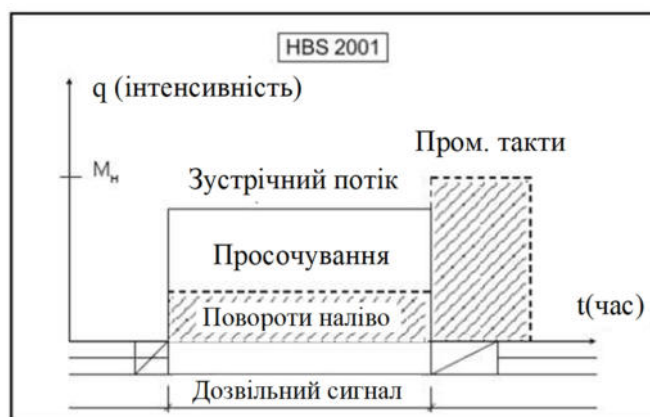
Малюнок 1.13 – Залежність пропускної здатності смуги руху для умовно сумісних потоків ТЗ, що здійснюють поворот направо від інтенсивності пішохідного руху [15],  $N_A$  – кількість ТЗ, що можуть зупинитись за стоп-лінією

Методи оцінки пропускної здатності смуги з умовно сумісними потоками ТЗ що повертають наліво в HBS 2001 і HCM 2000 відрізняються.



Малюнок 1.14 – Умовно сумісний транспортний потік, що повертають ліворуч автомобілів

Методика в HBS передбачає рівномірний розподіл зустрічного потоку за весь сигнал, що дозволяє (мал. 1.15). Тому пропускна здатність смуг для лівих поворотів розраховується за теорією граничних часових інтервалів.



Малюнок 1.15 – Модель пропуску умовно спільного потоку, транспортних засобів, що повертають наліво

$$C_{LA} = C_D + C_{PW} \quad (1.7)$$

$C_{LA}$  - пропускна здатність смуги для умовно сумісних лівих поворотів;

$C_D$  - пропускна здатність при просочуванні;

$C_{PW}$  – пропускна здатність за проміжні такти;

$$C_D = \frac{3600 \cdot f - q \cdot t_c}{t_f} \cdot e^x \quad (1.8)$$

$q$  - інтенсивність конфліктного зустрічного потоку під час дозвільного сигналу для лівих поворотів;

$f$  - частка зеленого сигналу для поворотів наліво,  $f = t_p / t_u$ ;

$t_u$  - мінімальний часовий інтервал у однорядному зустрічному потоці;

$x$  – уточнюючий коефіцієнт.

У випадку багаторядного зустрічного потоку пропускна здатність при просочуванні:

$$C_D = \frac{3600 \cdot f}{t_f} \cdot e^x \quad (1.9)$$

де  $q$  - загальна інтенсивність зустрічного потоку.

$$C_{PW} = N_A \cdot U \quad (1.10)$$

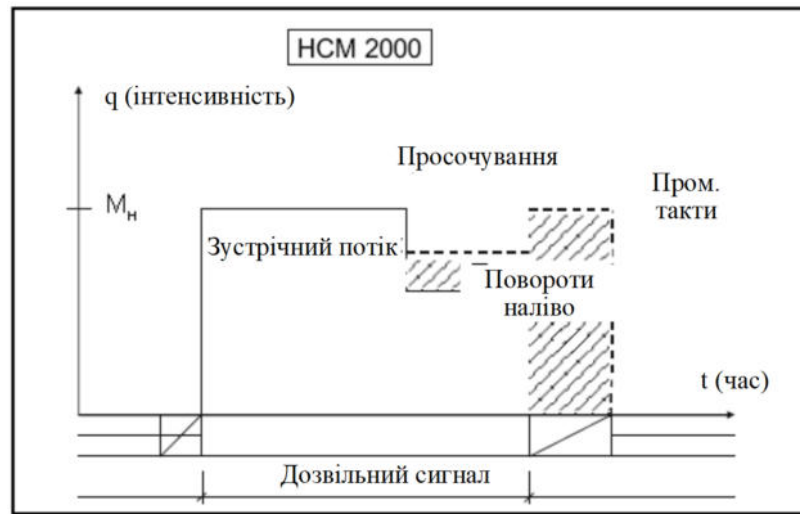
$C_{PW}$  – пропускна здатність за проміжні такти;

$N_A$  – кількість автомобілів, які можуть зупинитися на перехресті (мал.1.16);

$U$  - кількість циклів за 1 годину.

У НСМ розглядається реальний розподіл зустрічного потоку. Спочатку зустрічний потік роз'їжджається з інтенсивністю потоку насичення, а далі з інтенсивністю не насиченого потоку (мал. 1.16), тоді враховується теорія

граничних інтервалів.

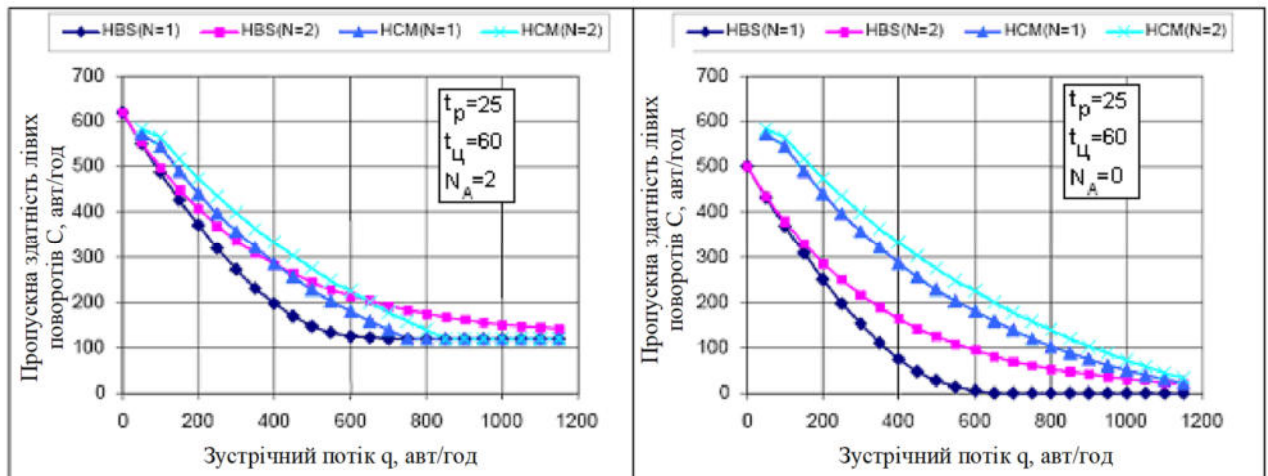


Малюнок 1.16. Модель пропуску умовно сумісного потоку автомобілів, що ліворуч повертають, у HCM

$$C_D = f \cdot \frac{1 - \frac{q}{f \cdot M_n}}{1 - \frac{q}{M_n}} \cdot \frac{q \cdot e^{-\frac{q}{3600} \cdot t_g}}{1 - e^{-\frac{q}{3600} \cdot t_f}}$$

$$C_{LA} = \max(C_D, C_{PW}),$$

Згідно HCM пропускна здатність смуг для умовно сумісних лівих поворотів є вищою ніж згідно HBS (мал. 1.17).



Малюнок 1.17 – Пропускна здатність смуги руху для умовно сумісних потоків для повороту наліво, N – кількість смуг руху зустрічного транспорту, N<sub>A</sub> – кількість ТЗ які можуть зупинитись на перехресті, N<sub>A</sub> – кількість ТЗ, які можуть зупинитись за стоп-лінією



Для визначення практичної пропускної спроможності ІРП, враховуючи всі фактори впливу, потрібна велика кількість вихідних даних. Найбільш складним та неоднозначним є розрахунок пропускної здатності смуг руху для умовно сумісних потоків.

Сучасні методики розрахунку пропускної здатності смуги для умовно сумісних поворотів направо в американському та німецькому нормативах дають близькі значення пропускної здатності (мал. 1.16). Різниця при розрахунку пропускної здатності смуги руху для умовно сумісних поворотів ліворуч HBS 2001 і HCM 2000 істотна (мал. 1.17). Для обґрунтування методики розрахунку пропускної здатності лінії для умовно сумісних потоків за умов нашої держави необхідно додаткове дослідження.

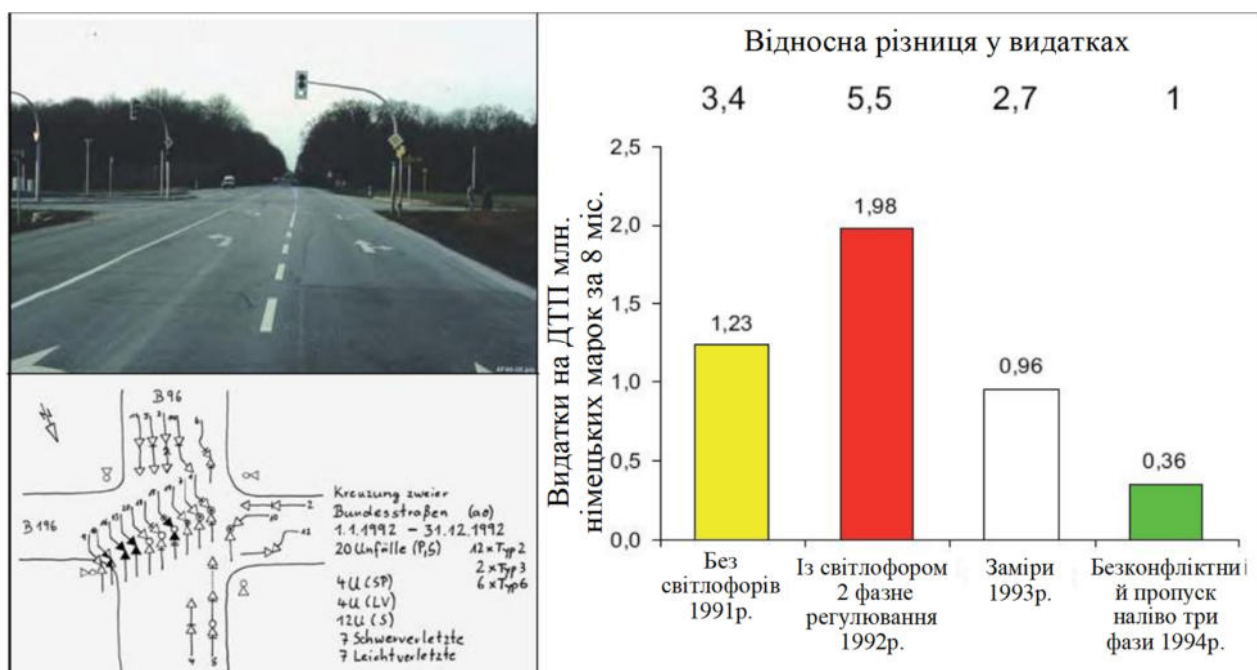
Основними параметрами, що визначають пропускну здатність смуг на ІРП, є часові інтервали між автомобілями та ефективна (використовувана) тривалість дозвільного сигналу світлофора. Дослідження залежностей часових інтервалів для сучасних дорожньо-транспортних умов України та визначення з їх допомогою теоретичної пропускної здатності смуги руху на ІРП є основними завданнями для даної роботи.

Пропускна здатність ІРП істотно впливає на такі споживчі властивості як безпека дорожнього руху, екологічні та економічні показники.

#### **1.2.4 Безпека дорожнього руху на регульованому перехресті**

На РП міст України відбувається від 8,8 до 24,4% ДТП [7] (що більше місто, тим більше ДТП посідає регульовані перехрестя). Дослідження в Штутгарті (Німеччина) [15] показало, що 58% ДТП припадає на перехрестя, а 21% ДТП на РП, а витрати від ДТП на РП 34% і вище, ніж витрати від ДТП на регульованих дорожніми знаками перехрестях (15%). На ІРП безпека дорожнього руху багато чому визначається кількістю фаз регулювання, умовно сумісними транспортними і пішохідними потоками, тобто пропускною

здатністю ІРП. Підвищення загальної пропускної здатності ІРП (з допомогою скорочення числа фаз, пропуск транспортних потоків із конфліктом) призводить до збільшення числа конфліктних ситуацій на перехресті, тобто знижує безпеку дорожнього руху. У той же час дослідження, проведене Ортлеппом і Шольцем в Німеччині [18] показало, що введення третьої та четвертої фази регулювання на великих ІРП не тільки підвищує БДР та знижує фінансові та соціальні витрати від ДТП, а й може призводити до підвищення пропускної здатності (мал. 1.18).



Малюнок 1.18 – Порівняння витрат від ДТП на перетині доріг за різних методів ОДД з 1991 до 1994 р [137]

У нормативних документах введення світлофорного регулювання рекомендується при числі ДТП на перехресті не менше трьох за 12 місяців, які можна було б уникнути при світлофорному регулюванні, при цьому не менш як на 80 % повинні виконуватись вимоги щодо завантаження перетину доріг. У німецькому нормативному документі RilSA [13] застосування світлофорного регулювання з метою зниження повторюваних ДТП на перехресті вимагає перевірки, якщо типи ДТП, що повторюються, можна уникнути за допомогою інших заходів:

- обмеження швидкості;
- заборона окремих маневрів;
- інші заходи, що підвищують безпеку перетинання дороги пішоходами, велосипедистами.

Для оцінки безпеки дорожнього руху на регульованому перехресті не тільки фактична кількість ДТП є показником, а й небезпечні ситуації, що ще не призводили до ДТП, які можуть бути оцінені за недоліками на місцевості. На мал. 1.19, мал. 1.20 представлений зразок регульованого перехрестя з незабезпеченою видимістю в плані та бічною видимістю, своєчасне розпізнавання перехрестя при під'їзді до нього можливе лише за рахунок дорожнього знаку «Головна дорога».



Малюнок 1.19 – Підхід регульованого перехрестя



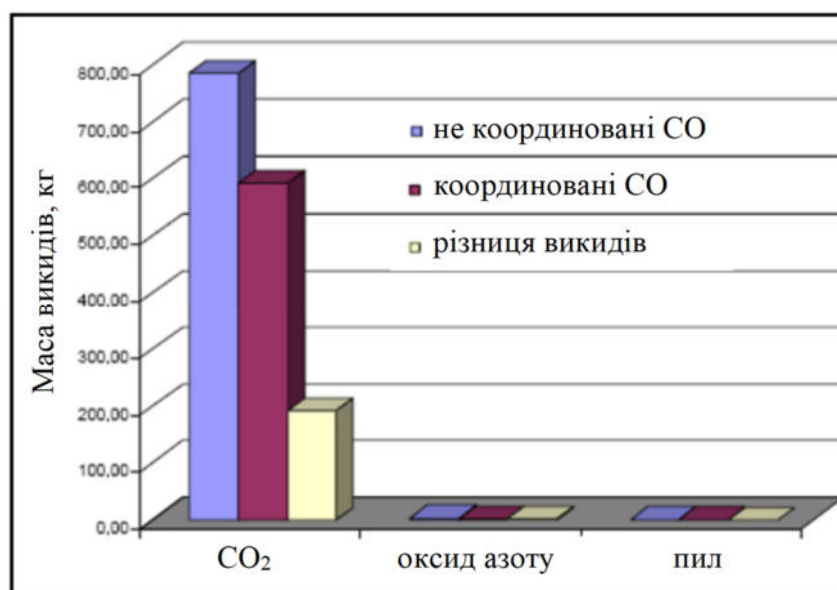
Малюнок 1.20 – Відсутність бічної видимості на регульованому перехресті

Обмеження видимості на ІРП більшою мірою не бажаним, ніж на ділянках перегонів між перехрестями, так як число конфліктних точок на перехрестях вище. Світлофорне регулювання здатне скоротити кількість конфліктних точок, але можливості техніки не безмежні (збої у роботі).

Якщо показники безпеки та аварійності на ІРП сприймаються споживачами негайно, то екологічні споживчі властивості, як правило, позначаються на споживачах через тривалий період впливу та наслідки цього впливу можуть бути непередбачуваними.

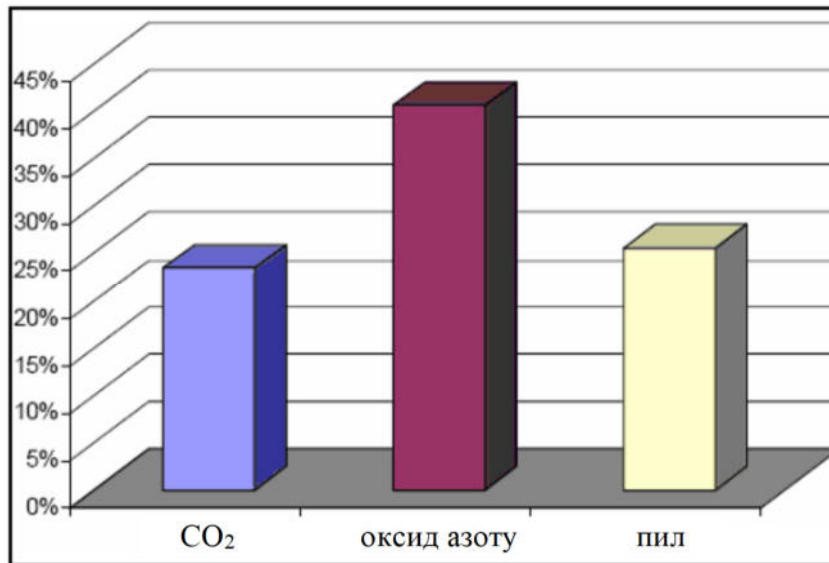
### 1.2.5 Екологічні споживчі властивості регульованих перехресть

Всі заходи, що сприяють зниженню споживання палива транспортних засобів, також призводять до зменшення більшої частини їх шкідливих вихлопів. Особливо, наголошується у RiLSA [13], на обсяги вихлопів на перехресті впливає кількість зупинок перед перехрестям та рівномірність руху через послідовність перехресть. Так забезпечення безперервного проїзду на послідовності світлофорних об'єктів (СО) призводить також до зниження екологічного навантаження – до скорочення викидів  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$  та високодисперсного пилу (див. мал. 1.21, мал. 1.22).



Малюнок 1.21 – Порівняння шкідливих викидів під час введення

координованого регулювання на світлофорних об'єктах (СО) [83]



Малюнок 1.22 – Зниження екологічного навантаження при координованому регулюванні [3]

В українських рекомендаціях [4] в оцінці екологічного дії на регульованому перехресті основними параметрами, що визначають викиди шкідливих речовин є інтенсивність дорожнього руху, склад транспортного потоку, тривалість сигналу світлофора, що забороняє. Вплив швидкості проїзду перехрестя, кількість зупинок (повторних зупинок) перед перехрестям не враховується.

Вимкнення двигунів на регульованих перехрестях припиняє вихлопи, але нове включення двигуна призводить до збільшених вихлопів транспортного засобу. З цієї причини лише тривале вимкнення двигуна здатне призвести до скорочення вихлопів на регульованому перехресті. Так згідно [13] при тривалості червоного понад 50 – 60 с досягається зниження вихлопів на регульованому перехресті. При цьому двигуни автомобілів мають бути вимкнені, що з огляду на погодні умови на півночі України не завжди є доцільним.

Зниження акустичної дії можливе як за рахунок дисциплінованої поведінки водіїв та забезпечення заданого швидкісного режиму, так і за рахунок режимів світлофорного регулювання на перехрестях. Забезпечення малої

кількості зупинок перед перехрестям, зниження кількості прискорень та уповільнень (насамперед вантажних автомобілів), особливо при низькій інтенсивності руху (наприклад, у нічний час) можуть призвести до відчутного зниження рівня шумового впливу на перехресті. Відповідно до [13] однозначно досі не доведено вплив різних методів світлофорного регулювання на рівень акустичного впливу.

Екологічні впливу на здоров'я та продуктивність населення, показники аварійності, пропускна здатність всі ці споживчі властивості пов'язані з народно-господарськими втратами на регульованих перетинах доріг.

### **1.2.6 Економічні споживчі властивості регульованих перехресть**

При розрахунку економічної ефективності заходів, як на ділянці дороги, так і на її елементах в Україні, враховуючи [3, 6] повинні враховуватися:

- проектування, будівництво та утримання конструктивних елементів ІРП та елементів облаштування;

- проектування алгоритмів керування, схем організації пофазного проїзду на перехрестях, розкладів перемикання програм;

- розрахунок базових параметрів регулювання (тривалостей циклів, фаз, проміжних тактів тощо);

- впровадження та експлуатація додаткових периферійних засобів зворотного зв'язку процесу управління (детектори транспорту, системи пріоритетного пропуску громадського транспорту тощо);

- організація системи зв'язку;

- організація центру управління верхнього рівня, диспетчерського залу та ін.

До отримуваних економічних ефектів можна віднести:

1. скорочення капітальних вкладень у дорожню галузь через покращення дорожніх умов;

2. скорочення витрат на перевезення вантажів та пасажирів внаслідок

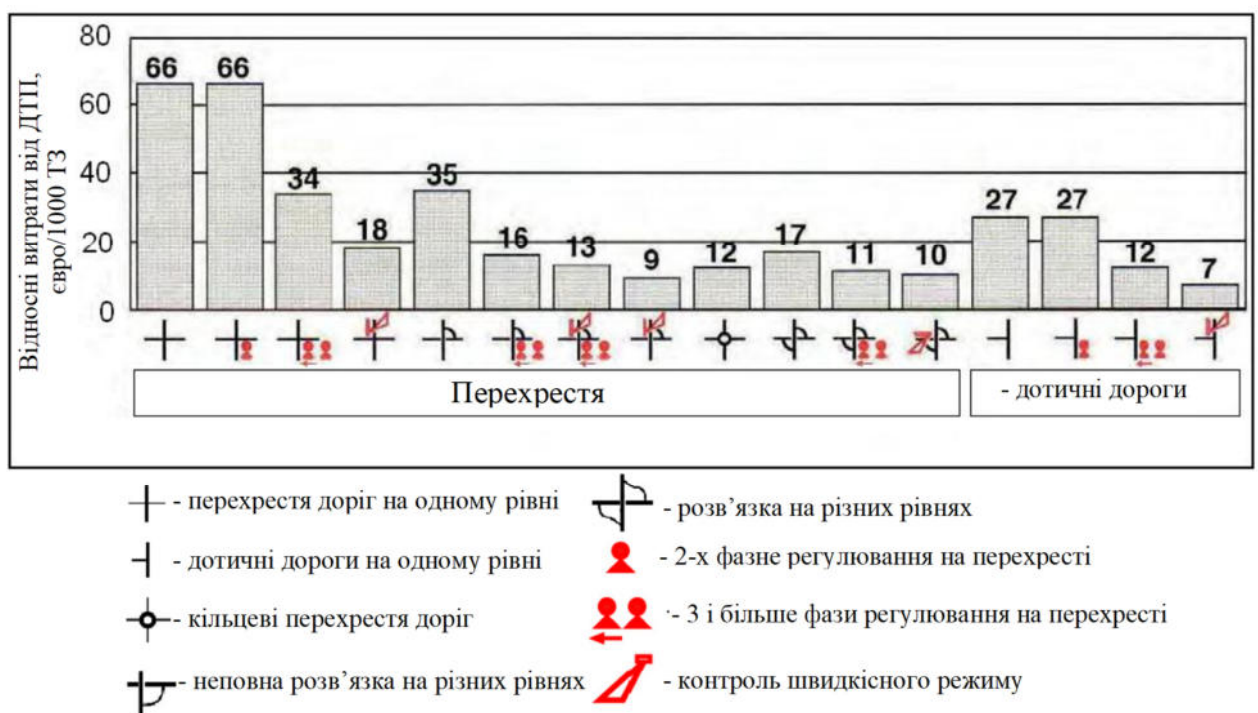
покращення дорожніх умов;

3. скорочення втрат від дорожньо-транспортних пригод;

4. скорочення екологічних втрат.

Підсумкова економічна оцінка заходів на ІРП може складатися з наведених вище витрат та переваг.

На мал. 1.23 наводиться порівняння втрати від ДТП [138] залежно від різних типів перетинів заміських автомобільних доріг у Німеччині і різних методів регулювання дорожнього руху.



Малюнок 1.23 – Витрати від ДТП у Німеччині щодо різних типів перетинів доріг на 2000год [13]

Аналіз даних (мал. 1.24) показує, що максимальні втрати від ДТП припадають на нерегульовані та регульовані перехрестя з 2-х фазним регулюванням. Введення додаткових фаз для лівих поворотів на перетинах доріг суттєво скорочує втрати від ДТП, а на регульованих примиканнях наближає втрати від ДТП до кільцевих перетинів.

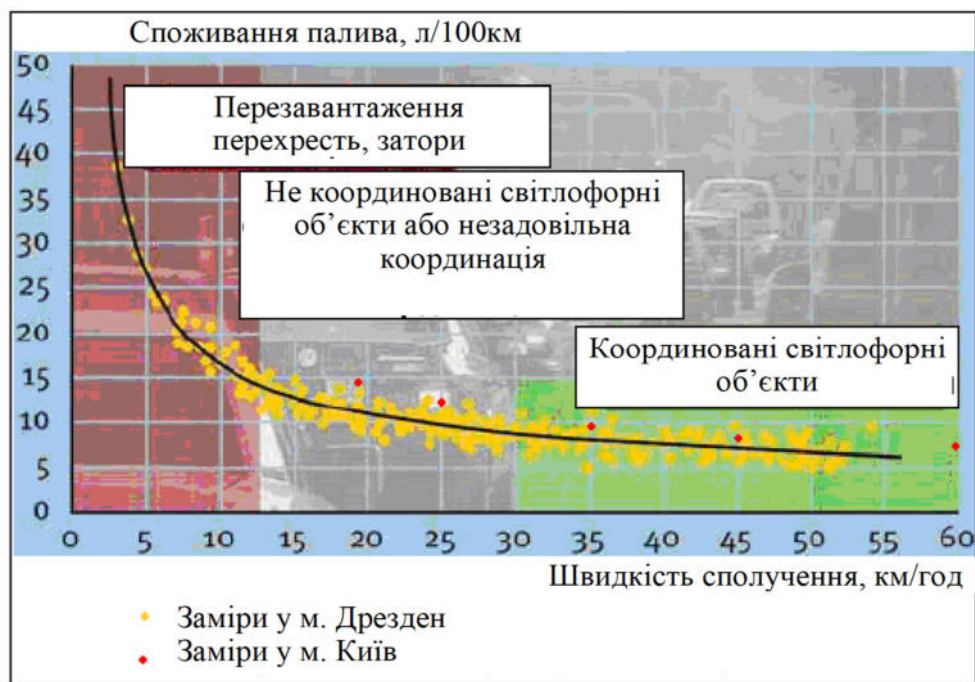
Також дослідження [13] підтверджує, що введення третьої та четвертої фази регулювання на великих ІРП знижує народногосподарські втрати від ДТП



(мал. 1.25).

Усі методи керування, які призводять до рівномірного руху (мінімум зупинок, прискорень, гальмування) у межах допустимих швидкостей руху знижують споживання палива транспортними засобами [13]. Оптимальні параметри світлофорного регулювання, що призводять до низьких середніх затримок та мінімальної кількості зупинок перед перехрестям також сприяють зниженню споживання палива транспортними засобами.

Порівняння споживання палива транспортними засобами в залежності від середньої швидкості сполучення на ВДМ у Дрездені та м. Тернополі представлено на мал. 1.25. Для Тернополя було отримано кілька точок залежності споживання палива від середньої швидкості для діапазону швидкостей від 20 до 60 км/год. Найбільш різкий підйом споживання палива за результатами дослідження Шнабеля і Брюкнера в Німеччині [11] відбувається за середньої швидкості повідомлення від 3 до 12 км/год (мал. 1.25).



Малюнок 1.25 – Споживання палива транспортними засобами в залежності від середньої швидкості сполучення на ВДМ міста

За даними [2] у м. Тернополі (2008 р.) середня швидкість сполучення в «години пік» на ВДМ м. Тернополя становить 15-20 км/год, але на окремих



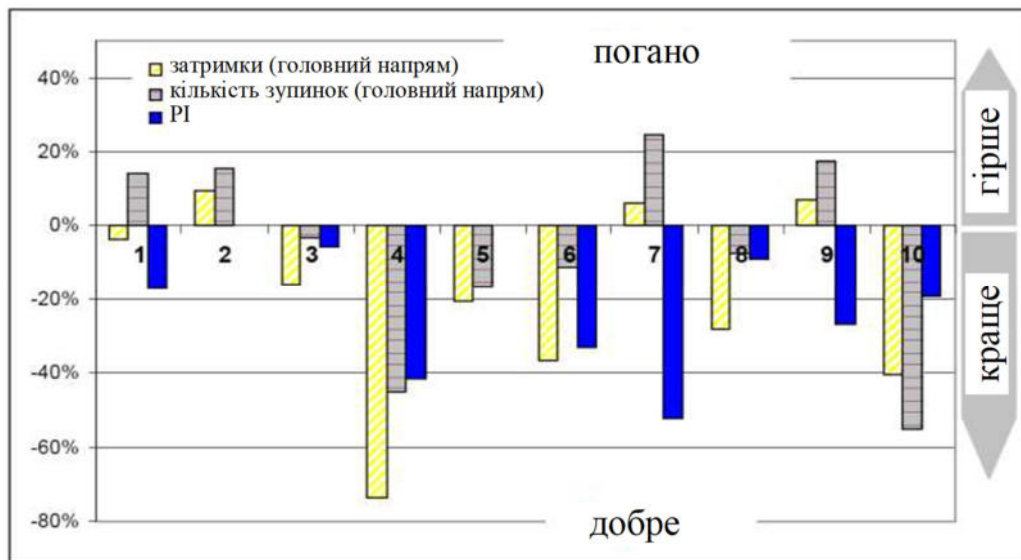
ділянках сягає 7-10 км/год, тобто потрапляє у діапазон швидкостей із різким зростанням споживання палива транспортними засобами. Підвищення середньої швидкості сполучення на ВДМ міста, особливо на ділянках із середніми швидкостями менше 10 км/год, здатне призвести до суттєвої економії коштів і відповідно до підвищення споживчих властивостей РП.

Економічне обґрунтування в умовах ринкової економіки є визначальним для реалізації заходів, спрямованих на підвищення споживчих властивостей ІРП. При цьому оцінка економічних витрат та вигод від підвищення споживчих властивостей РП може здійснюватись на основі застосування комплексних показників якості дорожнього руху на РП. Їх застосування дозволяє знизити розмірність завдання знаходження оптимального рішення на ІРП або ділянці ВДМ і спростити її.

### **1.2.7 Комплексні показники споживчих властивостей**

Для опису та оцінки споживчих властивостей РП, як правило, у мережевих методах керування [9, 10, 12] може використовуватися цільова функція (Performance Index - PI). Робертсон ще в 1969 р [15] запропонував оцінку керуючих параметрів на регульованому перехресті проводити за допомогою інтегрального критерію складається з числа зупинок на перехресті і середніх затримок з використанням вагових коефіцієнтів (наприклад, одна зупинка енергії, що витрачається, може відповідати 60с затримки автомобіля.

У Німеччині у дослідженні впливу різних методів регулювання на якість дорожнього руху інтегральний показник PI використовувався при моделюванні у програмі Vissim для порівняння функціонуючого жорсткого режиму регулювання та оптимізований жорсткий режим регулювання (мал. 1.26).



Малюнок 1.26 – Результати оптимізації режиму регулювання при моделюванні Vissim [91]

Інтегральний показник  $PI$  у цій роботі визначався так:

$$PI = G_w \cdot \sum_i \sum_z (w_{i,z} \cdot q_{i,z} \cdot g_i \cdot g_z) + G_h \cdot \sum_i \sum_z (h_{i,z} \cdot q_{i,z} \cdot g_i \cdot g_z) \quad (1.11)$$

де  $G_w$  - вагове значення затримки;

$G_h$  - вагове значення зупинки;

$i$  - підхід перехрестя;

$z$  - тип транспортного засобу;

$w_{i,z}$  - затримки за 1 годину для автомобілів типу  $z$  підходу  $i$ ;

$h_{i,z}$  - число зупинок за 1 годину для автомобілів типу  $z$  підходу  $i$ ;

$q_{i,z}$  - інтенсивність руху автомобілів типу  $z$  на підході  $i$ ;

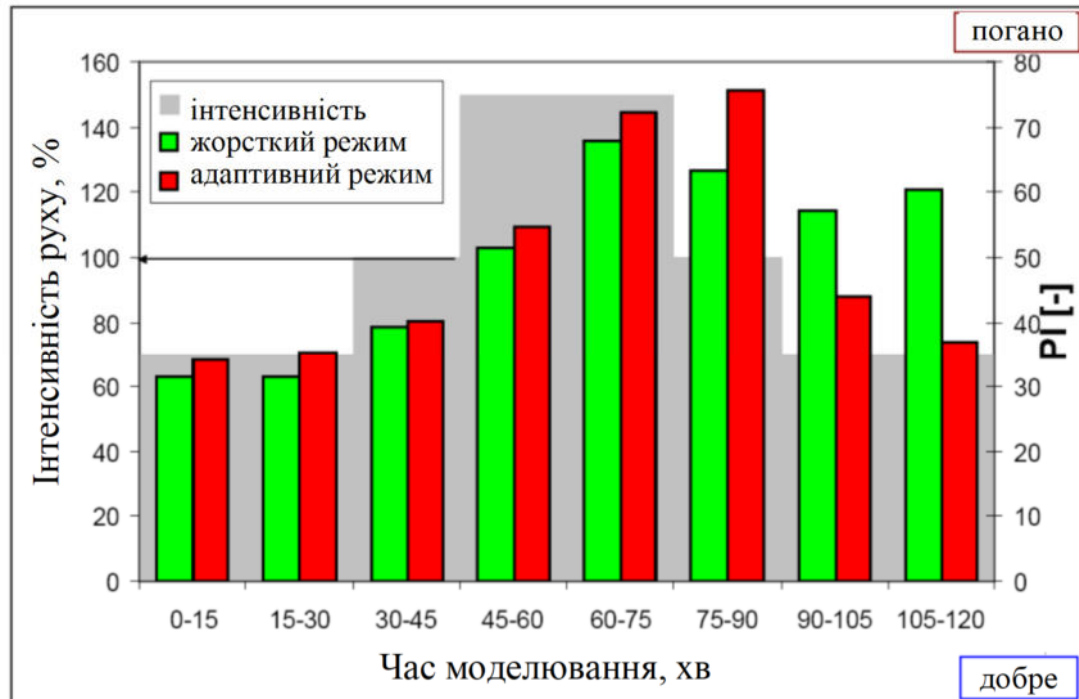
$g_i$  - вагове значення підходу  $i$ ;

$g_z$  - вагове значення типу транспортного засобу.

Цей комплексний показник  $PI$  дозволяє враховувати забезпечення пріоритету окремим учасникам дорожнього руху, тому інтенсивність дорожнього руху на підходах може враховуватися відповідно до середньої розрахункової кількості осіб, які займають транспортний засіб, наприклад 1,4 особи для одного легкового автомобіля в Україні.

Вагові показники дозволяють враховувати значущість окремих підходів під час руху до центру міста чи з міста у час доби.

Крім того, у цьому ж дослідженні [9] провели порівняння ефективності жорсткого та адаптивного (транспортно-залежного) регулювання (мал. 1.27).



Малюнок 1.27 – Порівняння ефективності застосування жорсткого та адаптивного регулювання при моделюванні у Vissim [91]

Комплексним показником економічності, зручності та безпеки дорожнього руху в нормативних документах в Україні, і за кордоном прийнятий рівень зручності (обслуговування) руху. Основною характеристикою рівнів зручності для перетинів доріг є коефіцієнт завантаження руху [6]. Особливості якості дорожнього руху на ІРП у українських нормативних документах не розглядаються. Для формування високоякісних транспортних послуг необхідно насамперед визначити параметри та стандарти якості. У багатьох країнах для ІРП ці параметри вже прийняті і лише доповнюються та коригуються. Так, наприклад, у США та Німеччині критерієм якості дорожнього руху на ІРП є середній час очікування (середня затримка) на перехресті. Зміна меж рівнів зручності у країнах у різні роки (табл. 1.27) говорить про відсутність однозначного підходу до визначення меж рівнів

зручності руху.

Таблиця 1.3 – Межі рівнів зручності руху на регульованому перехресті

Джерело	НСМ (норматив США)		НВ8 (норматив Німеччини)	
	1985	2000	1993	2001
РЗР	Середня припустима затримка автомобіля, [сек]			
A	<5	<10	<25	<20
B	<15	<20	<40	<35
C	<25	<35	<60	<50
D	<40	<55	<80	<70
E	<60	<80	<100	<100
F	>60	>80	>100	>100

У табл. 1.4 наведено порівняння меж РЗР нормативів різних країн (України, Швейцарія, США, ФРН). У швейцарському нормативі 640023 [12] ступінь завантаження так само як і в Україні є основним критерієм оцінки зручності руху, а межі рівнів зручності незначно відрізняються. Порівнюючи граничні значення рівнів зручності можна дійти висновку, що з ступеня завантаження від 0,7 до 1 в українському нормативі немає проміжного рівня зручності. У національних інструкціях [6] також відсутнє поняття ступеня завантаження більше одиниці, що означає, що інтенсивність на підході до перерізу дороги вища за пропускну здатність.

Таблиця 1.4 – Граничні значення визначення рівнів зручності дорожнього руху на ІРП

Країна	УКРАЇНИ		Швейцарія		Німеччина	США
Джерело	Посібник з оцінки пропускну здатність автомобільних доріг		8N 640023 [128]		НВ8 2001 [106]	НСМ 2000 [109]
Критерій оцінки	Ступінь завантаження				Середня допустима затримка [с]	
РЗР та їх граничні значення	А	<0,2	А	<0,3	<20	<10
	Б	<0,45	В	<0,5	<35	<20
	В	<0,7	С	<0,7	<50	<35
		відповідність	Д	<0,85	<70	<55
		відсутня				
	Г	<1	Е	<1,0	<100	<80
	відповідність	Ф	>1,0	>100	>80	
	відсутня					

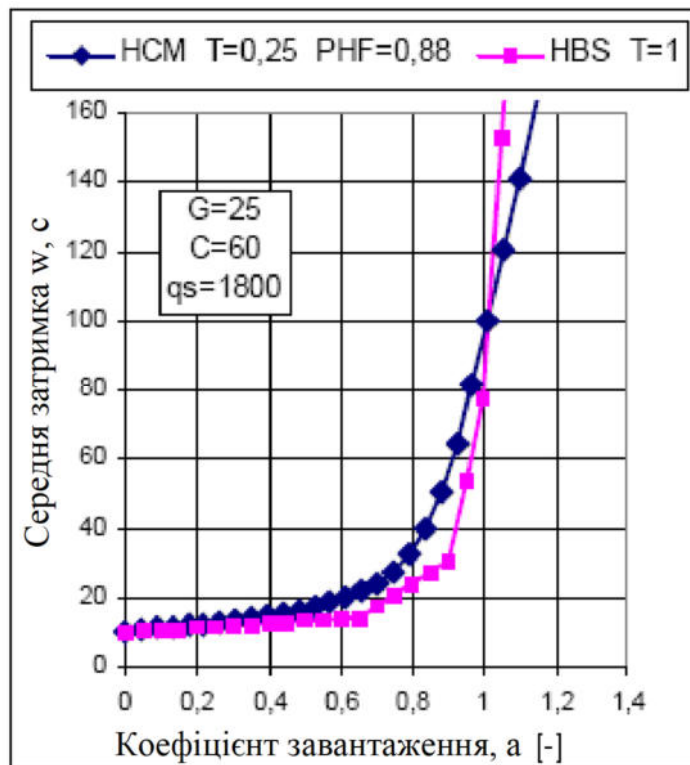
Опис характеристик рівнів зручності руху на ІРП у Німеччині (табл. 1.5) відповідає опису рівнів зручності, як нерегульованого перетину доріг, так ділянки дороги без перетинів, оскільки свобода руху ділянкою дороги через перехрестя обмежується сигналами світлофора.

Таблиця 1.5 – Опис різних рівнів зручності руху на ІРП у Німеччині [17]

Рівень зручності	Опис дорожнього руху	Якість дорожнього руху
А	Більшість автомобілів може безперешкодно проїхати перехрестя.	дуже гарне
В	Усі учасники дорожнього руху, які під час забороняючого сигналу світлофора зупинилися в очікуванні зеленого сигналу, можуть проїхати або пройти перехрестя за наступний період сигналу, що дозволяє. Короткі затримки.	гарне
С	Майже всі учасники дорожнього руху можуть перетнути перехрестя за наступну тривалість сигналу. Час очікування відчутний. Наприкінці роздільного сигналу залишається невелика черга автомобілів.	задовільний
Д	Спостерігається постійна залишкова черга автомобілів. Затримки значні.	достатня
Е	Учасники дорожнього руху змушені боротися один з одним за позицію в черзі. Затримки тривалі. Досягається максимально можлива інтенсивність руху.	недостатне
Ф	Інтенсивність руху вища за пропускну здатність. Автомобілі змушені багаторазово зупинятися до проїзду перехрестя. Черга автомобілів зростає постійно. Затримки дуже великі.	погане

Як у HBS 2001, так і в HCM 2000 для опису рівнів зручності руху на регульованому перехресті застосовують шість рівнів від А до Ф. Між Д та Е рівнями знаходиться межа пропускну здатності перехрестя. Основним критерієм для оцінки якості дорожнього руху в цих нормативних документах прийнято середню затримку автомобіля, а відмінністю при визначенні РЗР є розрахунковий інтервал Т, за який визначають середню затримку. У HBS 2001

Т прийнято 1 годину, а HCM 2000 15 хвилин, також різницею є застосування HCM 2000 коефіцієнта пікового періоду (PHF). За допомогою цього коефіцієнта враховується різниця між інтенсивністю 15-хвилинного пікового інтервалу та інтенсивністю за одну годину. Зіставлення затримок для різних РЗР у HBS 2001 та HCM 2000 (мал. 1.28) проводилося Wu [14].



Малюнок 1.28 – Порівняння значень затримки від ступеня насичення при тривалості зеленого сигналу  $t_z = 25$  с, циклі  $t_u = 60$  с, потоці насичення  $M_n = 1800$  авт/год [14]

Після перетворення, отриманого розрахунком часу очікування за американським та німецьким нормативами, та графічного подання зміни затримки від рівня завантаження перехрестя, 100с часу очікування за HBS 2001 відповідають 100 секундам за HCM 2000, 50 секунд відповідають 70 секунд (рис 1.29).

ВДМ	Не координовані перехрестя середній допустимий час очікування w, с		
	автомобільний рух (HBS, T=1 год)	відповідність НСМ при (T=0,25 год., PHF=0,88)	автомобільний рух (ТНСМ, T=0,25 год.
A	≤ 20	→ ≤ 25	→ ≤ 10
B	≤ 35	→ ≤ 60	→ ≤ 20
C	≤ 50	→ ≤ 70	→ ≤ 35
D	≤ 70	→ ≤ 85	→ ≤ 55
E	≤ 100	→ ≤ 100	→ ≤ 80
F	> 100	→ > 100	→ > 80

Малюнок 1.29 – Порівняння прикордонних значень середньозваженої затримки для різних рівнів руху автомобілів [14]

З порівняння видно, що затримки згідно з HBS 2001 оцінюються менш суворо. При досягненні РЗР Е згідно з НСМ 2000 з HBS 2001 досягається тільки РЗР D.

З вище сказаного можна дійти невтішного висновку, що немає однозначного підходу до визначення РЗР, різниця у градації РЗР за німецьким і американським нормативам незначна, а методики визначення РЗР мають особливості.

Як затримки, і ступінь завантаження окремих напрямів (відповідно і рівні зручності руху транспортних засобів) відповідно до застосовуваним методикам в Україні (формули 1 і 2, стр.22) і там [17, 19] ґрунтуються на величинах потоку насичення транспортні потоки. Точність значень потоків насичення визначає точність параметрів управління, необхідні підвищення споживчих властивостей ІРП.



### **1.3 Методи підвищення споживчих властивостей на регульованих перехрестях**

Існують різні підходи до підвищення споживчих властивостей ІРП. Якщо за кордоном розроблено і регулярно оновлюється велика кількість нормативної та рекомендаційної технічної літератури щодо методик підвищення споживчих властивостей ІРП не повною мірою відповідають сьгоднішнім рівням завантаження ІРП.

Оскільки транспортні умови на ІРП безперервно змінюються (склад потоку, розподіл за напрямками, ступеня завантаження окремих смуг, можливості проїзду для потоків, що пропускаються з конфліктом), а зміну експлуатаційних умов у повній відповідності до ситуації, що змінилася неможливо відслідкувати, необхідно приймати оптимальні рішення, що враховують суперечливість вимог, пропускну здатності та безпеки дорожнього руху.

Поняття оптимізація включає два визначення – це процес знаходження екстремуму (глобального максимуму чи мінімуму) певної функції або процес вибору найкращого (оптимального) варіанта з множини можливих. Найбільш надійним способом знаходження найкращого варіанта є порівняльна оцінка всіх можливих варіантів (альтернатив). Якщо число альтернатив велике, під час пошуку найкращої зазвичай використовують методи математичного програмування. Застосувати ці методи можна, якщо є суворі постановка задачі: заданий набір змінних, встановлена область їх можливої зміни (задані обмеження) та визначено вид цільової функції цих змінних.

З визначення поняття оптимізації можна дійти невтішного висновку, що й існує велика кількість альтернатив рішення, потребує чисельного значення результату, то оптимізація - це мінімізація цільової функції. Якщо ж альтернатив рішення не багато і вони не потребують чисельного рішення із заданою достовірністю, то оптимізація - це управлінське рішення, засноване на досвіді та знаннях особи, яка приймає це рішення. Головний недолік

управлінського рішення - суб'єктивізм (стан та характеристики особи, яка приймає рішення). Найбільш перспективними є автоматизовані системи прийняття рішень, у яких варіант рішення, розрахований комп'ютером та звірений із системою цілей, приймається до виконання через відповідні виконавчі механізми автоматично.

Значення оптимізації дорожнього руху на ділянці вулично- дорожньої мережі (у транспортному вузлі), особливо останнім часом, з розвитком програмного та апаратного оснащення проектних організацій, відіграє все більшу роль при прийнятті інженерних рішень. Математична оптимізація є процесом неоднозначним, що залежить від правильного вибору цільової функції оптимізації, критеріїв оптимізації та системи оціночно-вимірювальних показників споживчих властивостей, що дозволяють оцінити рівень досягнень цільових та критеріальних вимог. Проблема оптимізації полягає в тому, що вона базується на спрощеній моделі реальності, а саме:

- з великої кількості можливих критеріїв оптимізації слід обирати мінімум обґрунтованих критеріїв;
- припущення моделей не точні.

Цільова функція оптимізації часто призводить лише до локальної, а не глобальної оптимізації, тому вона повинна враховувати якомога більше параметрів.

Параметрами оптимізації дорожнього руху на регульованих перехрестях є [86]:

- скорочення часу сполучення, затримок, автомобільних черг, кількості зупинок, споживання палива, шкідливих викидів, дисперсії середньої швидкості сполучення;
- збільшення пропускної здатності, середньої швидкості проїзду перехрестя, кількості автомобілів, що проїжджають без затримок;
- максимізація рівномірності дорожнього руху.

В українській інструкції говориться, що підвищення пропускної здатності автомобільних доріг та їх елементів можна досягти:

1) проектуванням поєднання елементів плану та поздовжнього профілю, що не викликають різкої зміни швидкостей;

2) призначенням ширини проїжджої частини, що дозволяє розділити потік автомобілів за складом (додаткові смуги на підйомах, на перетинах в одному рівні) і забезпечує оптимальне завантаження, при якій рух відбувається з досить високими швидкостями;

3) підвищенням рівності покриття та його зчіпних якостей;

4) реконструкцією перетинів в одному рівні (наприклад, пристрій різних типів каналізованих перетинів) або пристроєм перетинів на різних рівнях;

5) вибором засобів регулювання, які забезпечують раціональний режим руху;

6) постачанням водіїв повною інформацією про умови руху маршрутом;

7) покращенням роботи дорожньо-експлуатаційної служби, особливо взимку.

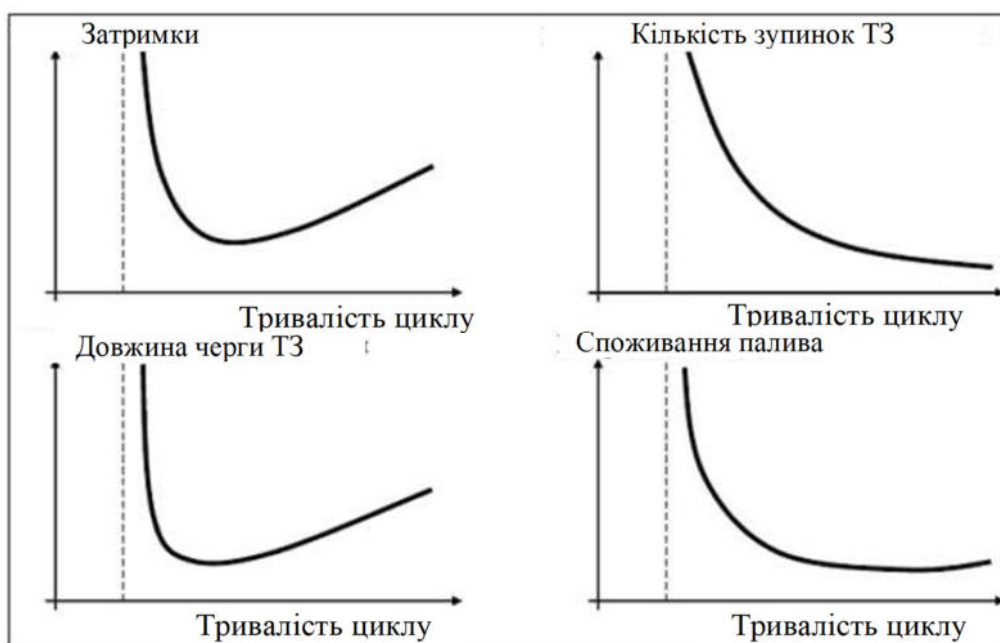
Очевидно, що наведені вище заходи здатні призвести не тільки до підвищення пропускної здатності, але й до підвищення БДР, зниження екологічного впливу.

Враховуючи особливості регульованих перехресть, підвищення споживчих властивостей можна також досягти організаційними та програмними методами.

Для підвищення пропускної здатності смуг прямого напрямку руху необхідно забезпечити своєчасну можливість виходу з цих смуг автомобілів, що повертають ліворуч або праворуч без затримок потоку прямого напрямку. Для цього влаштовують додаткові лінії. Геометричні параметри цих смуг відповідно до [5] визначаються наступним чином: ширина призначається рівною ширині смуги руху дороги або вулиці даної категорії, протяжність визначається інтенсивністю руху, але не менше 30 м. Разом з тим у чинних в Україні нормативних документах не вказується рекомендована протяжність смуг накопичення на регульованих перехрестях [13].

В українських рекомендаціях для проектування ІРПі говориться про те,

що підвищення пропускної здатності ІРП можна домогтися застосуванням набору оптимальних світлофорних програм, що відповідають змінним транспортним умовам. Так збільшення тривалості циклу регулювання від 40 до 100с може дати приріст пропускної здатності від 8 до 12% [3]. Якісний вплив тривалості циклу на параметри транспортного потоку, що оптимізуються (довжина черги, затримка, кількість зупинок і споживання палива автомобілями) при жорсткому регулюванні можна представити в наступному вигляді (мал.1.30). Передбачається, що мінімальні затримки та мінімальна довжина черги автомобілів досягаються за оптимальної тривалості циклу.



Малюнок 1.30 – Вплив тривалості циклу на основні критерії оптимізації транспортного потоку

Зміна схеми пофазного роз'їзду, введенням виділених фаз для автомобілів, що повертають ліворуч, здатне також призвести до підвищення споживчих властивостей ІРП. Так моделювання, проведене Ортлеппом і Шольцем у Німеччині показало, що запровадження третьої і четвертої фази регулювання великих ІРП як підвищує БДР і знижує економічні витрати від ДТП (мал. 1.31), але й може призводити до підвищення загальної пропускної здатності ІРП щодо 2-х фазного регулювання. Загальна пропускна здатність ІРП у разі 2-х смугових підходів становила близько 3300 прив. авт./год, при 3-х

смугових підходах – 6000 прив.авт./ч. Якщо повороти праворуч здійснювалися безперешкодно за наявності острівців безпеки, то загальна пропускну здатність ІРП підвищувалася майже до 7000 прив. авт./год.

Впровадження адаптивного регулювання є програмним шляхом підвищення споживчих властивостей на ІРП. Методи транспортно залежного регулювання на ІРП можна подати в наступному вигляді (мал. 1.31).



Малюнок 1.31 – Транспортно-залежне регулювання на ІРП

Проведені дослідження в Німеччині [9] показали, що переваги транспортно-залежного регулювання над жорстким регулюванням обмежені та необхідна перевірка обґрунтованості запровадження транспортно-залежного регулювання. У ряді випадків правильно запроектоване жорстке регулювання ефективніше, ніж транспортно-залежне.

Однозначна перевага транспортно-залежного над жорстким регулюванням при забезпеченні пріоритету громадського транспорту та нерівномірності розподілу транспортних потоків за напрямками та у часі. Інші

критерії застосування транспортно-залежного регулювання наведено у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Критерії застосування транспортно-залежного регулювання порівняно з жорстким регулюванням [1]

Випадки застосування		Жорстке управління	Транспортно залежне управління
Постійна інтенсивність руху	незначна	++	-
	високе навантаження	+	++
	незначне	+	-
Поперечний рух транспорту	інтенсивне	-	++
	незначне	+	-
Ступінь нерівномірності інтенсивності руху у часі	незначна	++	-
	значна	-	++
Зміна напрямків руху	не значне	++	-
	значне	+	++
Пріоритет громадського транспорту		-	++
Оптимізація головного напрямку		++	+
Несприятливі для координації відстані між перехрестями		-	+

В умовах забудови мережна програмна оптимізація має найбільші можливості з найменшими витратами досягти підвищення споживчих властивостей ІРП. Методами програмної оптимізації дорожнього руху можна домогтися підвищення пропускної здатності РП, якщо ступінь завантаження всіх підходів ІРП вбирається у 0,85 - 0,9 (перевищення даних значень свідчить про відсутність резервів пропускної здатності) і якщо тривалість циклу немає максимально рекомендовані при експлуатації значення (90-120 сек).

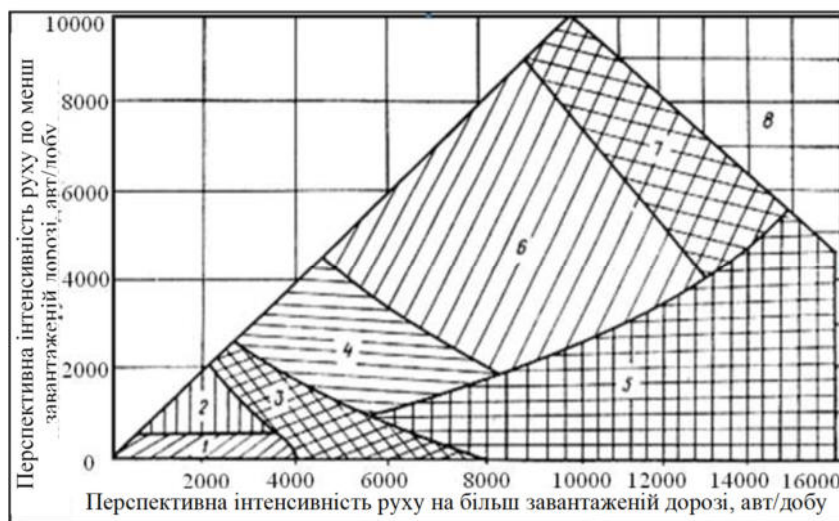
В Україні рекомендується ІРП влаштовувати у вигляді простих перехресть без розширення проїжджої частини, якщо інтенсивність поворотного руху не перевищує двох автомобілів за цикл світлофорного регулювання. При інтенсивності поворотів від 100 до 300 авт./ч одному напрямку рекомендується застосовувати транспортно-планувальні рішення, які забезпечують пристрій додаткових смуг руху, зон накопичення, віднесення лівого повороту за перехрестя чи подовження перехрестя з пристроєм двох

стоп-ліній, тобто передбачається, що цими заходами можна досягти підвищення споживчих властивостей ІРП.

Очевидно, що будівництво розв'язок в різному рівні, в умовах міської забудови, що склалася, як інструмент підвищення споживчих властивостей ІРП є вкрай витратним. У Німеччині пристрій розв'язки в різному рівні рекомендується в залежності від категорій доріг, що перетинаються.

В українських рекомендаціях [9] ІРП пропонується влаштовувати за сумарної інтенсивності вхідних потоків від 400 - 4000 прив. од./год, кільцеві перетину - від 100 до 2500 прив.од./год, пристрій розв'язки на різних рівнях при сумарній інтенсивності на перетині понад 4000 прив. од./год.

На стадії розробки варіантів проекту перетину автомобільних доріг область застосування різних типів планувальних рішень перетинів можна визначити за номограмою (мал. 1.32).



Малюнок 1.32 – Номограма для вибору типу планувальних рішень перетинів [5]

Зони, представлені на номограмі (мал. 1.32) поділені на такі типи перетинів автомобільних доріг [6]:

- 1) прості необладнані перетини;
- 2) частково каналізовані перетини з напрямними островцями на другорядній дорозі;

3) каналізовані перетини з напрямними острівцями на другорядній та головній дорогах, та перехідно-швидкісними смугами, розташованими на головній дорозі;

4) кільцеві перетини: а) із середніми центральними острівцями; б) із малими центральними острівцями; в) при числі доріг, що перетинаються 5 і більше і з великими центральними острівцями;

5) перетини: а) кільцеві, що забезпечують кращі умови руху більш завантаженому напрямку (з еліптичним центральним острівцем та ін.); б) у різних рівнях; в) при стадійному будівництві (І етап – кільцеве перетин та ІІ етап – перетин у різних рівнях);

б) перетини: а) кільцеві з малими центральними острівцями; б) у різних рівнях;

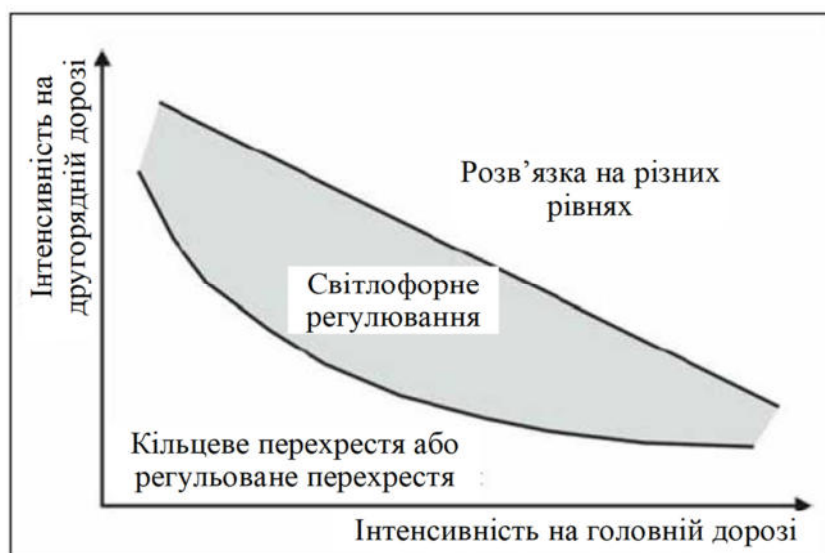
7) перетини: а) стадійний розвиток (І етап – кільцеві перетину з малими центральними острівцями, ІІ етап – перетину в різних рівнях); б) перетину різних рівнях;

8) перетини у різних рівнях.

При цьому не виділяються межі застосування світлофорного регулювання на перехрестях доріг.

На підставі порівняння результатів досліджень та нормативних документів можна зробити висновок, що ІРП за пропускнуою спроможністю, у загальному випадку, займає проміжне положення між кільцевими перетинами та розв'язками доріг у різних рівнях (мал. 1.33).





Малюнок 1.33 – Пропускна здатність перетину автомобільних доріг

Конструктивні зміни на ІРП є можливим методом підвищення споживчих властивостей ІРП, але вимагають обґрунтування зіставлення витрат на будівництво та експлуатацію, оцінки локального та мережевого впливу проведених заходів як на пропускну здатність, так і на безпеку дорожнього руху.

Таким чином, підвищення споживчих властивостей ІРП - це процес оптимізації цільових функцій, що ґрунтується на оцінці вихідних даних та на правильному виборі критеріїв оптимізації. Споживчі властивості ІРП можуть бути підвищені конструктивними, організаційними та програмними методами, а також методами якісного змісту ІРП. При цьому прагнуть забезпечити не максимально можливих споживчих властивостей ІРП, а оптимальних, відповідних реальній дорожньо-транспортній ситуації, враховуючи фінансові та тимчасові ресурси.

Споживчі властивості ізольованих РП можуть бути підвищені такими методами:

- програмними (підбір тривалості зеленого сигналу за годину, адаптивне регулювання, пріоритет громадського транспорту та ін.);
- конструктивними (зміна геометрії перехрестя, пропуск пішоходів у різних рівнях з транспортними потоками та ін.);

- організаційними (перерозподіл потоків смугами, заборони окремих маневрів, обмеження швидкості).

У додатку 2 на підставі німецьких розробок запропоновано систему заходів, спрямовану на підвищення споживчих властивостей ІРП залежно від різних критеріїв недостатньої якості дорожнього руху.

Методи підвищення споживчих властивостей багато в чому ґрунтуються на оцінці пропускної здатності смуг руху ІРП. Для того щоб у сучасних дорожньо-транспортних умовах оцінити пропускну здатність ІРП необхідно простежити як раніше оцінювалася пропускну здатність смуги руху на ІРП.

#### **1.4 Проведені дослідження пропускної здатності обладнаних світлофорами смуг руху автомобільних доріг**

Після Другої світової війни були проведені перші дослідження пропускної здатності регульованих перехресть у США. Гріншилдом, Шапіро та Еріксемом за допомогою відеокамери були проведені виміри окремих параметрів транспортного потоку на регульованих перехрестях. Відеозйомка здійснювалася зі швидкістю 88 кадрів за хвилину (відповідає одному кадру за 0,68 секунд), що значно поступається сучасним відеокамерам щодо точності та чіткості вимірів. Всі світлофорні об'єкти, що спостерігалися, не мали перехідного сигналу «жовтий з червоним» перед зеленим, в якості лінії орієнтування через відсутність стоп-лінії виступала так звана «curb-line» (уявне продовження бордюрного каменю поперек дороги), також смуги руху не були відокремлені один від одного. З цих причин становище перших автомобілів колони сильно відрізнялося. Оцінка результатів здійснювалася після перегляду знятого відео по кадрах під час проектування зображення на сітку для вимірювання відстаней. З відносно малого обсягу вибірки вивели контрольні значення, які у Німеччині ще тривалий період застосовувалися до розрахунку світлофорних програм.

У цьому дослідженні вперше застосовувався розроблений авторами

спосіб тимчасових інтервалів. Було досліджено як чисту колону легкових автомобілів, так і змішану колону при переїзді «curb-line». При цьому стартовий часовий інтервал першого автомобіля мав високе значення від 3,8 секунди. Середні значення часових інтервалів скорочувалися з кожним наступним автомобілем і досягали після шостого автомобіля постійного значення 2,1 секунди, тобто значення потоку насичення дорівнювало 1714 авт./год. сигналу. Як середнє значення для всіх автомобілів, які виїжджали з положення очікування, був отриманий необхідний часовий інтервал 2,4 секунди. Слід зазначити, що з обробці результатів спостережень значення медіани розподілу часових інтервалів було близько математичному сподіванню.

У 1957 і 1958 Ротах провів великі заміри на 23 регульованих перехрестях в Цюріху. Дане дослідження, яке проводилося із значною кількістю персоналу, можна назвати примітивним: час реакції та часові інтервали руху визначалися за допомогою секундоміра. Зі усереднених діаграм «час-шлях» було обчислено значення часових інтервалів. Значення середнього часового інтервалу колони легкових автомобілів було визначено 2,14 секунд для  $n$ -го автомобіля в колоні (при  $n$  більше 3); Стартові часові інтервали не розглядалися. Ротах отримав значення пропускної здатності смуги руху шириною 3 метри ІРП при тривалості дозвільного сигналу 40 секунд 1640 автомобілів за годину зеленого сигналу. Значення пропускної здатності підвищувалося зі збільшенням тривалості сигналу; при 10 секундах зеленого сигналу вона становила лише 1520 автомобілів за одну годину сигналу. При цьому в роботі не вказано, чи йдеться про насичений транспортний потік.

У дослідженні Дефлера, на відміну від інших публікацій, щодо довжини площі для зупинки автомобілів виходили не від середньої довжини автомобіля. Дефлер розділив автомобілі на дві категорії: малопотужні автомобілі (робочий об'єм двигуна  $< 1500 \text{ см}^3$ ) та потужні автомобілі (робочий об'єм двигуна  $> 1500 \text{ см}^3$ ). У роботі були визначено відповідні довжини колон та кількість малопотужних та потужних автомобілів із застосуванням вимірювальної стрічки біля краю дороги. За допомогою секундоміра та відеокамери Дефлер

провів дослідження динаміки руху автомобілів, що виїжджають після стану очікування. Залежності «шлях-час», «швидкість-час» та «прискорення-час» отримані з регресійних розрахунків рівнянь поліномів другого, третього та четвертого ступенів. Відображено також транспортні процеси автомобілів останніх позицій черги. Поряд з часовими інтервалами для автомобілів, що рухаються прямо, були отримані результати для повертаючих ліворуч і праворуч при різних радіусах транспортних засобів, для колон з вантажними автомобілями на різних позиціях черги. Всі значення тимчасових інтервалів були представлені сумарними лініями з параболічною формою, рівняння яких були визначені регресійним аналізом вимірюваних значень. Далі Дефлер встановив, що пропускна здатність смуги руху завширшки 3,50 м на 10% більше ніж на смузі руху завширшки 3 метри.

Боргардс провів широкі дослідження шістнадцяти в'їздів на перехрестя в Штутгарті з 1960 по 1962 р. У своїй публікації він вказує на недоліки методу тимчасових інтервалів, при цьому особливо посилається на роботу Гріншилда. Метод тимчасових інтервалів Боргардс називає «непрямим методом визначення пропускної здатності». При застосуванні цього методу час, який необхідно  $n$ -му автомобілю в середньому, щоб проїхати регульований перехрестя, визначений методом тимчасових інтервалів, прирівнюється до часу, за який в середньому  $n$  автомобілів проїжджають регульований поперечний переріз. Далі Боргардс визначає: «Графіки пропускної здатності (залежність пропускної здатності від тривалості дозвільного сигналу), отримані таким методом виходять у такому вигляді, що тимчасові інтервали складаються підряд і певної тривалості дозвільного сигналу  $n$  перших часових інтервалів ставиться у відповідність пропускну здатність  $n$  автомобілів, відповідно Боргардс застосовує "прямий метод", при якому заміряються моменти проїзду окремих автомобілів через регульований поперечний переріз дороги, і визначається середній розподіл автомобілів за тривалість дозвільного сигналу. При цьому методі враховується, що кількість перехресть, що проїжджають автомобілі, може бути різною. Крім того, при застосуванні прямого методу враховуються

автомобілі, які проїжджають на жовтий сигнал світлофора. Ця частина автомобілів відіграє особливо велику роль при малій тривалості дозвільного сигналу.

Генц у 1982/83 роках визначав значення часових інтервалів на перехрестях у зимових дорожніх умовах у Берліні. При сухій проїжджій частині середнє значення для всіх автомобілів колони, що в'їжджає, дорівнювало 1,79 секунди, а для дороги з зимовою слизькістю (тонкий шар снігу) в середньому 2,93 секунди, а при ожеледиці 3,11 секунди. Таким чином, різниця склала від 1,1 до 1,3 секунди щодо нормального стану дороги. Крім того, можна було встановити вплив використаної смуги руху у прямому напрямку: сумарна лінія для лівої смуги руху вказує на малі середні значення часових інтервалів, що Генц доводив «більшу готовність до ризику при керуванні транспортним засобом». Також було визначено значний вплив часу доби: при поїзді на роботу (з 6:00 до 9:00 годин) середні часові інтервали були помітно меншими ніж у період з 11:00 до 13:00 години, в яку здійснюються поїздки за покупками, різні відвідування та господарські поїздки.

Ан у 1984 р. провів численні цілодобові виміри тимчасових інтервалів на 10 перехрестях у Дюссельдорфі, Дортмунді, Кельні та Гамбурзі. Він встановив залежність часових інтервалів від рівня завантаження розглянутого регульованого в'їзду на перехрестя. Протягом «годин пік» спостерігалися нижчі сумарні значення часових інтервалів. На перехрестях з максимальним завантаженням пропускна здатність була найвищою.

Далі було доведено, що значення часових інтервалів для різних шпальт руху один від одного відрізняються. На лівих смугах руху їх значення були в середньому на 9% менше, що не обгрунтовувалося поведінкою водія (викликаного переважною метою поїздки як, наприклад, трудові поїздки та поїздки за покупками), і при цьому не пояснювалося завантаженням підходу. Після порівняння з попередніми дослідженнями Ан не виявив помітного зниження значень тимчасових інтервалів.

Ан зібрав об'ємний масив даних, у його розпорядженні були результати

для колони в двадцять автомобілів із будь-якою бажаною комбінацією легкових, вантажних автомобілів та автопоїздів. Він зміг довести, що вантажний автомобіль чи автопоїзд впливає як на наступний його, а й у другий автомобіль після нього. Цей зв'язок в інших дослідженнях не визначався. Для визначення часового інтервалу автомобіля, що знаходиться на певній позиції в колоні, враховувався не тільки передній автомобіль. Для третього автомобіля не було встановлено залежності. Вантажівка на першій або останній позиції черги мала менший вплив на зниження пропускної здатності, ніж вона ж у середині колони.

За допомогою комбінованого розрахунку Ан визначив еквівалентні коефіцієнти приведення для вантажівок та автопоїздів.

У дослідженні Аксхаузена, Феллендорфа і Хука, що відбиває останні результати за вимірами тимчасових інтервалів у Німеччині, використовувалася медіана визначення значень тимчасових інтервалів. При цьому не враховувалися тривалі часові інтервали через повільні автомобілі або автомобілі, що під'їхали пізніше ніж основна колона.

Також було досліджено вплив нахилу, ширини та положення смуги руху (зовнішня, внутрішня) та радіус повороту, що повертають ліворуч на часові інтервали. На підставі вимірів було зроблено такі рекомендації:

Для автомобілів, що рухаються прямо:

1. Стандартним значенням інтервалу часу є 1,85 секунди;
2. При вузьких смугах руху ( $< 3$  метри, великих радіусах повороту) значення тимчасового інтервалу має підвищуватись на 0,4 секунди;
3. При виділених смугах для лівих поворотів з коротким часом сигналу, що дозволяє, це значення повинно скорочуватися на 0,15 секунди.

Для тих, хто повертає ліворуч:

1. Стандартне значення часового інтервалу 1,8 секунд;
2. При значному ухилі в зоні очікування ( $>5$  %) значення тимчасового інтервалу має збільшуватися на 0,2 секунди;
3. Умовно сумісні поворотні смуги ліворуч у зустрічному напрямку

повинні враховуватися підвищенням цього значення на 0,1 секунди;

Наведені значення збільшення або зменшення часового інтервалу можуть прийматися одночасно при поєднанні різних умов.

У публікації було узагальнено проведені раніше результати досліджень впливів на величину насичення транспортного потоку з англійської літератури:

- Значення потоку насичення для різної ширини смуги руху

$$M_n = 196 b^2 - 979 b + 2964 \text{ (авт./год)}$$

для ширини смуги руху  $w$  від 2,5 м до 4,0 м

- Значення потоку насичення для повертають праворуч 2080

$$q_s = \frac{2080}{1 + 1,5 \cdot f / r} \quad (1.12)$$

$f$  - частка транспортних засобів, що повертають;  $r$  – радіус повороту, м.

У 2002-2004 роках. Льовашевим А.Г. [4] були отримані залежності часових інтервалів від позиції автомобіля в черзі в Україні (Київ), а також у Німеччині (Бохум). В Україні спостереження проводилися лише двох смугах прямого напрямки руху. Основним завданням дослідження було уточнення коефіцієнтів приведення вантажного транспорту до легкового автомобіля. Крім того, було отримано значення ідеального потоку насичення (1904 авт/год).

У 2006 - 2008 роках. були проведені натурні дослідження [7] лівоповоротних потоків, згідно з якими максимальна величина потоку насичення досягає значень 1950 - 1980 од. радіусі повороту понад 40м. Ним було проаналізовано методи визначення потоків насичення (таблиця 1.7).

Таблиця 1.7 – Методи визначення потоків насичення [7]

Метод	Фіксована частина автомобіля	Автомобілі, що враховуються
Мінімально встановлений інтервал руху	Задній бампер	З моменту встановлення мінімального інтервалу
Метод В.Ф. Вебстера	Передній бампер	Без автомобілів перших та останніх 6-ти секунд такту
Без перших трьох автомобілів	Задня вісь	Починаючи з четвертого автомобіля
Без перших чотирьох Автомобілів	Передня вісь	Починаючи з п'ятого автомобіля
Після 10-ї секунди		Всі автомобілі після 10-ї з
Метод А.Г. Левашева	Задній бампер	Відповідні інтервалу
Канадський метод	Передній бампер	Усе

У таблиці 1.8 на основі даних [3] з доповненнями інших проведених досліджень наведено узагальнені результати спостережень потоку насичення смуг прямого напрямку руху на регульованих світлофорами смугах руху.

Таблиця 1.8 – Величина потоку насичення

Автор дослідження, рік публікації	Характеристики спостережень/Дослідже	Величина потоку насичення, авт/год
Capelly D.S., Pinelli C., 1961	Одна смуга	1714
Webster F.V., Cobbe B.M., 1966	Ширина підходу на перехрестя	
	b = 3,05 м	1850
	b = 3,66 м	1900
	b = 4,27 м	2075
	b = 4,88 м	2475
Carstens R.L., 1971	Одна смуга	1572
King G.F., Wilkson M., 1976	Одна смуга	1636
Branston D., Van Zuyen, 1978	Одна смуга	1750



Kunzman W., 1978p	Одна смуга	1672
Branston, 1979p	Ширина підходу на перехрестя	
	b = 2,98 м	1757
	b = 3,29 м	1767
	b = 3,60 м	1771
	b = 4,39 м	2050
Sosin J.A., 1980p	Одна смуга	1895
Нікурадзе Н.Ш., 1981p	Одна смуга	2150-2250
Axhausen/ellendorf/Hook, 1982г	Залежність потоку насичення від ширини смуги руху	
	$M_n = 196 b^2 - 979 b + 2964$	
	для b = 2,5-4,0 м	1791
	b = 3м	1938
	b = 3,5м	2049
Shanteau K.M., 1988p	Одна смуга	1900-2000
Левашев, 2004p	Значення ідеального	1904
Царіков, 2009p	Максимальне значення потоку насичення при радіусі повороту ліворуч більше 40м	1950 -1980

На підставі результатів спостережень можна зробити такі висновки:

Ступінь точності одержаних окремих значень часових інтервалів у більшій частині досліджень, враховуючи рівень розвитку техніки або ручні методи підрахунку, різні. Спостерігалися значення потоку насичення для автомобілів, що повертають ліворуч, вище значень одержуваних на основі методик.

Оскільки тривалість дозвільного сигналу  $t_3$  може бути різною, для

визначення потоку насичення бажаним є фіксація всіх автомобілів черги, починаючи зі стартового часового інтервалу (так у HBS2001[106] при  $t_3 < 10$  с - рекомендовані значення ідеального потоку насичення 2400 і навіть 3000 авт./год).

При цьому спостереження пропускної здатності смуги руху регульованих перетинів авторами досліджень проводилися двома методами:

- методом часових інтервалів;
- методом поперечного перерізу.

Метод тимчасових інтервалів дозволяє враховувати всі інтервали між автомобілями після включення дозвільного сигналу. Метод поперечного перерізу не дозволяє фіксувати стартовий часовий інтервал. Стартовий часовий інтервал є параметром регульованим транспортного потоку (за рахунок введення сигналу 1-2с червоний/жовтий). Для визначення потоку насичення бажаним є фіксація всієї черги перед перехрестям виділення насиченого і насиченого транспортного потоку. У польових умовах при спостереженнях з височин не завжди можливо фіксувати зміну сигналу світлофора, поперечний переріз дороги і одночасно фіксувати чергу, що роз'їжджається, тому як метод часових інтервалів, так і метод поперечного перерізу можуть використовуватися для оцінки часових інтервалів на регульованому перехресті.

Оскільки основним завданням дослідження автора є отримання значень потоку насичення для різних дорожньо-транспортних умов України необхідно проведення спостережень на більшій кількості смуг руху в різних дорожньо-транспортних умовах.

### **1.5 Мета та завдання кваліфікаційної роботи магістра**

Залежно від точності вихідних даних, від моделей оцінки пропускної здатності умовно-сумісних потоків, від прийнятих значень теоретичної пропускної здатності смуги руху, загальні прогнозовані значення пропускної здатності ІРП можуть істотно відрізнятись. Точна оцінка значень потоку

насичення на ІРП є передумовою прийняття оптимальних рішень під час проектування ІРП.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка рекомендацій щодо вдосконалення методів оцінки та підвищення транспортних споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть вулично-дорожньої мережі міста шляхом врахування закономірностей впливу геометричних характеристик перетинів та складу руху на режими руху сучасних транспортних потоків.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

1. розробити систему споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть, з метою встановлення їх внутрішніх та зовнішніх взаємозв'язків та обґрунтування ефективного методу їх оцінки та розрахунку підвищення;

2. виявити та оцінити закономірності впливу геометричних характеристик перетинів та складу сучасних транспортних потоків на споживчі властивості ізолюваних перетинів на вулично-дорожній мережі міста;

3. розробити математичну модель впливу напрямку та ширини смуги руху, складу транспортного потоку на потік насичення смуги прямого напрямку руху на ізолюваному регульованому перехресті;

4. Розробити рекомендації щодо підвищення транспортних споживчих властивостей ізолюваних регульованих перетинів на ВДМ міст на основі використання в існуючих методах сучасної моделі потоку насичення з урахуванням геометричних характеристик перетинів та сучасного складу транспортних потоків.

## **2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ**

### **2.1 Загальні підходи до теоретичного обґрунтування методики оцінки та підвищення споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть**

Для теоретичного обґрунтування методики оцінки та підвищення споживчих властивостей ІРП скористаємося методами системного аналізу [6], системотехніки вирішення інженерних завдань у будівництві, а також результатами застосування цих методів у дослідженнях модернізації ВДМ міст для вирішення задачі класифікації та розробки системи споживчих властивостей. Вирішення цього завдання вимагає розгляду наступних питань:

- системний аналіз ІРП, як підсистеми складної системи ВДМ, з метою виділення основних елементів цієї підсистеми, встановлення їхньої ієрархії, внутрішніх та зовнішніх взаємозв'язків;

- системний аналіз ІРП як підсистеми ВДМ з метою визначення вимог до цієї системи на цільовому, критеріальному та оціночно-вимірювальному рівнях, елементів цієї системи;

- встановлення системи споживчих властивостей, що описують вимогу та пріоритети різних категорій споживачів до цих елементів (виділення з неї дорожньо-транспортної складової);

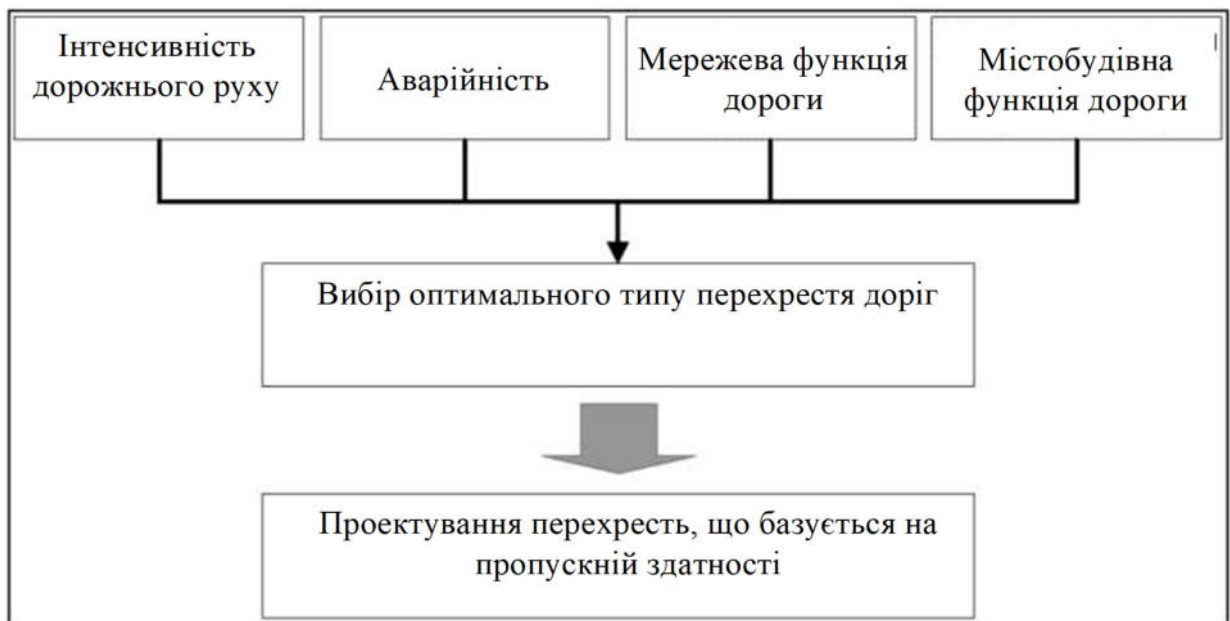
- дослідження (аналіз) функціональних та емпіричних залежностей, що описують споживчі властивості на оціночно-вимірювальному рівні, з метою встановлення взаємозв'язків між ними.

### **2.2 Системний аналіз ізольованого регульованого перехрестя як підсистеми вулично-дорожньої мережі**

Для виділення основних елементів підсистеми ІРП, встановлення ієрархії її елементів, встановлення їх внутрішніх та зовнішніх взаємозв'язків, проведемо

системний аналіз ІРП як підсистеми складної системи ВДМ.

Зовнішні взаємозв'язки ІРП з ВДМ можуть бути визначені з принципів вибору типу перетину на ВДМ. Тож якщо у Україні основними критеріями запровадження світлофорного регулювання на перехресті є інтенсивність дорожнього руху та фактичні показники аварійності [16], то Німеччині до вибору типу перетину автомобільних доріг підходять виходячи з аналізу чинників, представлених на мал. 2.1.



Малюнок 2.1 – Зовнішні фактори, що враховуються при виборі прийнятного типу перетину автомобільних доріг та вулиць у Німеччині [8]

У рекомендаціях в якості класу і категорії вулиць і доріг, що перетинаються, як для регульованих, так і для саморегульованих перетинів, пропонуються магістральні вулиці і дороги загальноміського і районного значення. Вища сумарна інтенсивність вхідних потоків до 4000 од./год належить до регульованих перетинів, на відміну від кільцевих перетинів, на яких рекомендована сумарна інтенсивність до 2500 од./год.

Як альтернатива регульованим перетинам залежно від результатів аналізу визначальних чинників (мал. 2.1) як у Німеччині, і в Україні виступають кільцеві перетину різних типів і розв'язки у різних рівнях. У цьому Німеччині підхід до вибору типу перетину (таблиця 2.1) відрізняється від українського.

Таблиця 2.1 – Типи перетинів автомобільних доріг у міських умовах [8]

	Перехрестя			Кільцеві перетину				Частково у різному рівні
	Без знаків пріоритету	Зі знаками пріоритету	Регульовані перехрестя	Міні кільцеві	Малі кільцеві	Великі кільцеві зі світлофорним регулюванням		
Цільова функція доріг - освоєння територій								
Рівнозначні дороги	+*	0*	-	+*	+*	-	-	
Різне значення доріг	0	+	0	+	+*	-	-	
Перетинання (примикання) з магістральними								
Дорога районного значення/ 2-х смугова магістральна дорога	-	+	+	0	+	-	-	
Дорога районного значення/ 4-х і більше смугова магістральна дорога	-	0	+	-	-	-	-	
Перехрестя магістральних доріг								
Перетин 2-х смугових магістральних доріг	-	0	+	0	+	-	-	
Перетин 2-х та 4-х (і більше) смугових магістральних доріг	-	-	+	-	0	+	0	
Перетин 4-х (і більше) смугових магістральних доріг	-	-	+	-	-	+	0	
Примикання автомагістралі та в'їзду на швидкісну дорогу безперервного руху	-	-	+	-	+	+	0	
* Узгодження послідовності перехресть, збереження характеру території + відповідний 0 умовно підходящий, облік додаткових заходів - не підходящий								

Для аналізу, пошуку рішень та безпосередньо реалізації заходів, спрямованих на підвищення споживчих властивостей регульованих перехресть, необхідне уявлення про елементи регульованого перехрестя. На мал. 2.2 представлено систему управління дорожнім рухом на ІРП, елементи якої повинні враховуватися під час проектування. Транспортні вузли вимагають

інженерно-технічного облаштування для ефективного виконання своїх функцій (безпеки дорожнього руху та достатньої пропускної здатності за рахунок розмітки, дорожніх знаків, острівців безпеки, забезпечення зон видимості; підвищення безпеки та зручності руху для пішоходів та велосипедистів за допомогою ефективної організації шляхів сполучення; підвищення безпеки у темний час доби за рахунок освітлення).



Малюнок 2.2 - Система керування дорожнім рухом за допомогою світлофорного регулювання

Методи підвищення споживчих властивостей обмежені елементами системи керування дорожнім рухом на регульованому перехресті (мал. 2.2):

- проектом транспортного вузла;
- локальним регулюванням;
- інфраструктурою на місцевості.

Локальне регулювання в системі (мал. 2.2) включає обмеження, що накладаються на керування споживчими властивостями:

- період експлуатації (наприклад, з 6:00 до 24:00);
- момент активації конкретної світлофорної програми;
- методи управління на ІРП можуть бути жорсткими або адаптивними різних типів;
- логіка управління дозволяє здійснювати адаптивне регулювання на ІРП за певним алгоритмом;
- структура програми - послідовність фаз та проміжних тактів;
- елементи програми - тривалість вирішальних, забороняючих та проміжних сигналів.

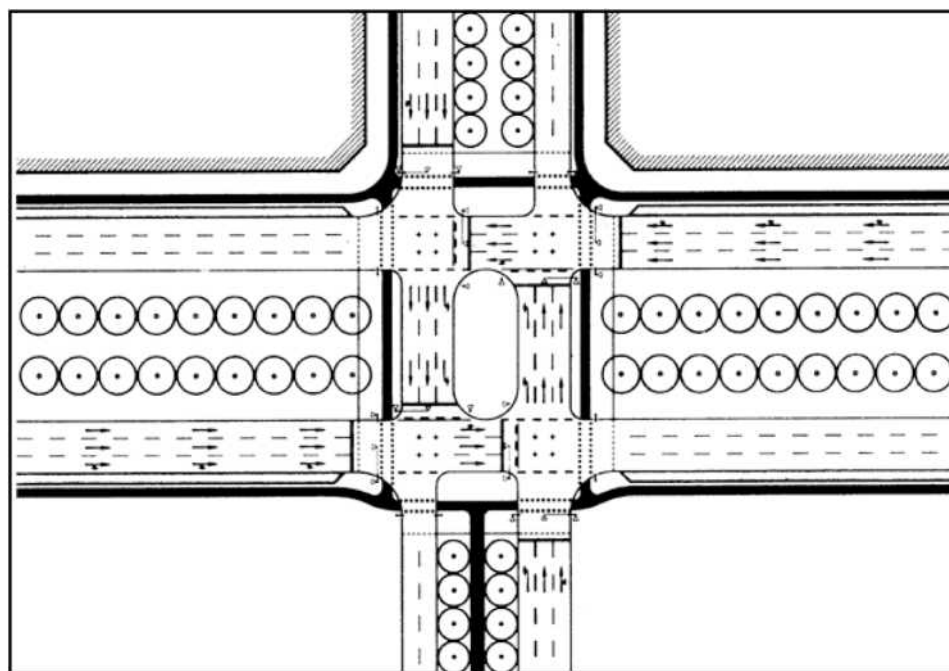
Локальна інфраструктура (мал. 2.2) визначає можливості керування дорожнім рухом та включає:

- транспортні та пішохідні світлофори, обладнані або необладнані додатковими секціями, індикаторами часу дії сигналу світлофора, світлофори з сигналами громадського транспорту;
- дорожні контролери дозволяють здійснювати управління за різною кількістю напрямків, підтримують функції або локального або системного регулювання;
- детектори транспорту дозволяють збирати інформацію про актуальну транспортну ситуацію та здійснювати управління дорожнім рухом у режимі реального часу;
- різні типи кабелів зв'язку (мідні, оптико-волоконні) мають не однакові характеристики за швидкістю та обсягом переданої інформації.

Як в Україні, так і в Німеччині однією з основних класифікаційних ознак регульованих перетинів і примикань автомобільних доріг, що визначають геометрію регульованого транспортного вузла (мал. 2.2) та необхідність улаштування острівців безпеки, виступає інтенсивність руху транспортних засобів, що повертають. У вітчизняних рекомендаціях зазначено, що регульовані перехрестя слід влаштовувати без розширення проїжджої частини,



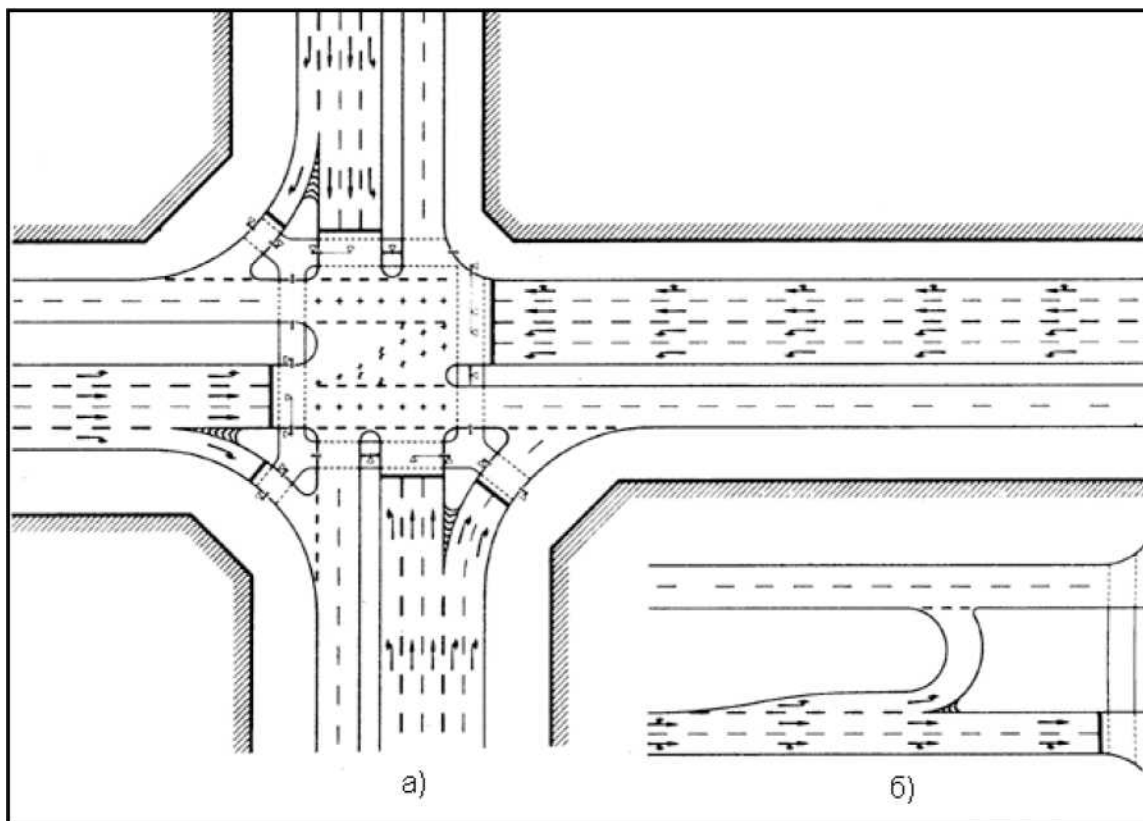
якщо інтенсивність поворотного руху не перевищує двох автомобілів за цикл світлофорного регулювання. При інтенсивності поворотів від 100 до 300 авт./год в одному напрямку слід застосовувати транспортно-планувальні рішення, що забезпечують пристрій додаткових смуг руху, зон накопичення, віднесення лівого повороту за перехрестя або подовження перехрестя з двома стоп-лініями. Відповідно до німецьких рекомендацій [8], від виділених смуг для лівого повороту або виділеної додаткової площі на регульованому перехресті можна відмовитися, тільки якщо всі автомобілі, що повертають ліворуч за один цикл регулювання, можуть зупинитися у вузькій зоні перехрестя і безперешкодно його проїхати. Таким чином, підкреслюється, що кількість транспортних засобів, які можуть безперешкодно повернути, може бути різною, враховуючи площу та геометрію перехрестя (мал. 2.2.3), методи організації дорожнього руху, наприклад, відсікання потоку прямого напрямку для підвищення пропускної здатності потоку автомобілів, що повертають).



Малюнок 2.3 – Конструктивне рішення широкого перетину (4 та більше смуги руху на одній дорозі) магістральних автомобільних доріг та вулиць [10]

У випадку режиму регулювання з виділеною фазою для автомобілів, що повертають ліворуч, на підході перехрестя повинні бути окремі смуги для цього

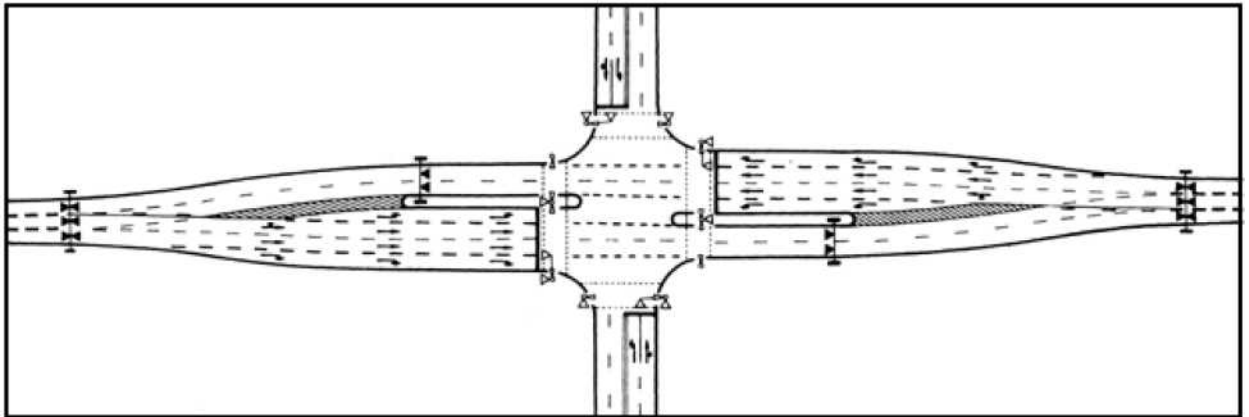
маневру, наприклад, поворот праворуч (мал. 2.4, а). Якщо створити виділену смугу для маневру неможливо і заборонити цей вид маневру не можна, то для транспортних потоків, що розглядаються, повинна бути організована загальна фаза регулювання. У випадку наявності трикутного острівця безпеки для правих поворотів (мал. 2.4 а) повинна бути виділена власна смуга руху. У міських умовах виділені смуги для правого повороту мають функцію накопичення (очікування можливості правого повороту).



Малюнок 2.4 – Забезпечення пропуску транспортних потоків, що повертають, на регульованому перехресті а) Конструктивне забезпечення лівого повороту через центральну розділову смугу перед перехрестям б) [10]

Центральна розділова смуга може використовуватися підвищення споживчих властивостей регульованих перехресть. Так при інтенсивному потоці, що розгортається, його пропуск можливий через центральну розділову смугу перед перехрестям. Широка розділювальна смуга може бути реконструйована з пристроєм коротких смуг накопичення для лівих поворотів (мал. 2.4 б).

У Німеччині широко застосовують розширення проїжджої частини на регульованих перехрестях з улаштуванням коротких смуг накопичення (мал. 2.5). Довжину короткої смуги рекомендується призначати [10] кратної середньому числу автомобілів, що здійснюють поворот наліво за один цикл регулювання  $1,2 n$  (6м на число автомобілів  $n$ ).

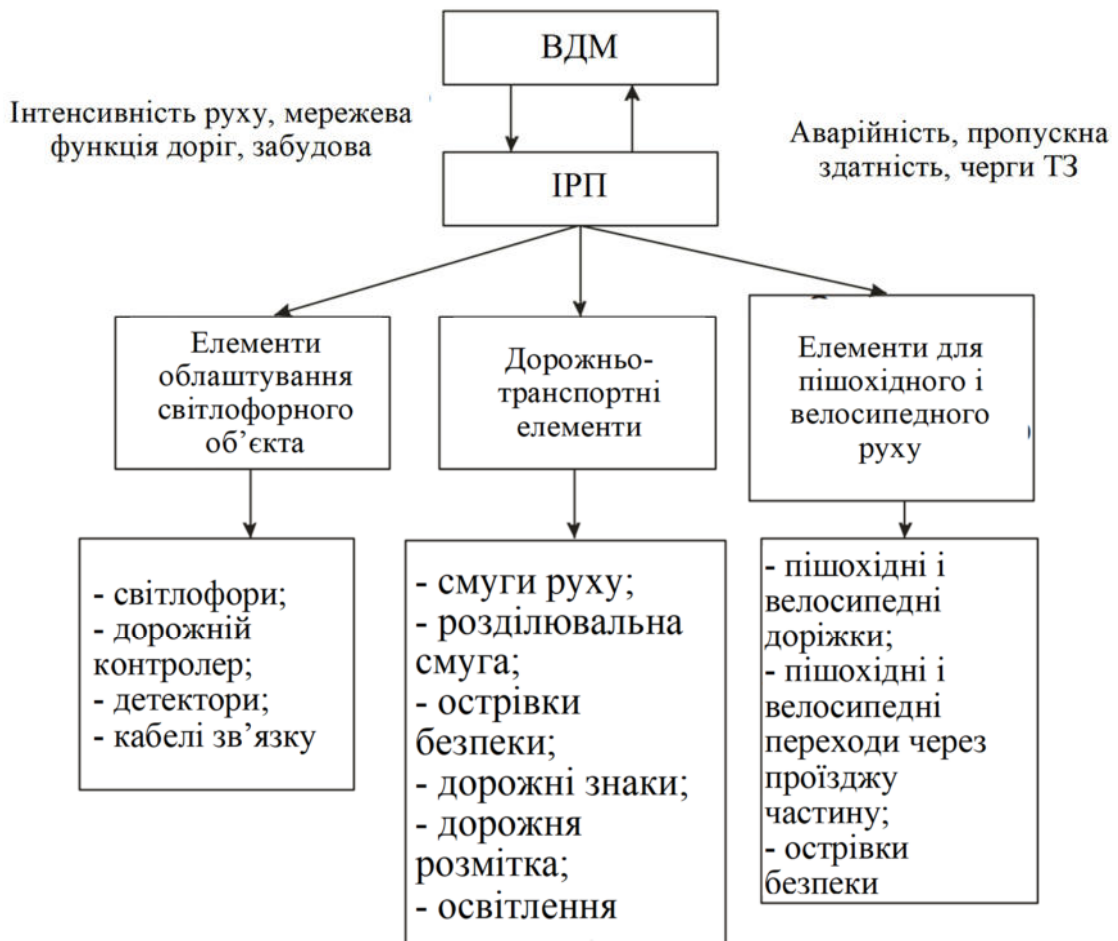


Малюнок 2.5 – Регульоване перехрестя на ділянці ВДМ з реверсивним рухом [10]

У тому випадку, якщо цільовим призначенням ІРП є пропуск транспортних потоків на ділянці перетину автомобільних доріг, то як основні геометричні параметри регульованого перетину, що визначають його споживчі властивості, можна виділити число і типи смуг проїзної частини:

- повні та короткі;
- смуги для прямого напрямку руху (число на виході з перехрестя не повинно бути менше ніж на підході до нього) та смуги, призначені для зміни напрямку руху;
- виділені смуги для руху в одному напрямку та комбіновано використовувані.

Таким чином, аналіз регульованого перехрестя як підсистеми складної системи дозволив уявити систему елементів підсистеми та взаємні зв'язки між ними (мал.2.6).



Малюнок 2.6 – Ізольоване регульоване перехрестя як підсистема ВДМ

## 2.3. Формування системи споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть

### 2.3.1. Принципи формування системи споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть

Перейдемо до системного аналізу ІРП як підсистеми ВДМ з метою визначення вимог до цієї системи на цільовому, критеріальному та оціночно-вимірному рівнях, елементів цієї системи, виділення з неї дорожньо-транспортної складової.

Після виділення елементів системи управління дорожнім рухом на ІРП необхідно визначитися із системою визначальних споживчих властивостей. Для цього пропонується наступна методика визначення функціонально-споживчої системи (ФСС) «Ізольоване регульоване перехрестя» (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Принципові підходи до вирішення завдань щодо формування функціонально-споживчої системи (ФСС) «ізольоване регульоване перехрестя» та вимог до її компонентів

Розв'язувані завдання щодо формування ФСС «ІРП»	Принципові підходи до визначення вимог на відповідному рівні ФСС	Опис вимог у технічній літературі	Метод вирішення завдань	Реалізація вимог до ФСС
1. Завдання формування підсистеми ФСС «ІРП»	Аналіз теорій проектування, експлуатації та реконструкції ІРП	Безпека дорожнього руху; достатня пропускна здатність, прийнятні затримки; естетична сумісність з ландшафтом (міської забудовою) та дотримання екологічних норм; економічність - оптимальне співвідношення витрати - економічний ефект (корисність); зручність для пішоходів: короткі переходи через проїжджу частину та прийнятні затримки.	Опитування експертів	Визначення переліку та назв підсистем споживчих властивостей
2. Завдання формування цільового рівня підсистеми ФПС «ІРП»	Аналіз теорій проектування, експлуатації та реконструкції ІРП	Безпека дорожнього руху; якість дорожнього руху; експлуатаційна надійність; економічність; екологічність; пріоритет пішоходам, користувачам громадського транспорту; візуально-орієнтууючий вплив перехрестя.	Опитування експертів та споживачів	Виділення визначальних цільових споживчих властивостей (безпеки та якості дорожнього руху)
3. Завдання формування критеріального рівня підсистеми ФСС «ІРП»	Аналіз теорій проектування, експлуатації та реконструкції ІРП	Своєчасне розпізнавання перехрестя; достатня видимість; достатнє розуміння учасниками дорожнього руху перехрестя; необхідний стан транспортних та пішохідних шляхів; прийнятні затримки; відсутності перешкод при роз'їзді з перехрестя; достатня пропускна здатність.	Опитування експертів	Формування критеріального рівня визначальних споживчих властивостей (що розраховуються, оцінюються на місцевості та статистичних)
4. Завдання формування оціночно-вимірювального рівня підсистеми ФСС «ІРП»	Аналіз теорій проектування, експлуатації та реконструкції ІРП	Обґрунтування якості дорожнього руху на ІРП є одним із основних завдань при проектуванні.	Аналіз технічної літератури	Визначення значень критеріїв якісного дорожнього руху на ІРП

Незважаючи на те, що технічні засоби організації дорожнього руху встановлюються на існуюче перехрестя, необхідна перевірка того, що умови дорожнього руху на цьому перехресті задовольняють вимоги безпеки, зручності та логіки водіїв, які повинні розуміти, як їм проїжджати перехрестя без побоювання в ДТП. Конструктивні елементи самого перехрестя (острівці безпеки, виділені за допомогою розмітки смуги руху, розділові смуги зустрічних напрямків за допомогою розмітки або бордюрного каменю) значно визначають пропускну здатність та безпеку дорожнього руху на ІРП (мал. 2.7).



Малюнок 2.7 – Регульоване перехрестя в Токіо

Організація дорожнього руху на перехресті повинна відповідати функціональним вимогам магістралей, що перетинаються (пріоритет основним напрямкам, забезпечення максимальної швидкості проїзду перетину).

Як основні вимоги до перетинів і примикань доріг можна виділити:

- безпека дорожнього руху;
- достатня пропускну здатність, прийнятні затримки;
- естетична сумісність з ландшафтом (міської забудовою) та дотримання екологічних норм;
- економічність - оптимальне співвідношення витрати - економічний ефект (корисність);
- зручність для пішоходів: короткі переходи через проїжджу частину та прийнятні затримки.

Безпека дорожнього руху може бути забезпечена за допомогою заходів поділу потоків у просторі (окремі смуги руху, розділові острівці) та у часі (світлофорне регулювання). Водій, наближаючись до ІРП, має оцінити, як йому потрібно проїжджати перехрестя, зокрема заздалегідь бачити пріоритетні транспортні та пішохідні потоки. Усі учасники дорожнього руху на перехресті повинні при наближенні до нього розуміти, як, згідно з правилами дорожнього руху, їм потрібно діяти (послідовність перетину перехрестя потоками різних напрямків, повороти транспортних засобів, пріоритет окремих потоків тощо). Потрібно враховувати габарити та динамічні характеристики транспортних засобів на конкретному перехресті (наприклад, регулярні автопоїзди), а також вимоги пішоходів (наприклад, групи населення з обмеженими можливостями).

Своєчасне розпізнавання перехрестя (мал. 2.8) може бути досягнуто за рахунок:

- розташування перехрестя або другорядної вулиці на увігнутій кривій у профілі;
- оптичного виділення перехрестя (вільні простори перед перехрестям у забудові та в зелених насадженнях);
- вказівок, що своєчасно кидаються в очі (дорожні знаки, розмітка) визначальних поведінка водіїв перед перехрестям на ньому та після перехрестя;
- будівництва роздільних острівців на другорядних в'їздах для підкреслення обов'язку очікувати і на виділення однозначної траєкторії руху транспортних потоків;
- достатнього за площею розширення в'їзду на перехресті для додаткових смуг (накопичення та гальмування), для розмітки проїжджої частини та острівців (подовження зон поділяючих зустрічні напрямки потоків при розташуванні на опуклій кривій у поздовжньому профілі та на кривій у плані).





Малюнок 2.8 – Регульоване перехрестя в Німеччині

Добра видимість (мал. 2.8) може бути досягнута за рахунок:

- забезпечення трикутників видимості відповідно до дозволених швидкостей руху;



Малюнок 2.9 – Незадовільна бічна оглядовість та видимість зустрічного потоку на перехресті в Україні



- перетину доріг під прямим кутом, уникнення перетину під гострим кутом;

- розташування смуг для лівих поворотів так, що забезпечується видимість зустрічних потоків;

- розміщення покажчиків напрямків руху та елементів облаштування для безпеки дорожнього руху без перекриття необхідних зон видимості пріоритетних транспортних та пішохідних потоків;

- мінімізації зони траєкторії руху та каналізація транспортних потоків (по можливості односмуговий другорядний в'їзд, щоб уникнути взаємного перекриття зон видимості при очікуванні проїзду на кількох смугах);

- основні потоки по можливості повинні пропускатися з мінімальними затримками, слід уникати концентрації конфліктних зон основних потоків.

Добре розуміння учасниками дорожнього руху перехрестя (мал. 2.10) досягається за рахунок:

- застосування простих, загальновідомих форм перехресть, зведення до основних видів перехресть;

- погодження регулювання пріоритетності проїзду та забудови;

- оптичного спрямування транспортних потоків за допомогою кромek острівців безпеки, що виділяються вершин острівців, кромek проїжджої частини, розмітки проїжджої частини та інших напрямних елементів;

- найкоротших (без необхідності обходу), виділених пішохідних переходів у зонах перехресть, у разі потреби за допомогою острівців;

- скорочення кількості одночасно можливих рішень учасників дорожнього руху щодо своїх дій на дорозі;

- добре видимих, однозначно зрозумілих покажчиків напрямків руху та інших дорожніх знаків.



Малюнок 2.10 – Регульоване перехрестя в Німеччині

Необхідний стан транспортних та пішохідних шляхів (мал. 2.10) досягається за рахунок:

- всі смуги руху повинні мати достатню ширину, руху та для здійснення маневрів;
- межі смуг руху мають бути виділені за допомогою розмітки чи бордюром;
- головні транспортні потоки повинні пропускатися через перехрестя по можливості прямо чи з незначними відхиленнями від прямої траєкторії;
- кромки проїжджих частин, а також острівців безпеки повинні відповідати геометричним параметрам при поворотах розрахункових великогабаритних транспортних засобів по можливості без виїзду на сусідні смуги руху;
- зони очікування для пішоходів мають бути достатнього розміру;
- повинен бути правильно, за допомогою ухилів проїжджої частини, тротуарів та зелених зон, організовано працездатне водовідведення.

Наведені вимоги можуть бути виконані за допомогою тих самих конструктивних заходів. З іншого боку, багато з названих критеріїв не можуть бути здійснені через обмежувальні умови (наприклад, щільну забудову). Тоді

здля забезпечення безпеки дорожнього руху приймаються компромісні рішення (наприклад, обмеження швидкості, заборони окремих маневрів та інших).

У закордонному дослідженні проблеми управління якістю дорожнього руху на світлофорному об'єкті [10] вирішуються за допомогою використання системи факторів на споживчі властивості та цільові функції споживчих властивостей як процес виробництва якісного продукту.

Критерії, що піддаються кількісній оцінці (затримки, довжина черг автомобілів, відносна кількість ДТП та ін.) визначають цільові функції категорій «якість дорожнього руху» та «безпека дорожнього руху». Крім безпеки та якості дорожнього руху, для комплексної оцінки умов дорожнього руху на ІРП необхідно виділення також якісних параметрів, що впливають на дорожній рух на перехресті (недоліки) та категорії «експлуатаційна надійність». Підставою цьому є те, що затримки, що оцінюються, і ступінь завантаження не дозволяють врахувати всі недоліки ІРП, крім того, ці критерії часто не оцінюються на місцевості, а визначаються з похибками і припущеннями за формулами.

Показником оцінки безпеки дорожнього руху є не тільки фактична кількість ДТП, а й виникаючі небезпечні ситуації (що ще не призводили до ДТП), які можуть бути оцінені за недоліками на місцевості (наприклад, несвоєчасне розпізнавання перехрестя при під'їзді до нього, погана бічна видимість, незадовільний стан транспортних засобів).

Спостереження проведені у містах України показали істотну роль експлуатаційної надійності ІРП (часті виходи з ладу світлофорів у місті підвищують потенційну ймовірність виникнення ДТП, призводять до збільшення заторів та затримок на перехресті, при цьому знижують пропускну здатність перехресть).

При узагальненій оцінці умов дорожнього руху в Німеччині вагове значення цільових функцій «якість дорожнього руху», «безпека дорожнього руху» та «експлуатаційна надійність» оцінюються фахівцями відповідно як 40%/40%/20% або 50%/40%/10% [13]. Тобто. значення якості дорожнього руху (затримки на перехресті, ступінь завантаження, пропускну здатність) оцінюється

не менше, а іноді й вище ніж безпека дорожнього руху (потенційна ймовірність ДТП), також наголошується на значущості експлуатаційної надійності.

Для оцінки умов дорожнього руху на ІРП місті було обрано найбільш завантажені перехрестя. Для цих перехресть з інтенсивним лівоповоротним рухом характерна недостатня площа зон очікування (накопичення) при поворотах наліво, а також відсутність достатнього зсуву початку наступної фази після потоку, що просочується (мал. 2.11). Водії, які виїжджають на перехрестя у фазу після потоку, що просочується, змушені пригальмовувати і пропускати автомобілі, що повертають ліворуч. При інтенсивному лівоповоротному потоці та значних затримках на перехресті відсутність зсувів початку зеленого сигналу призводить до підвищеного ризику ДТП.



Малюнок 2.11 – Ситуація на перехресті пр. С. Бандери-вул. Слівенська-вул. Коновальця до реорганізації





Малюнок 2.12 – Аварійна ситуація при на перехресті пр. С. Бандери-вул. Слівенська- вул. Коновальця до реорганізації

Спостереження у Тернополі показали регулярність виїзду за стоп - лінію і навіть на пішохідний перехід автомобілів перед сигналом світлофора (мал. 2.3.1.7). Було зафіксовано одну ДТП, через недостатню пропускну здатність виїзду з перехрестя та високого ступеня завантаження в'їздів на перехрестя (мал. 2.3.1.8). Як причину можна назвати і поведінку водіїв, які, згідно з правилами дорожнього руху [5], не повинні в'їжджати на перехрестя, якщо утворюються затори, які змусять водія зупинитися, створивши перешкоду для руху транспортних засобів у поперечному напрямку.

Для оцінки важливості споживчих якостей ІРП потрібно провести експертне опитування.

### 2.3.2 Методика проведення експертної оцінки

Мета виконання - встановити систему та значущість показників, що описують споживчі властивості регульованих перехресть, різними учасниками дорожнього руху (водіями, користувачами громадського транспорту, пішоходами), а також експертами в галузі проектування автомобільних доріг та вулиць та організації дорожнього руху.

Для оцінки використовується метод ранжування.

Для виконання оцінки використовується незалежна думка експертів та учасників дорожнього руху, виражена індивідуально та самостійно в окремій анкеті.

Перед учасником опитування ставиться завдання визначити ранг кожного показника, зазначеного в анкеті, шляхом визначення його порядкового номера серед запропонованих показників. Номер "1" означає найбільшу значущість, останній номер (наприклад, "3") найменшу значимість.

Експертне опитування виконується в один етап. Призначення додаткового туру виконання оцінки можливе у разі недостатнього показника узгодженості думок в опитуваних групах. Проведення додаткового туру оцінки виконується відповідно до цієї методики щодо не узгоджених результатів.

Порядок підбору учасників опитування. З груп експертів, водіїв, пішоходів, користувачів громадського транспорту чисельністю по 40 осіб випадково відібрано підгрупи по 20 осіб, серед яких і проводилося опитування. Вік учасників опитування від 24 до 65 років.

Обробка результатів оцінки споживчих властивостей регульованих перехресть здійснюється наступним чином. Думки учасників опитування, висловлені в анкетах, зібрані та систематизовані. Підготовка анкет для введення даних до комп'ютера виконується в наступній послідовності:

- оцінка значущості кожного цільового показника;
- оцінка значущості для визначальних показників на критеріальному рівні.

Послідовність обчислення значущості показників методом арифметичних та медіанних рангів на всіх рівнях виконується у такому порядку:

- складається матриця вихідних значень оцінок;
- значення рангів підсумовується по шпальтах;
- знаходиться середньоарифметичне значення рангу показника (ставлення суми рангів до опитаних) - метод середньоарифметичних рангів (балів);

- складається розрахункова матриця для обчислення значущості методом медіанних рангів, з цією метою значення рангів у кожному стовпці вибудовується в міру зростання (упорядковується від мінімального до максимального значення) при цьому однакові значення не викидаються, а дублюються (загальна кількість значень у стовпці має обов'язково дорівнювати числу опитуваних);

- у стовпці 1 матриці вихідних значень виділяється медіана, для якої вибираються відповідні значення зі стовпців з упорядкованими рангами (розрахункова матриця для методу медіанних рангів);

- для обчислення остаточної величини значущості:

- по-перше, визначається цілісне значення рангів обчислених методом арифметичних та медіанних рангів;

- по-друге, визначається середньоарифметичне значення підсумкових рангів встановлених методом арифметичних та медіанних рангів;

- по-третє, обчислюється величина обернено пропорційна середньоарифметичному значенню підсумкових рангів;

- по-четверте, знаходиться сума отриманих обернено пропорційних величин;

- по-п'яте, кожне обернено пропорційне значення ділиться на суму обернено-пропорційних величин, результат - коефіцієнт значущості відповідного показника.

Визначення взаємозв'язку ранжувань думок експертів виконується методом рангової кореляції та оцінюється за допомогою коефіцієнта Спірмана:

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2.1)$$

де  $D_i$  - різниця між рангами, присвоєними кожній із змінних  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $n$  – розмір вибірки.

Спочатку взаємозв'язок ранжувань думок визначається попарно кожної неоднакової пари складеної з показників що у обчисленнях. Потім обчислюється взаємозв'язок думок учасників опитування за всіма показниками.

Коефіцієнт Спірмана набуває значень з інтервалу  $[-1; +1]$ . За відсутності кореляційного зв'язку між рангами за двома змінними коефіцієнт дорівнює нулю. Позитивні значення коефіцієнта відповідають прямій ранговій кореляції, при повній прямій кореляції (ранги всіх об'єктів за двома змінними збігаються)  $r_s = +1$ . Негативні значення коефіцієнта свідчать про те, що зв'язок є зворотним, при повному зворотному зв'язку (ранги об'єктів за двома змінними є протилежними)  $r_s = -1$ .

Рішення про взаємозв'язок думок експертів приймають за значення коефіцієнта Спірмана менше ( $-0,5$ ) чи більше  $0,5$ .

Оцінка узгодженості думок експертів:

Визначення узгодженості думок опитаних проведено дисперсійним коефіцієнтом конкордації.

Дисперсійний коефіцієнт конкордації визначається за такою формулою:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)} \quad (2.2)$$

де  $m$  – кількість учасників опитування;

$n$  – кількість споживчих властивостей однієї класифікаційної групи;

$$S = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r} \right)^2, \quad \bar{r} - \text{оцінка математичного сподівання,}$$

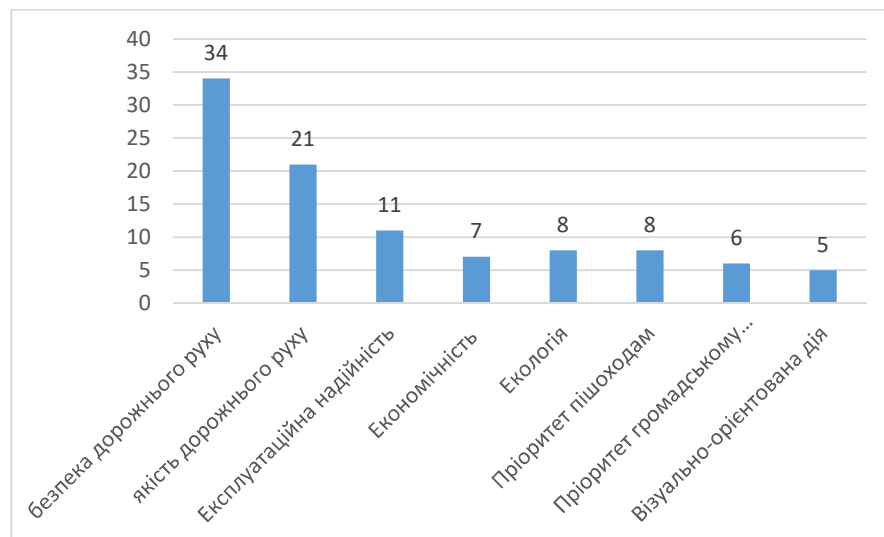


$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i, \sum_{j=1}^m r_{ij} = im, (j=1, \dots, m; i=1, \dots, n). \quad (2.3)$$

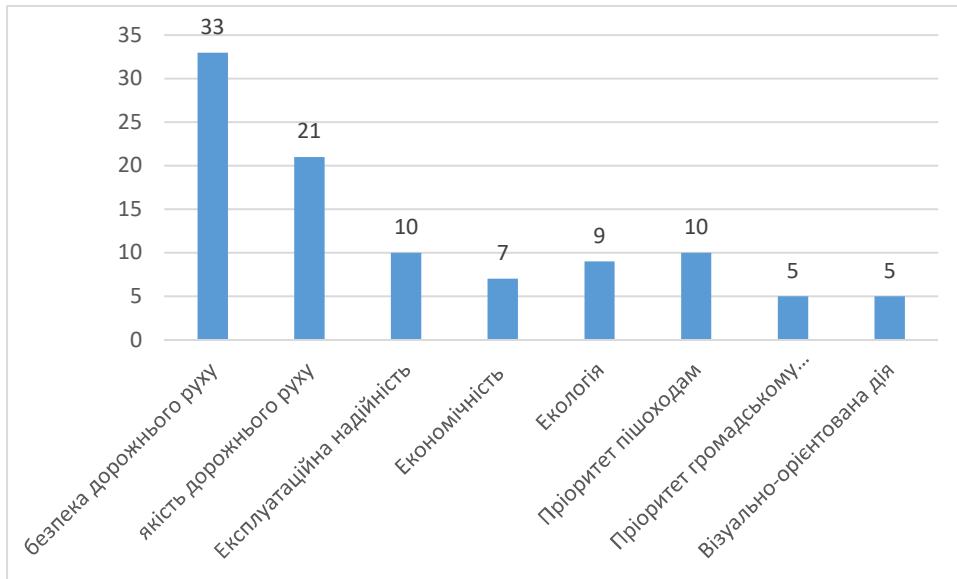
Коефіцієнт конкордації дорівнює 1, якщо ранжування експертів однакові. Коефіцієнт конкордації дорівнює нулю, якщо всі ранжування різні, т. е. немає збігу. Рішення про узгодженість думок експертів приймають за значення коефіцієнта конкордації більше 0,5.

### 2.3.3. Аналіз результатів експертного опитування визначення системи споживчих властивостей

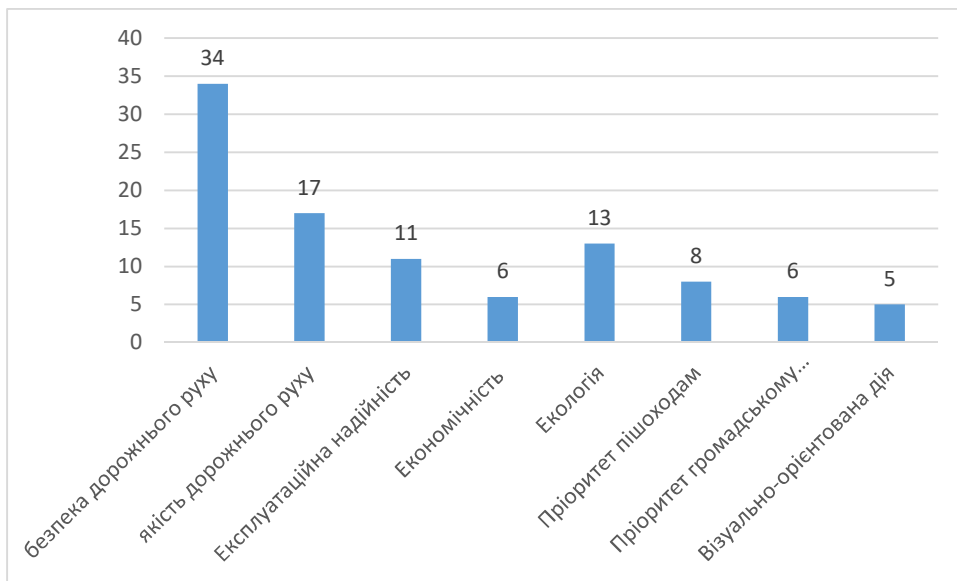
Згідно з результатами опитування значимості показників на цільовому рівні, думка експертів та водіїв, відрізняються від думки пішоходів та користувачів громадського транспорту. Визначальними цільовими споживчими властивостями згідно з опитуванням є безпека та якість дорожнього руху, причому безпека оцінена як найбільш значима споживча властивість у всіх опитуваних підгрупах. Тільки для пішоходів екологічні споживчі властивості оцінені вище, ніж якість дорожнього руху.



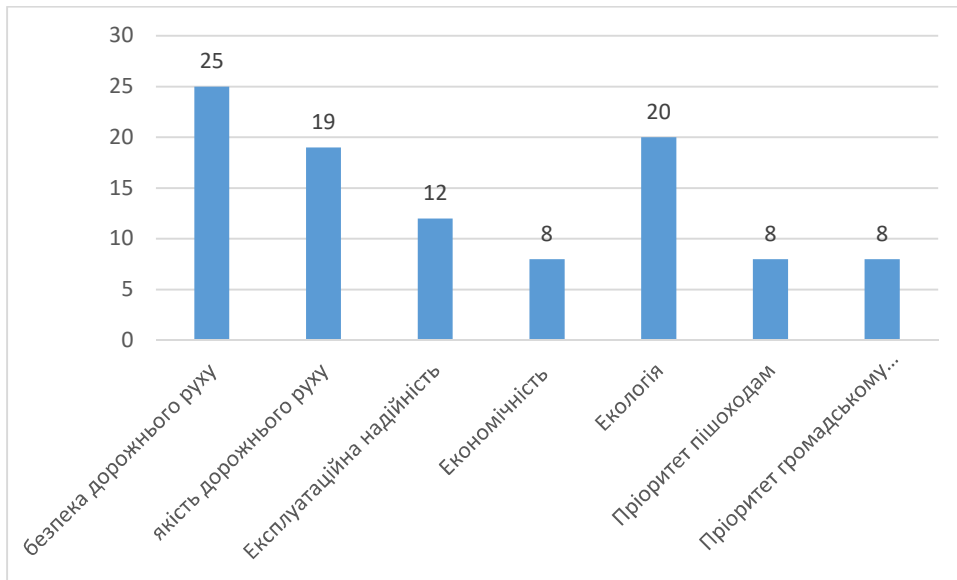
Малюнок 2.13 – Результат опитування експертів, коеф. Спірмана  $r = 0,93$ ; коеф. конкордації  $W = 0,65$



Малюнок 2.14 – Результат опитування водіїв, коеф. Спірмана  $r = 0,94$ ; коеф. конкордації  $W = 0,58$



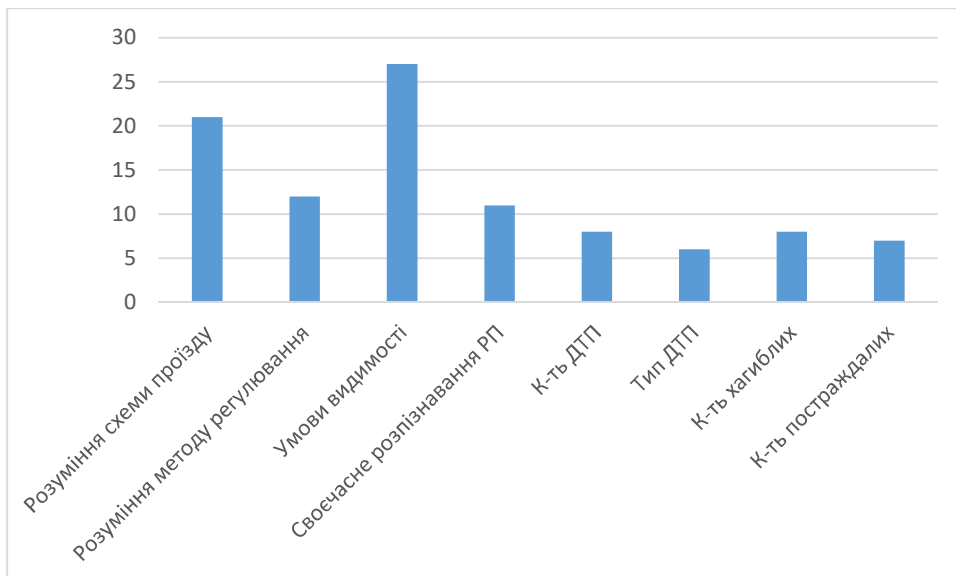
Малюнок 2.15 – Результат опитування користувачів громадського транспорту, коеф. Спірмана  $r = 0,92$ ; коеф. конкордації  $W = 0,73$



Малюнок 2.16 – Результат опитування пішоходів, коеф. Спірмана  $r = 0,97$ ;  
 коеф. конкордації  $W = 0,63$

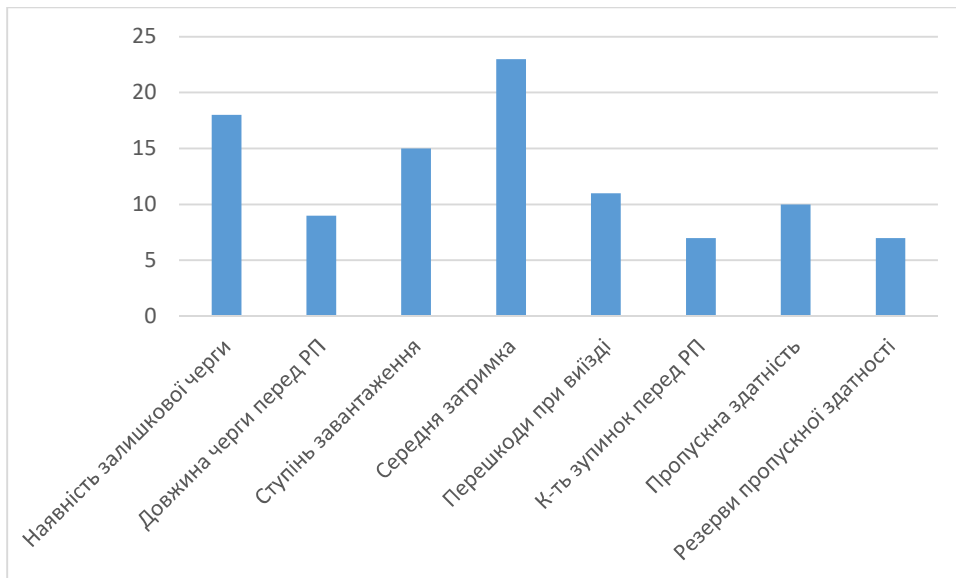
Споживчі властивості пішоходів та користувачів громадського транспорту згідно з опитуванням є малозначними, тому надалі в роботі розглядатися не будуть.

На критеріальному рівні визначальними споживчими властивостями категорії БДР (мал. 2.17) є умови видимості, розуміння того, як проїхати по перехрестю, для категорії якість дорожнього руху (мал. 2.18) – середня затримка та наявність залишкової черги (якість дорожнього руху на ІРП).



Малюнок 2.17 – Значимість показників безпеки дорожнього руху при ІРП

експертами,  $r = 0,88, W = 0,65$



Малюнок 2.18 – Значимість показників безпеки дорожнього руху при ІРП експертами,  $r = 0,94, W = 0,69$

Щоб визначити які споживчі властивості необхідно підвищувати залежно від цільових функцій ІРП необхідно систематизувати споживчі властивості.

## **2.4 Система споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть**

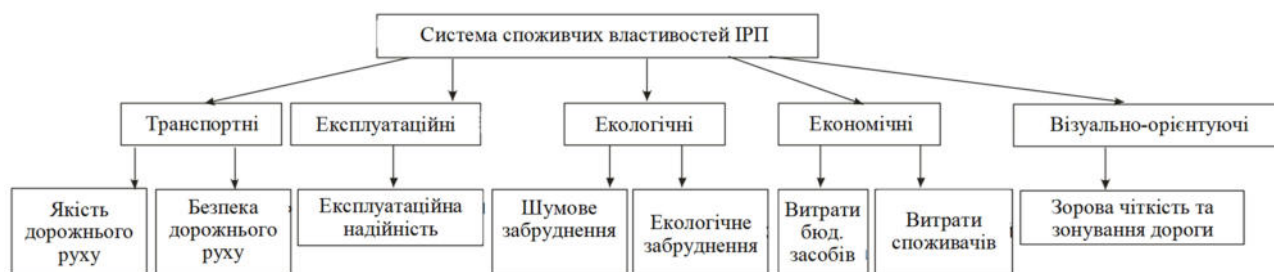
Враховувати всі споживчі властивості регульованого перехрестя доріг завдання трудомістке, так як на регульованому перехресті стикаються інтереси великої кількості зацікавлених осіб. До потреби оцінки споживчих властивостей потрібно підходити диференційовано залежно від стадії проектування, цілей та завдань підвищення споживчих властивостей, пріоритетності окремих учасників дорожнього руху чи інших зацікавлених осіб на ІРП.

Експлуатуюча організація та контролюючі органи повинні відповідати за експлуатаційну надійність. Екологічний вплив має насамперед враховуватися на перехрестях, розташованих поруч із пішохідними зонами з інтенсивним пішохідним рухом і житловими масивами, і навіть під час вирішення

стратегічних транспортних завдань. Так як найбільш ефективні методики підвищення екологічних споживчих властивостей на регульованому перехресті пов'язані з типами транспортних засобів, що проїжджають через перехрестя, а основний екологічний вплив чиниться на місцевих жителів.

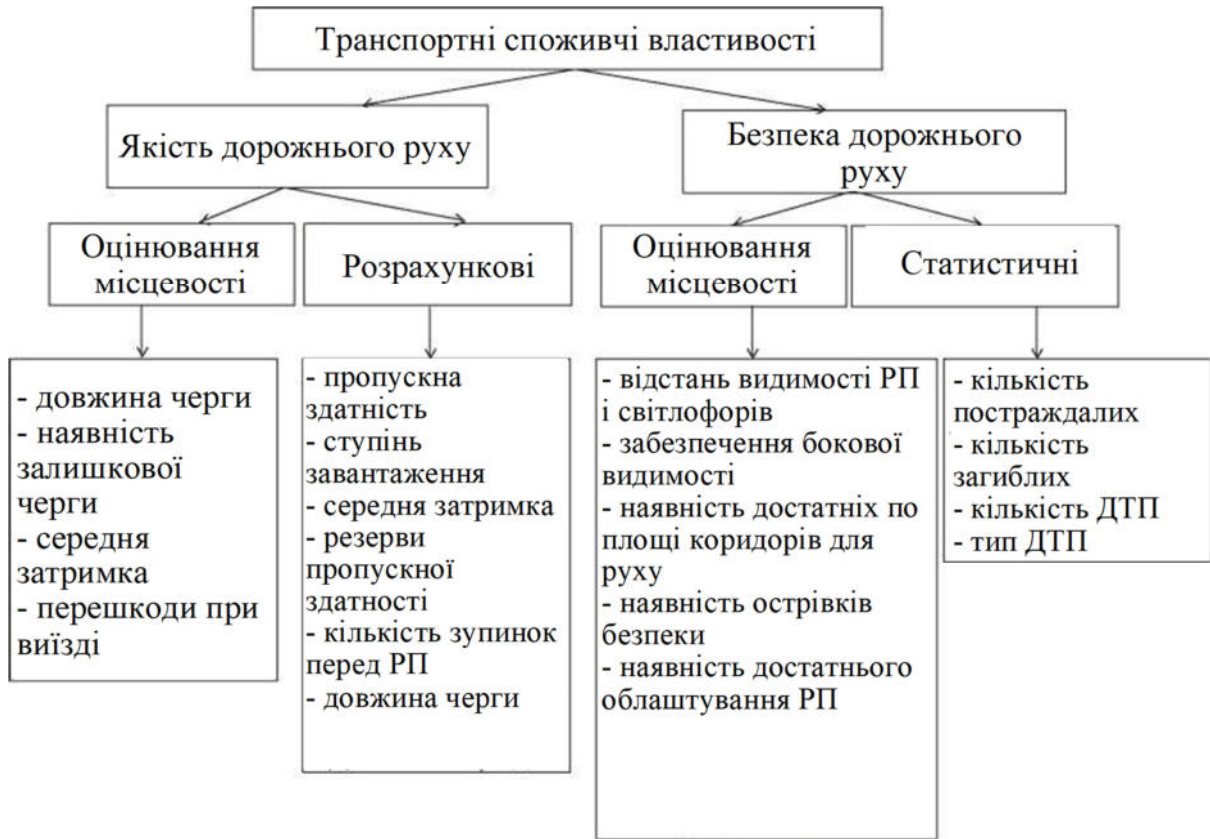
Економічні чинники є вирішальними щодо чи не проведення заходів щодо підвищення споживчих властивостей ІРП. У цьому економічна оцінка (детальна чи укрупнена), на думку автора, має проводитися обов'язково, так як ухвалення навіть стратегічних рішень (наприклад, у генплані про будівництво розв'язок у різному рівні) без урахування фінансування дорожньої галузі регіону необґрунтоване.

Незважаючи на ряд переваг математичної оптимізації за допомогою представлених формул для визначення затримок і ступенів завантаження, врахувати всі споживчі властивості ІРП не можна. На основі аналізу наукової літератури, методів оцінки та підвищення споживчих властивостей ІРП можна сформулювати систему споживчих властивостей для оцінки рівня їхньої оптимальності (мал. 2.19).



Малюнок 2.19 – Система споживчих властивостей ізольованого регульованого перехрестя

При цьому транспортні споживчі властивості, є визначальними, на думку експертів, можна систематизувати в такий спосіб (мал. 2.20)



Малюнок 2.20 – Транспортні споживчі властивості ізольованих регульованих перехресть

Підставою запропонованої системи споживчих властивостей є системний аналіз ІРП як підсистеми ВДМ, і навіть результати експертного опитування. На думку автора, запропонована система має сприяти комплексній оцінці умов дорожнього руху на ІРП (виявленню причин та встановленню наслідків незадовільних споживчих властивостей), обґрунтуванню тих чи інших оптимізаційних заходів.

Критеріями, що свідчать про безпеку дорожнього руху на ІРП, які можуть бути зафіксовані в момент обстеження, є: кількість та ступінь небезпеки конфліктних точок між потоками, що пропускаються; забезпеченість бічної видимості; відстань, на якій можна розпізнати перехрестя при наближенні до нього; відповідність логіки руху водіїв та пішоходів схемою організації дорожнього руху. Статистичні показники аварійності не можуть бути безпосередньо визначені не водіями, не пішоходами, крім того, на ці показники впливають безліч інших непрямих причин (погодні умови, стан покриття

проїзної частини та ін.).

Основним оцінюваним з розрахунку і що визначається біля споживчою властивістю на критеріальному рівні ІРП водіям і пасажирів є середня затримка цьому перехресті. Якість дорожнього руху є споживчою властивістю ІРП, що сприймається учасниками дорожнього руху через затримки. Тому підвищення споживчих властивостей ІРП при пріоритетному обліку транспортних потоків (згідно з думкою експертів) - це підвищення якості дорожнього руху, тобто. скорочення середніх затримок. Наявність залишкової черги після роз'їзду основної черги автомобілів за тривалість сигналу свідчить про перевантаження даної фази регулювання, а значить про низькі споживчі властивості ІРП. Одним із найважливіших допоміжних споживчих властивостей ІРП є величина потоку насичення, значення якої визначає точність оцінки параметрів управління (ступеня завантаження, затримок, довжин черг, пропускної здатності). Уточнення значень величини потоку насичення для дорожньо-транспортних умов України є основним завданням дослідження у кваліфікаційній роботі.

## **2.5 Пріоритетність заходів підвищення споживчих властивостей ізольованих регульованих перехресть та оцінка їх ефективності**

Як було зазначено раніше, альтернативою математичної оптимізації, спрямованої на підвищення споживчих властивостей ІРП, є управлінські рішення, що ґрунтуються на чітких механізмах прийняття рішень. У Німеччині в останні роки розроблено низку рекомендацій щодо менеджменту якості дорожнього руху на ІРП [10], в яких на основі комплексу спрощених методик та алгоритмів пропонується набір оптимізаційних заходів спрямованих на підвищення споживчих властивостей РП.

Відомо, що проектування регульованого перехрестя ґрунтується на вихідних даних, які за період експлуатації як у короткостроковій перспективі (протягом доби, тижня, місяця, року), так і протягом усього часу експлуатації можуть значно змінюватись. Крім підвищення інтенсивності дорожнього руху

можуть змінюватися розподілу інтенсивностей дорожнього руху за напрямками. У випадку обмежених ресурсів (фінансових, тимчасових) лише у виняткових випадках (проблемні перетину) проводиться детальне дослідження умов дорожнього руху на ІРП [9].

Враховуючи класифікацію [64], міські дороги та вулиці в Україні можна розділити відповідно до мережевого значення доріг та вулиць:

1. магістральні шляхи швидкісного руху; магістральні вулиці загальноміського значення безперервного руху;
2. Магістральні вулиці загальноміського значення регульованого руху; магістральні дороги регульованого руху;
3. Магістральні вулиці районного значення та інші.

Класифікувати регульовані перехрестя можна згідно з таблицею 2.3.

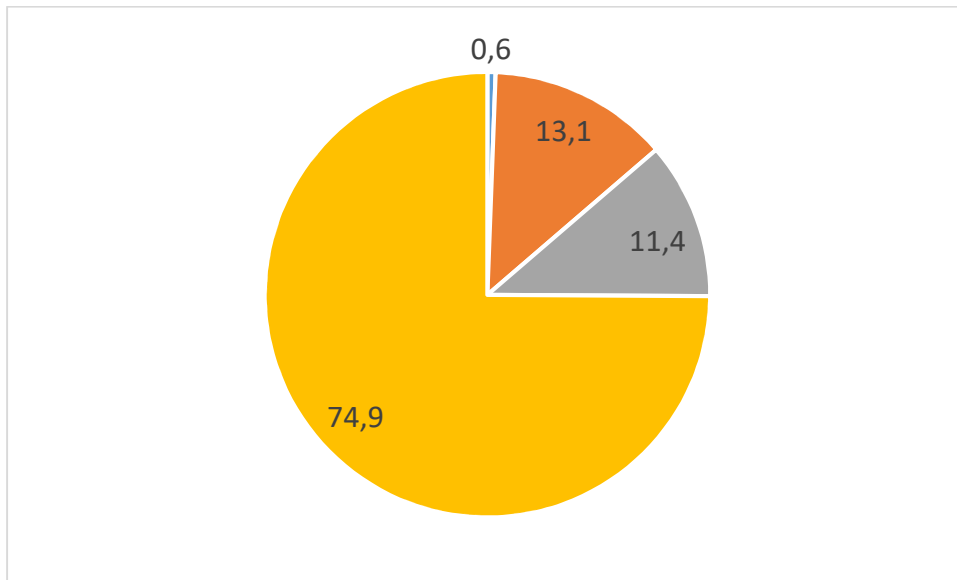
Таблиця 2.3 – Класифікація перехресть регульованого руху

Клас транспортного вузла	Класи доріг і вулиць, що перетинаються
1	1-2, 1-1 - як виняток
2	2-2
3	2-3
4	3-3

З аналізу розподілу ІРП в м. Тернопіль згідно з представленою класифікацією, видно, що близько 75% ІРП знаходяться на перетинах 3-го класу, частка ІРП 1,2 і 4-го класу близько 25%.

Так для перетинів 3-го та 4-го класів пріоритет може мати БДР над пропускнуою спроможністю з обмеженим застосуванням пропуску транспортних засобів з конфліктом, з великою кількістю фаз регулювання. А для 1-го та 2-го класів пропускну здатність транспортних потоків над БДР - із забезпеченням пропуску пішоходів у різних рівнях, з мінімальним числом фаз регулювання.





Малюнок 2.21 – Частка регульованих перехресть за класами у м. Тернопіль

Запропонована класифікація ІРП є прикладом, розробка аналога німецьких рекомендацій [9] щодо менеджменту якості дорожнього руху на ІРП є, на думку автора, актуальним завданням для дослідження.

Для сучасних умов недостатнього фінансування транспортної інфраструктури до саме менеджмент якості, заснований на чітких методиках прийняття оптимальних рішень, може сприяти підвищенню споживчих властивостей ІРП. Керувати якістю дорожнього руху на ІРП можна за допомогою оцінки рівня зручності руху до проведення конструктивних чи програмних змін; прогнозування РЗР на етапі проектування, враховуючи витрати, наявність площ, ефект від різних варіантів рішень; оцінки якості руху після здійснення запроектованих заходів з огляду на сприйняття якості дорожнього руху користувачами. При цьому можна оцінити різницю між очікуваною, бажаною, досягнутою і сприйманою якістю, виявити прорахунки та помилки, що продуктивність проводили проектні та будівельні роботи організацій.

Якщо відсутні можливості для покращення умов руху всіх сигнальних груп на перехресті, необхідно забезпечити прийнятний режим руху на пріоритетних напрямках (наприклад, потік зі значною часткою громадського транспорту, тим самим, забезпечуючи максимальну ефективність використання

проїзної здатності транспорту). Граничне значення пропускної здатності знаходиться наприкінці рівня  $E$  на переході до рівня  $F$ . На межі пропускної здатності затримки дуже великі. Для ІРП цей випадок, очевидно, є небажаним. Розмежування рівнів зручності руху дозволяє визначити допустимий рівень завантаження як всього перехрестя, так і окремих смуг, при якому бажаний загальний режим руху ще зберігається.

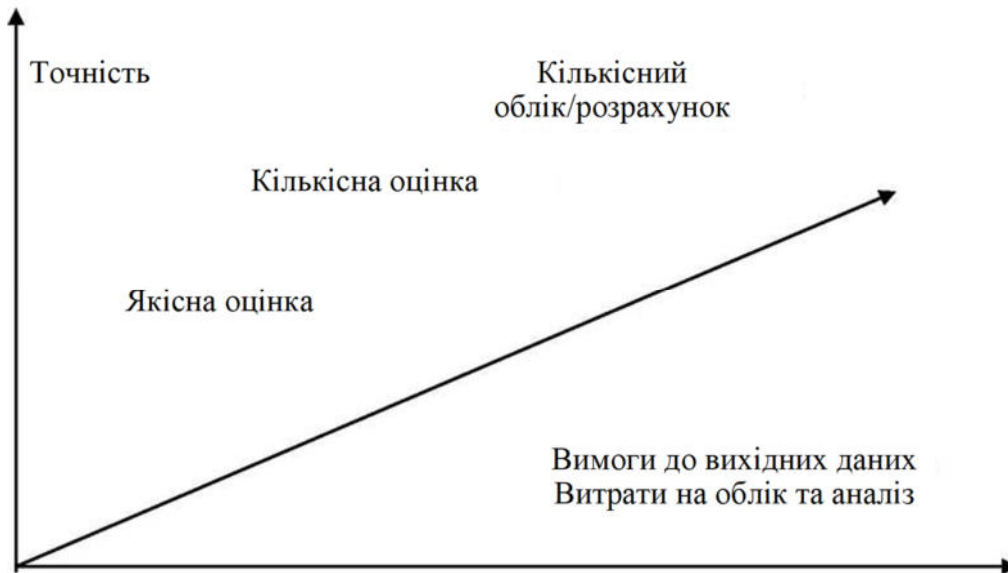
Враховуючи вищенаведене, можна дійти висновку, що при проектуванні ІРП і оцінці їх споживчих властивостей треба звертати увагу не лише на пропускну здатність, а й забезпечення бажаного рівня зручності руху для певних груп учасників дорожнього руху.

З метою гармонізації українських нормативів із закордонними документами необхідна розробка українських рекомендацій щодо оцінки якості дорожнього на регульованому перехресті. На думку автора, саме досвід Німеччини в розробці документів подібних до HBS і HCM найбільш застосовний для України. Оскільки HBS розробляли, враховуючи досвід США, на короткий термін (7 років). Історія розробки HCM значно довша (першу версію випущено ще 1950 р.), потрібні численні дослідження (фінансові витрати) обґрунтування застосовності даних HCM до українських умов, неприпустимі за умов недостатнього фінансування дорожньої галузі.

Рівень зручності руху – суб'єктивний параметр, однозначно неякісний продукт «організація та управління дорожнім рухом» можна вважати для ВДМ  $E$  та  $F$ . Для ефективного управління якістю дорожнього руху на ІРП необхідно:

- встановити прикордонні та прикордонні значення критеріїв оптимізації;
- оцінити ці значення певних періодів часу;
- регулярно перевіряти та уточнювати рівні вимог.

Точність оцінки споживчих властивостей на ІРП, як і точність оцінки результатів оптимізації визначається тимчасовими та фінансовими витратами. Чим більша точність потрібна, тим вищі витрати на отримання вихідних даних та оцінку результатів проведених заходів (мал. 2.22).



Малюнок 2.22 – Оцінка споживчих властивостей на ІРП залежно від вихідних даних

## 2.6 Визначення переліку параметрів споживчих властивостей, об'єктів та методів для проведення натурних спостережень

Для визначення взаємозв'язків та взаємовпливу споживчих властивостей між собою, проведемо аналіз функціональних та емпіричних залежностей, що описують споживчі властивості на оціночно-вимірювальному рівні, з метою встановлення взаємозв'язків між ними. Виконаємо це у табличній формі.

$a$  - ступінь завантаження окремого спрямування;  $q$  – інтенсивність руху, авт./год;  $M_n$  - величина потоку насичення, авт./год;  $t_3$  - ефективна тривалість роздільного сигналу світлофора, с;  $t_{\text{ц}}$  - тривалість циклу регулювання;  $w$  - середня затримка окремого спрямування, с;  $g$  – частка зеленого сигналу в циклі;  $N_{GE}$  – черга автомобілів на перехресті наприкінці зеленого сигналу,  $T$  - тривалість періоду обстеження, год;  $k$  - коефіцієнт, що враховує тип світлофорного регулювання (для випадку жорсткого регулювання приймається 0,5);  $I$  - коефіцієнт, що враховує вплив попереднього по ходу руху регульованого перетину на аналізований (для ізольованих перетинів приймається рівним 1,0);  $X = q/M_n$  – ступінь насичення транспортного потоку,  $N$  – пропускна здатність смуги

руху з безконфліктним пропуском транспортних засобів;  $N_{заг}$  - загальна пропускна здатність ІРП .

Таблиця 2.4 – Функціональні та емпіричні залежності транспортних споживчих властивостей регульованих перехресть

Споживчі властивості як параметри управління на ІРП	Функціональна чи емпірична залежність
Ступінь завантаження напрямку руху	$a = f(q, t_3, t_u, M_n)$
Середня затримка за Вебстером [33]	$w = f(t_u, t_3, g, M_n)$
Середня затримка [106]	$w = f(t_u, t_3, g, N_{GE}, M_n)$
Середня затримка [109]	$w = f(t_u, t_3, g, T, k, I, X, M_n)$
Довжина черги [106]	$N_{GE} = f(t_u, t_3, g, q, a, M_n)$
Пропускна здатність смуги руху із безконфліктним пропуском транспортних засобів [6]	$N = f(t_3, t_u, M_n)$
Безпека дорожнього руху [134]	$БДР \leftrightarrow N_{заг}$
Рівень зручності руху [61, 106]	$PЗР = f(a, w)$

Щоб підвищити споживчі властивості ІРП потрібно, передусім, їх правильно оцінити. Основою для оцінки транспортних споживчих властивостей є величина потоку насичення підходу (смуги руху) перехрестя, що визначається середнім часовим інтервалом між автомобілями під час роз'їзду черги автомобілів. Тому досліджуваним параметром для спостережень прийнятий часовий інтервал між автомобілями при роз'їзді колони автомобілів після включення сигналу світлофора на ІРП, що дозволяє, мають різну геометрію. Як об'єкти натурних спостережень були обрані ІРП на автомобільних дорогах у м. Кельн, м. Дюссельдорф (Німеччина) та у містах України.

Метою спостережень є визначення впливу дорожньо -транспортних параметрів на величину інтервалу прямування між автомобілями і відповідно на величину потоку насичення смуги руху. Як об'єкти спостереження обрані смуги руху на підходах регульованих перехресть.

Результати дослідження були отримані після кадрової обробки

відеозйомки, проведеної з пагорбів (дахів будівель, з шляхопроводу). Кадрова частота відеокамери становила 25 кадрів на секунду, тобто точність окремого значення 0,04 секунди. Як періоди спостереження було обрано години «пік», тобто потоки з високим ступенем насичення. На окремих підходах спостерігався потік із незначним ступенем насичення. На момент обстеження на перехрестях була розмітка, покриття проїжджої частини було рівним та сухим.

Спостереження проводилися у два етапи:

1. Дослідження закономірності розподілу часових інтервалів для конкретної позиції автомобіля в черзі (проводилося в м. Кельн та Дюссельдорф в 2016-2017рр.). Кількість вимірів на одну позицію автомобіля в черзі від 30 до 100. Кількість смуг прямого напрямку руху в Німеччині - 7. Довжини черг, що спостерігалися, на одній смузі в Німеччині від 3 до 10 автомобілів (без урахування залишкової черги). Один з регульованих підходів перехрестя, що спостерігалися, в м. Кельн представлений на мал. 2.23.



Малюнок 2.23. Регульований підхід перехрестя у м. Кельні

2. Дослідження впливу різних дорожньо-транспортних умов на розподіл часових інтервалів на смузі руху. Кількість вимірів на одну позицію автомобіля у черзі від 20 (проводилося у м. Тернополі у 2018 р.). Кількість смуг прямого напрямку руху в м. Тернополі - 7. Довжини черг, що спостерігалися, на одній

смугі прямого напрямку руху від 7 до 22 автомобілів. Кількість смуг для поворотів наліво - 3. Довжини черг на смужках для поворотів, що спостерігалися, наліво від 8 до 12 автомобілів (без урахування залишкової черги). У м. Тернополі визначалися значення ухилів на підході до перехрестя та ширини проїжджої частини на підставі актуальної топографічної зйомки. У випадку широкої смуги руху (крайня права смуга, ширина понад 4м) розглядалося лише рух автомобілів у колоні.



Малюнок 2.24 – Підхід регульованого перехрестя у м. Тернопіль

Найбільш характерним для порівняння з іншими видами маневрів є проїзд перехрестя в прямому напрямку без затримок і конфлікту з іншими потоками, тому саме смуги прямого напрямку руху були основними об'єктами дослідження. Також спостерігалися лінії поворотів ліворуч, так як даний вид маневру є, як правило, найбільш складним та конфліктним на перехресті.

Предметом дослідження був транспортний потік і часові інтервали між автомобілями, що проїжджали.

Вибиралися смуги проїжджої частини, у яких рух здійснювалося

безконфліктно з пішохідним потоком, тобто. процес роз'їзду черги автомобілів після включення сигналу здійснювався без зупинки.

Під час обробки даних відеозйомки виключалися ситуації: пов'язані з порушенням правил дорожнього руху (виїзд за стоп - лінію та на пішохідний перехід, маневри транспортних засобів, що перешкоджають проїзду інших автомобілів без затримок та ін.), пов'язані з тривалими затримками транспортних засобів (наприклад, поломки).

Визначення стартового часового інтервалу включає фіксацію моменту включення дозвільного сигналу і необхідного часу для перетину стоп-лінії. Інтервал проходження визначається як часовий інтервал між двома наступними один за одним автомобілями при перетині стоп-лінії або умовної лінії на проїжджій частині одним і тим же поперечним перерізом автомобіля (наприклад, передньої або задньої віссю коліс автомобіля). У дослідженні як переріз автомобіля була обрана передня вісь коліс автомобіля.

При визначенні інтервалу прямування автомобілів, що повертають ліворуч, розглядався тільки колонний рух. За наявності стоп-лінії часові інтервали фіксувалися при наїзді коліс передньої осі автомобіля на стоп-лінію так само як і для смуг прямого напрямку руху.

У випадку початку роз'їзду транспортних засобів, що повертають ліворуч, вже з перехрестя як умовна лінія для фіксації інтервалів прямування застосовувалася умовна лінія поділу смуг руху зустрічних напрямків.

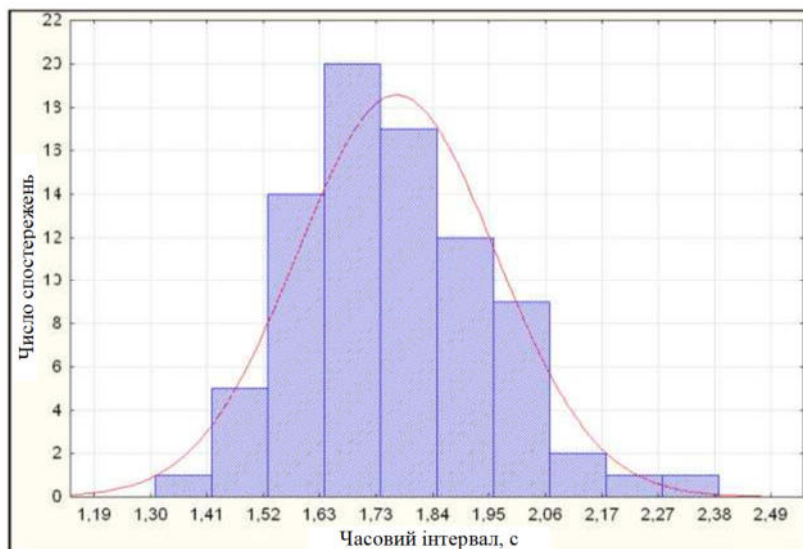


### 3. РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1. Обґрунтування вимог до оцінки закономірностей розподілу величини інтервалів між автомобілями, що роз'їжджаються з ізолюваного регульованого перехрестя

##### 3.1.1 Попередня оцінка закономірності розподілу величини інтервалів

Для встановлення закономірностей впливу геометричних характеристик ІРП та сучасного складу транспортних потоків на споживчі властивості ІРП були проведені натурні спостереження відповідно до наведеної вище методики у два етапи: на об'єктах спостереження обраних у Німеччині, а потім в Україні. За їх результатами виконано аналіз розподілів часових інтервалів між автомобілями при роз'їзді з ІРП після включення сигналу, що дозволяє. На мал.3.1 представлено один із розподілів при частці вантажного транспорту 0%.



Малюнок 3.1. Гістограма тимчасових інтервалів між автомобілями, що роз'їжджаються з регульованого перехрестя

Статистичний аналіз варіаційних рядів передбачає розрахунок показників центру розподілу, його структури, оцінку ступеня варіації, вивчення форми розподілу. Як показники центральної тенденції розподілу використовуються: середнє арифметичне значення, мода та медіана. Основними показниками



варіації  $\epsilon$ : розмах варіації, дисперсія, середнє відхилення, коефіцієнт варіації. Оцінка асиметрії та ексцесу необхідні для аналізу форми розподілу. Перелічені показники мають самостійне аналітичне значення, оскільки відбивають різні властивості досліджуваної сукупності, проте вони дозволяють отримати комплексну характеристику емпіричного розподілу.

Як статистичний аналіз (табл. 3.1), так і підбір найбільш підходящої функції розподілу інтервалів проходження (ІВ) для теоретичного опису закону розподілу здійснювався за допомогою програми «статистика 6.0».

Таблиця 3.1 – Характеристики емпіричного розподілу часових інтервалів між автомобілями

№	Параметр	Значення у «статистика 6.0»
1	Обсяг вибірки	82
2	Середнє значення, с	1,773
3	Медіана, с	1,750
4	Мінімальне значення, с	1,320
5	Максимальне значення, с	2,330
6	Розмах варіації	1,010
8	Дисперсія	0,036
9	Середнє квадратичне (стандартне) відхилення	0,191
10	Коефіцієнт варіації	10,8%
11	Середня помилка вибірки	0,021
12	Асиметрія	0,357
13	Стандартизована асиметрія	0,266
14	Коефіцієнт ексцесу	0,054

Візуальне уявлення розподілу (мал. 3.1) та оцінка асиметрії (табл. 3.1) свідчить про позитивну асиметрію розподілу часових інтервалів між автомобілями.

У практичному аналізі обов'язковою є перевірка відповідності розподілу, що досліджується, нормальному закону розподілу. Необхідність цього пов'язана з тим, що умовою застосування значної кількості статистичних характеристик та оцінок є наявність нормального розподілу [3].

### **3.1.2 Перевірка закону розподілу часових інтервалів між автомобілями**

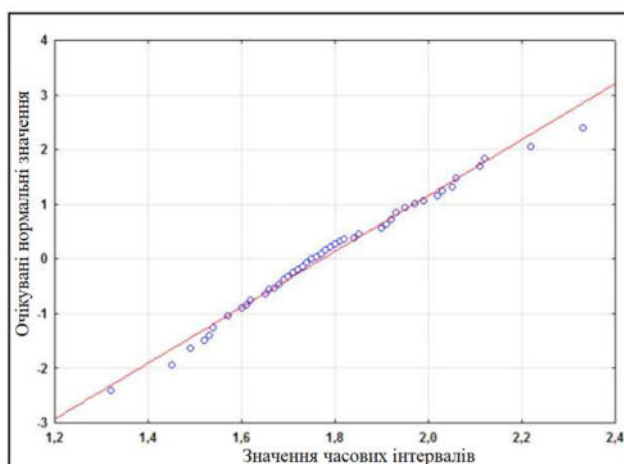
У таблиці 3.2 наведено статистичні характеристики при роз'їзді черги автомобілів для однієї лінії прямого напрямку руху. Аналізуючи значення моди, медіани та математичного очікування можна припустити, що щодо однорідного транспортного потоку вибірок помірною обсягу ці статистичні характеристики мають близькі значення, тому можна припустити близькість емпіричних розподілів часових інтервалів між автомобілями з незначною часткою вантажного транспорту на ІРП нормальному закону розподілу.

Коли медіана більше середнього значення розподіл змінної має негативну асиметрію, якщо середнє значення більше медіани її розподіл має позитивну асиметрію. Середні значення для 1 - 5-ої позицій автомобілів вище значень медіани, для 6 - 7 позицій значення медіани вище за середнє значення. Отже, розподіл тимчасових інтервалів для окремих позицій автомобілів у черзі може мати як позитивну, і негативну асиметрію.

Про нормальність розподілу можна судити за графіком на ймовірнісному папері. Чим ближче розподіл до нормального вигляду, тим краще значення лягають на пряму лінію (мал. 3.2). Цей метод оцінки є попереднім.

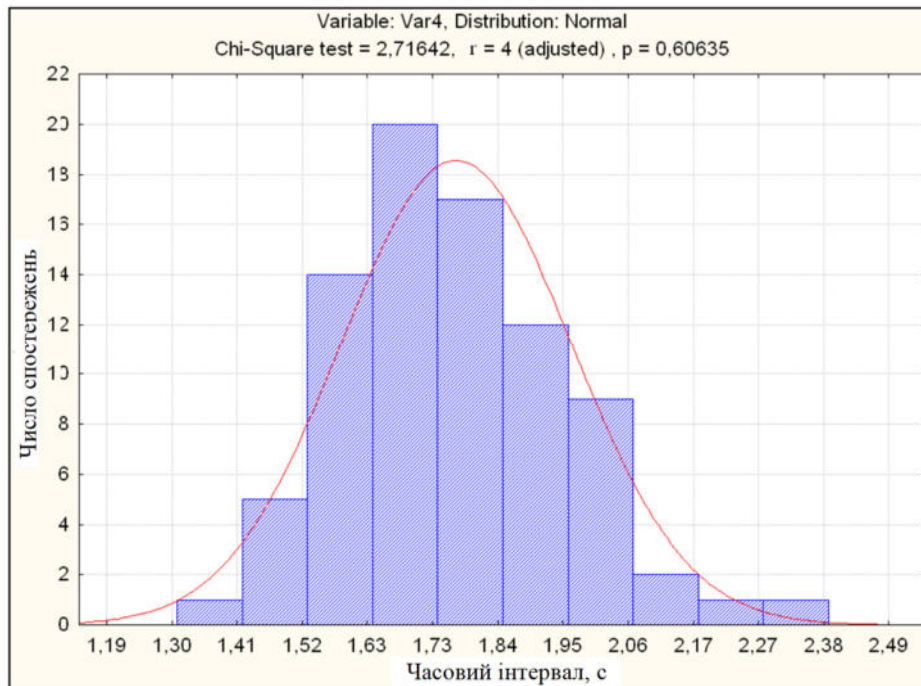
Таблиця 3.2 – Отримані статистичні параметри для середньої лінії підходу прямого напрямку руху в Німеччині

Позиція	1	2	3	4	5	6	7	8
Обсяг вибірки	95	94	88	82	73	65	49	24
Частка вантажного транспорту у вибірці, %	1,0	0	4,5	0	1,4	3,1	0	4,2
Частка автомобілів проїжджають після вантажного, %	0	1,1	0	4,8	0	1,5	2,0	0
Середнє значення, с	1,26	1,76	1,81	1,77	1,73	1,70	1,65	1,61
Медіана, с	1,12	1,73	1,79	1,75	1,72	1,72	1,66	1,61
Мода, с	1,10	1,75	1,75	1,75	1,65	1,75	1,67	1,57
Стандартне відхилення, с	0,70	0,38	0,29	0,19	0,17	0,13	0,10	0,11
Дисперсія, с <sup>2</sup>	0,48	0,15	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01



Малюнок 3.2 – Графік нормального розподілу для вибірки часових інтервалів між автомобілями

Процедура вирівнювання, згладжування аналізованого розподілу полягає у заміні емпіричних частот теоретичними, які визначаються за формулою теоретичного розподілу, враховуючи фактичні значення змінної. На основі зіставлення емпіричних та теоретичних частот розраховуються критерії згоди, які використовуються для перевірки гіпотези про відповідність досліджуваного розподілу тому чи іншому типу теоретичного розподілу.



Малюнок 3.3 – Інтервал руху для автомобіля в черзі перед регульованим перехрестям

Ухвалення рішення про справедливість гіпотези про закон розподілу можна здійснити, орієнтуючись на емпіричне значення критерію згоди Пірсона  $\chi^2$ . Якщо  $\chi_{расч}^2 \geq \chi_{табл}^2$ , то при заданому рівні значимості  $\alpha$  та числу ступенів свободи  $\alpha$  гіпотеза про несуттєвість (випадковості) розбіжностей відхиляється. Якщо  $\chi_{расч}^2 \leq \chi_{табл}^2$  - емпіричний ряд добре узгоджується з гіпотезою про передбачуваний розподіл. У таблиці 3.3 наведено розрахункові та табличні значення  $\chi^2$  під час перевірки закону розподілу на нормальність та логарифмічну нормальність.

Таблиця 3.3 – Добір закону розподілу тимчасових інтервалів

Тип розподілу	Число ступенів свободи, $r$	Розрахункове значення критерію $\chi^2$	Табличне значення критерію $\chi^2$
Нормальне	4	2,71	9,49
Логнормальне	4	1,59	9,49

На основі аналізу значень критеріїв згоди  $\chi^2$  на рівні значущості  $p = 0,05$ , можна прийняти гіпотезу про нормальність і логарифмічної нормальності теоретичного закону розподілу інтервалів прямування. Враховуючи аналіз значень тимчасових інтервалів у динаміці (табл. 3.2), а також простоту та зручність обробки даних як теоретичний закон оцінки середніх значень тимчасових інтервалів вибірки для транспортного потоку з малою часткою вантажного транспорту прийнятий нормальний закон.

### 3.1.3 Обґрунтування необхідного обсягу вибірки для оцінки математичного очікування

Щоб визначити обсяг вибірки, необхідний для оцінки математичного очікування генеральної сукупності, слід врахувати величину припустимої помилки вибіркового дослідження та довірчий рівень. Також потрібна інформація про величину стандартного відхилення ( $\sigma$ ).

При розрахунку похибки величина за генеральною сукупністю невідома. Цю величину в умовах великої вибірки замінюють на величину  $S$  (вибіркова дисперсія), розрахована за вибірковими даними. Для розрахунку обсягу вибірки необхідно мати такі дані:

- розмір довірчої ймовірності ( $p = 0,95$ );
- коефіцієнт  $t$ , який залежить від прийнятої ймовірності ( $t=1,96$ );
- величина  $2$  у генеральній сукупності замінюється величиною, отриманої при пробних вибірках.

Тоді чисельність простої випадкової повторної вибірки можна визначити

$$\text{як } n = \frac{t^2 \cdot S^2}{\Delta_x^2} \text{ (таблиця 3.4).}$$

Таблиця 3.4 – Обґрунтування необхідного обсягу вибірки визначення математичного очікування генеральної сукупності при  $p=0,95$  ( $t=1,96$ )

Попередній обсяг вибірки	$\sigma^2$	Необхідний обсяг вибірки при припустимій похибці вибіркового дослідження $\Delta_x$	
		0,05	0,1
95	0,48	738	184
94	0,15	230	58
88	0,08	123	31
82	0,05	77	19
73	0,03	46	12
65	0,02	31	8
49	0,01	15	4

Залежно від складу транспортного потоку величина стандартного відхилення тимчасового інтервалу може значно змінюватись. Значення максимальної припустимої помилки, а також довірчий рівень надійності можуть змінюватись у допустимих межах.

Отримання окремих часових інтервалів з високою точністю (по кадровій обробці) трудомістке.

Метою натурних спостережень є високоточний аналіз математичного очікування генеральної сукупності часових інтервалів для окремої позиції автомобілів у черзі, а отримання величин потоку насичення з урахуванням аналізу трендових ліній часових інтервалів черги автомобілів.

Враховуючи наведене вище, як рекомендований обсяг вибірки, для отримання математичного очікування в подальшому дослідженні, приймемо 20 значень на одну позицію автомобіля в черзі.

## 3.2 Закономірності впливу геометричних характеристик ІРП та сучасного складу транспортних потоків на споживчі властивості ІРП

### 3.2.1 Інтервали між автомобілями, що роз'їжджаються з ізолюваного регульованого перехрестя.

Як періоди спостереження було обрано годинник «пік», тобто потоки з високим ступенем насичення. На окремих підходах насичений транспортний потік не спостерігався. На момент обстеження на перехрестях була розмітка, покриття проїжджої частини було рівним та сухим. У таблиці 3.5 наведено характеристики дорожньо-транспортних умов на ІРП, що спостерігалися в м. Тернополі.

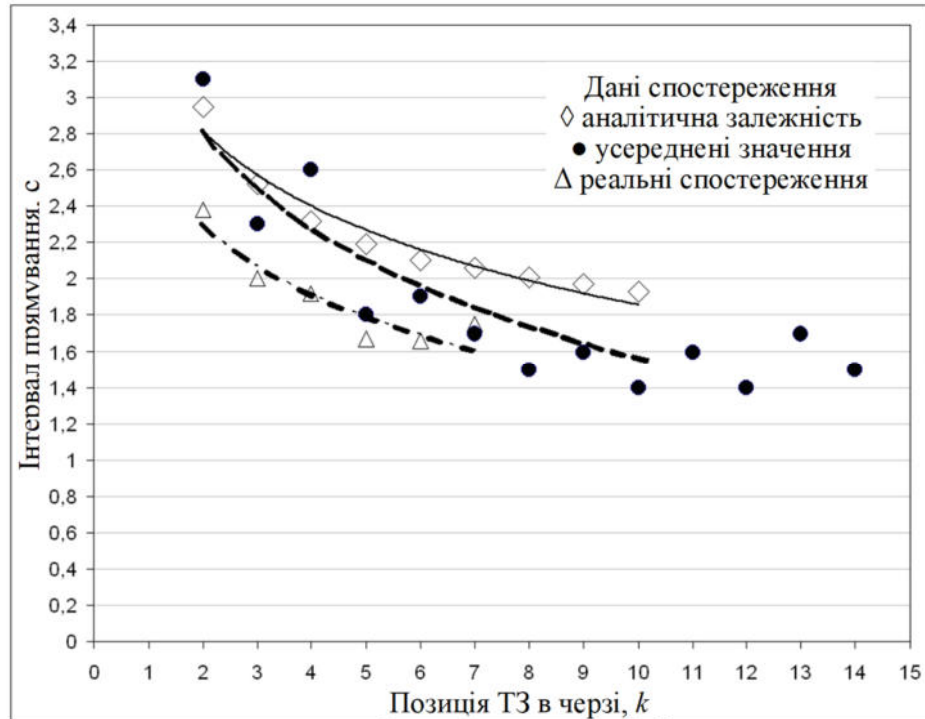
Таблиця 3.5 – Дорожньо-транспортні умови на перехрестях, що досліджувались

№ смуги	Відносне розташування на підході	Ширина смуги, м	Частка великогабаритного транспорту, %	Поздовжній ухил проїжджої частини, %
1	друга зліва	3,5	1,0	- 3,1
2	друга зліва	3,5	2,2	+ 2,4
3	крайня права	3,0	8,7	- 0,5
4	третя зліва	3,5	5,2	+ 2,4
5	друга зліва	3,5	0,8	+2,4
6	крайня ліва	3,5	2,4	+2,4
7	друга зліва	3,0	0	-0,8
8	третя зліва	3,5	9,3	-0,8
9	крайня права	> 4	0,5	-3,4
10	друга зліва	3,5	3,8	-3,4

На мал. 3.4 наведено результати спостережень інтервалу прямування (ІП) для смуг прямого напрямку руху у м. Тернопіль. Як трендова лінія, що досить добре описує залежність зміни позиції автомобіля в черзі, була обрана логарифмічна крива, що має вигляд:

$$t_{B,i} = -a \cdot \ln(k) + b \quad (3.1)$$

За допомогою поданих залежностей можна прогнозувати ІІ у певному діапазоні залежно від порядкового номера автомобіля у черзі.



Малюнок 3.4 – Розподіл інтервалів прямування (50% забезпеченості) залежно від позиції автомобіля в черзі на перехрестях м. Тернополя прямого напрямку руху в порівнянні з аналітичною залежністю

У таблиці 3.6 наведено значення коефіцієнтів регресійних кривих для смуги прямого напрямку руху, що спостерігалися.

Низьке значення коефіцієнта детермінації для смуги з відносно великою часткою тролейбусів смуга №8 говорить про вплив неоднорідності транспортного потоку за складом на СЗІІ (середньому значенні інтервалу прямування), при цьому коефіцієнти рівняння логарифмічної кривої близькі коефіцієнтів рівняння для сусідньої смуги №6 СЗІІ. З цього можна дійти невтішного висновку, що швидкості зниження руху ТЗ від позиції автомобіля у черзі для сусідніх смуг при русі в колоні близькі.



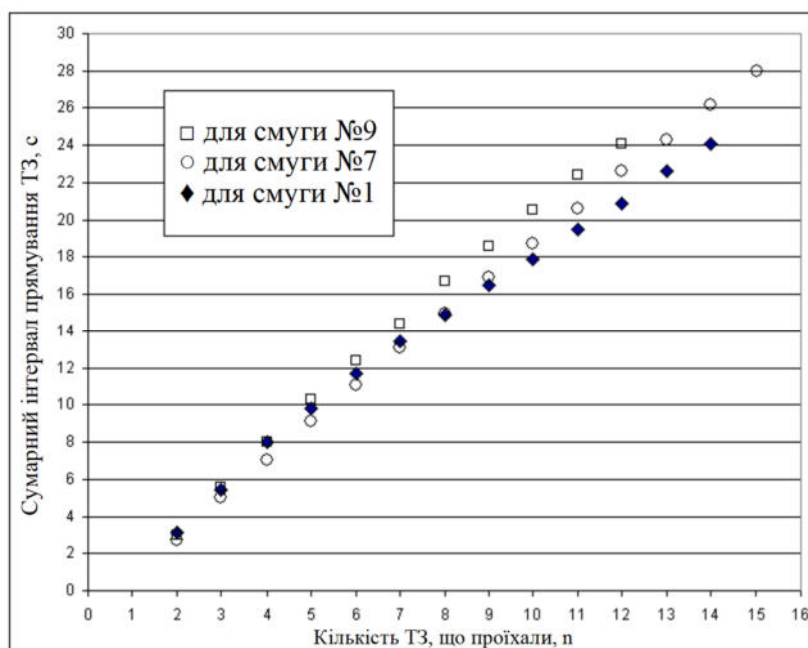
Таблиця 3.6 – Параметри регресійних залежностей смуг, що спостерігалися

№ смуги		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рівняння: $t_{B,i} = -a \cdot \ln(k) + b$	$a$	0,77	0,51	0,56	0,62	0,52	0,55	0,36	0,32	0,63	0,87
	$b$	3,35	2,95	3,16	2,99	2,70	2,68	2,71	2,80	3,34	3,74
	$R^2$	0,81	0,86	0,87	0,87	0,84	0,87	0,77	0,33	0,91	0,91

А різниця трендових ліній СЗП обумовлена складом транспортного потоку, шириною смуги руху та впливом відносного розташування смуг (для лівої смуги за однакових дорожньо-транспортних умов пропускна здатність вище, щодо правої смуги).

За різних умов дорожнього руху швидкості зниження СЗП мають досить широкий діапазон від  $-0,32\ln(x)$  до  $-0,87\ln(x)$  (табл. 3.6). Високі СЗП на початку роз'їзду черги автомобілів спостерігалися для підходу з ухилом ПЧ -3,4 % смуги № 9 і 10, що могло бути викликане інтенсивним конфліктним потоком, що просочується в проміжні такти. Першим автомобілям черги доводилося гальмувати, пропускаючи потік ліворуч. У цьому швидкості зниження СЗП цих смуг були високими, тобто автомобілі за рахунок нахилу швидше розганялися. Так само для смуги № 1 зі спуском 3,1% швидкість зниження СЗП була однією з найвищих. При цьому на невеликому підйомі 2,4% смуги № 2,4,5 і 6 швидкості зниження СЗП були близькі до значень для смуги № 3 з нахилом -0,5%, що говорить про незначний вплив невеликого підйому (до 2,4%) на підході з часткою вантажного транспорту (до 5,2%). Найнижчі швидкості зниження СЗП спостерігалися для підходу з ухилом -0,8%, що можна пояснити впливом автомобілів, що повертають ліворуч, з цього ж підходу при просочуванні (автомобілям прямого напрямку руху доводилося відхилитися від прямої

траєкторії руху через очікуваних на перехресті можливості смуги шириною смуги 7 і смугою №7).



Малюнок 3.5 – Залежності інтервалів прямування (50%-ї забезпеченості) від кількості ТЗ, що проїхали перехрестя (без врахування стартового часового інтервалу)

Значення коефіцієнта для смуг № 3, 8, 9, 10, 11 говорить про найменшої пропускної здатності, а для смуг № 1, 5, 6 - про найбільшу пропускну здатність відповідних смуг руху.

Таблиця 3.7 – Залежність сумарного часового інтервалу  $\sum t_{B,i}$ , від кількості проїхали автомобілів  $n$

№ смуги		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рівняння: $\sum t_{B,i} = a \cdot n - b$	$a$	1,69	1,87	2,21	1,96	1,75	1,78	1,93	2,18	2,10	2,09
	$b$	-0,90	0,25	1,32	1,03	0,70	1,02	0,68	1,43	0,53	0,16
	$R^2$	0,993	0,997	0,998	0,998	0,997	0,999	0,999	0,999	0,994	0,997

Найбільша пропускна здатність смуг прямого напрямку руху № 1,5,6 згідно з лінійними регресійними моделями, 2022-2130 авт./год дозвільного сигналу, найменша для смуг № 3,8,9,10,11 - 629-1722 авт./год сигналу, що дозволяє. Тобто максимальна теоретична пропускна здатність смуги руху регульованого перехрестя для м. Тернополі при рівномірному завантаженні підходів (частка дозволеного сигналу для смуги руху - 0,43 на годину, при середній тривалості циклу 70с і сумарної тривалості проміжних тактів 10с) і відсутності ТЗ, що повертають наліво 896-916 авт/год, що вище нормативних значень у 750-850 авт./год [4].

У дослідженні інтервал прямування засікався при наїзді на стоп-лінію передніх коліс автомобіля (на відміну роботи Левашева [4], де інтервал засікався при наїзді на стоп-лінію задніх коліс автомобіля). При цьому результати спостережень в Тернополі досить добре вписуються в логарифмічну модель регресії залежності СЗІП від позиції автомобіля в черзі. Було встановлено, що швидкості зниження СЗІП для сусідніх смуг прямого напрямку при русі в колоні близькі.

Згідно з отриманими даними СЗІП зменшуються до 12 - 13 позицій автомобілів. Надалі спостерігалася стабілізація середніх значень.

Впливу незначного підйому при підході до перехрестя (до 2,4%) на пропускну здатність при частці вантажного транспорту до 5,2% не виявлено. Спуск на підході до перехрестя і за самим перехрестям ще гарантія значних СЗІП так як цьому можуть перешкоджати затримки черги на початку роз'їзду та недостатня тривалість дозвільного сигналу світлофора. При цьому швидкість зниження СЗІП на спуску (3% і більше) помітно вища, ніж для ділянок із нахилом близьким до нуля.

Подальша обробка результатів дослідження здійснювалася у середовищі MS Excel за допомогою вбудованої функції регресійного аналізу. У таблиці 3.8 представлені вихідні дані, а також результати регресійного аналізу залежності сумарного часового інтервалу від позиції автомобіля у черзі для смуг прямого

напрямку руху в Україні та Німеччині.

Таблиця 3.8 – Регресійний аналіз для смуг прямого напрямку руху

Вихідні дані для м. Тернополя	
Кількість смуги руху	9
Поздовжній ухил проїжджої частини	-0,034 - +0,024
Ширина смуги руху, м	3 - 3,5
Частка вантажного транспорту, %	0 - 9,3
Результат регресійного аналізу	
Надійність	95%
Коефіцієнт детермінації	0,978
Груп спостережень/спостережень	92/1035
Критерій Фішера F	4136,989 > 1,99
Значення F, P- значення	$4,985 \times 10^{-77} < 0,05$
<b>ОТРИМАНА МОДЕЛЬ</b>	$\sum \Pi = 2,005 \times n - 0,825$
Вихідні дані для м. Кельн та м. Дюссельдорф (Німеччина )	
Кількість смуг, що спостерігалися	7
Ширина смуги, м	3 - 3,5
Частка вантажного транспорту, %	0 - 12,6
Результат регресійного аналізу	
Надійність	95%
K-квадрат	0,95
Груп спостережень/спостережень	45/2409
Критерій Фішера F	820,439 > 2,02
Значення F, P- значення	$1,21 \times 10^{-29} < 0,05$
<b>ОТРИМАНА МОДЕЛЬ</b>	$\sum \Pi = 1,837 \times n - 0,579$

У табл. 3.9 показані вихідні дані, а також результати регресійного аналізу залежності сумарного  $\Pi$  від кількості автомобілів, що повертають ліворуч для м. Тернополя.

Таблиця 3.9 – Регресійний аналіз для автомобілів, що повертають ліворуч у м. Тернопіль

Вихідні дані	
Кількість смуги руху	3
Поздовжній ухил проїжджої частини	-0,034 - +0,024
Ширина смуги руху, м	3 - 3,3
Частка вантажного транспорту, %	1 - 6
Радіус повороту, м	27 - 38
Результат регресійного аналізу	
Надійність	95%
Коефіцієнт детермінації	0,949
Груп спостережень/спостережень	27/348
Критерій Фішера F	468,699 > 2,06
Значення F, P- значення	$1,04 \times 10^{-17} < 0,05$
<b>ОТРИМАНА МОДЕЛЬ</b>	$\sum \Pi = 2,132 \times n - 0,879$

З отриманих моделей можна зробити такі висновки:

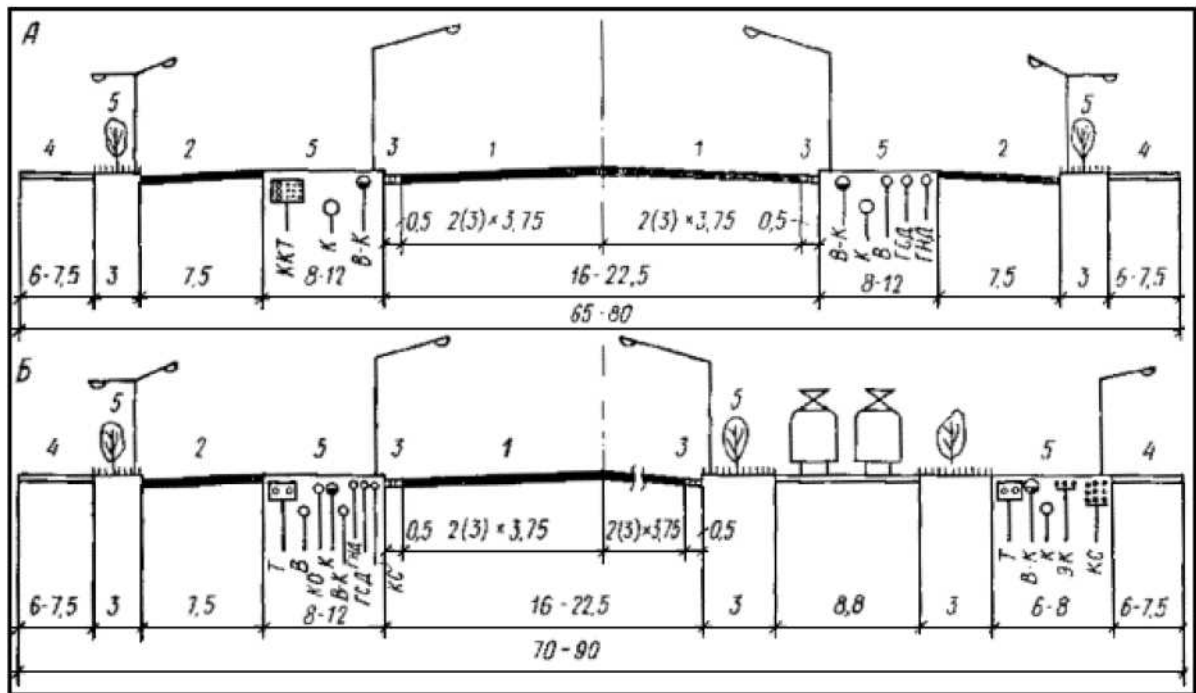
- середнє значення інтервалу проходження насиченого потоку прямого напрямку руху при ширині смуги 3-3,5 м і частці вантажного транспорту 0-9,3% з поздовжніми ухилами проїзної частини від -0,034 до +0,024 згідно з моделлю з високою ймовірністю дорівнює 2,0 секунди.

- СЗП насиченого потоку прямого напрямку руху в Німеччині згідно з моделлю - 1,84 секунди, що свідчить про більш високу пропускну здатність смуги руху прямого напрямку руху на регульованому перехресті в Німеччині, ніж в Україні;

- СЗП для лівих поворотів у м. Тернопіль при радіусах повороту 27-38 м вище СЗП прямого напрямку руху на 0,13 с.

### 3.2.3 Вплив складу транспортних потоків та геометрії смуг руху на пропускну здатність ІРП

Потреба в оцінці пропускну здатності виникає при прийнятті технічних рішень про розміри вулиць регульованого руху в червоних лініях (мал. 3.6), проектування та перепланування їх перетинів, зміну схеми ОДР. Пропускна здатність вулиці регульованого руху визначається, як правило, пропускну здатністю перерізу, де встановлений світлофор (у створах стоп-ліній).



Малюнок 3.6 – Типовий поперечний профіль загальноміської магістралі регульованого руху

А – без трамвая; Б - з трамваем; 1 – основна проїжджа частина; 2 - бічні та місцеві проїзди; 3 – запобіжні смуги; 4 – тротуари; 5 - розділові смуги та смуги озеленення

Загальна практична пропускна здатність ІРП залежить від великої кількості факторів впливу: від геометрії транспортного вузла, на якому встановлені світлофори; від схеми організації дорожнього руху; від методів організації дорожнього руху; від ступеня завантаження ІРП транспортними та пішохідними потоками та ін.

При проектуванні вулично-дорожньої мережі міста або окремої вулиці інформація про дорожні умови, планування перетинів, склад потоку, інтенсивність руху автомобілів і пішоходів відсутня, а орієнтація на середні параметри потоку може призвести до великих помилок. У разі доцільно орієнтуватися на граничну пропускну здатність і допустимі рівні завантаження рухом вулиць. У літературі рекомендовані значення максимальної практичної пропускну здатності смуги руху ІРП 600-700 прив. авт./год (за 30 років динамічні характеристики та склад транспортного потоку значно змінилися, тому дані значення вже не актуальні); тому доцільно орієнтуватись на 750-850 прив. авт./год, скорочення пропускну здатності через лівоповоротного потоку рекомендується проводити залежно від частки цього потоку на смузі. Моделювання, проведене Ортлеппом і Шольцем у Німеччині [18] показало, що загальна пропускну здатність ІРП у разі 2-х смугових підходів становила близько 3300 авт./год, при 3-х смугових підходах – 6000 авт./год. Якщо повороти праворуч здійснюються безперешкодно за наявності острівців безпеки, то загальна пропускну здатність ІРП підвищується майже до 7000 авт./год. Геометрія ІРП у Німеччині відрізняється від характерної геометрії ІРП в Україні. Так, на підходах до перехрестя в Німеччині, для інтенсивних правих і лівих поворотів влаштовується розширення, а виходи з ІРП за шириною відповідають потрібній кількості смуг для потоку прямого напрямку руху. У Німеччині частіше, ніж у Україні застосовуються острівці безпеки різних форм, виконані з допомогою бортового каменю. За складом та технічними характеристиками транспортні потоки в Україні та Німеччині також відрізняються. З цих причин результати моделювання [18] щодо загальної пропускну здатності ІРП для дорожньо-транспортних умов Україні над повною мірою відповідають дійсності. Проведення такого моделювання з огляду на наведене, на думку автора, є актуальним завданням для дослідження в Україні.

### 3.2.4 Закономірності зміни потоку насичення залежно від дорожньо-транспортних умов на ІРП

Різні підходи до визначення потоку насичення представлені у [3]. Традиційним є визначення потоку насичення як граничної пропускнуої здатності аналізованого напрямку руху на регульованому перехресті [4].

Відповідно до затвердженої в 1980р методики оцінки пропускнуої здатності на регульованому перехресті в Україні [6] максимальне значення величини потоку насичення на смузі дороги регульованого руху прямого напрямку 1662 авт/год.

Крім значень потоку насичення одержуваних згідно [6] для проектування ІРП в Україні пропонуються значення для смуг прямого напрямку руху, подані в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Рекомендовані значення потоку насичення смуг прямого напрямку руху

В, м	3,0	3,3	3,5	3,6	3,75
Джерело					
[34, 1981р]	1850	1875	-	1950	-
[32, 1990р]	1850	1875	-	1950	-
[51, 1995р]	1850	-	1920	-	1970
[32, 2005р]	1850	-	1920	-	1970

У [3] рекомендується також використовувати поправочні коефіцієнти для нормальних і поганих умов руху, множачи подані значення відповідно на 1,2 і 0,85. До нормальних умов на перехресті відносять відсутність впливу пішоходів і автомобілів, що стоять, хороший огляд, достатня ширина проїжджої частини на виході перехрестя. До поганих - низька середня швидкість руху, незадовільна рівність і зчипні якості покриття, є вплив автомобілів, що стоять, поганий огляд перехрестя, слабка освітленість. Оцінка поганих і хороших умов руху у різні періоди спостережень на перехресті може суттєво відрізнитись. Для потоків, що безконфліктно пропускаються (прямий напрямок руху) за рахунок схеми



пофазного роз'їзду і достатніх тривалостей проміжних тактів, як правило, повинна забезпечуватися відсутність впливу пішоходів. Припарковані автомобілі можуть повністю виключити смугу руху з роботи на підході та виході перехрестя. Зчіпні якості під час експлуатації повинні відповідати вимогам нормативних документів. З цих причин, на думку автора, орієнтація на поправочні коефіцієнти для потоків прямого напрямку руху не виправдана.

Як очевидно з таблиці 3.11 рекомендовані значення потоку насичення змінювалися з 1981 року. За 30 років динамічні характеристики транспортних засобів значно змінилися, тож завдання уточнення даних значень, на думку автора, є актуальним.

Якщо на ІРП не можна виділити відокремлену смугу для окремого напрямку руху, то через взаємні перешкоди автомобілів, що рухаються з однієї смуги в різних напрямках, величина потік насичення зменшується. Цим впливом можна знехтувати при частці автомобілів, що повертають, в потоці менше 10% [3]. За більшої інтенсивності повертаючого руху весь потік приводять до одного умовного за допомогою коефіцієнтів приведення, рівних для прямого напрямку руху 1,0, повороту ліворуч 1,75, повороту праворуч 1,25 (1 автомобіль, що повертає ліворуч і праворуч еквівалентний 1,75 і 1,25 відповідно автомобілю, прямого напрямку). Коефіцієнти, що враховують зниження пропускної здатності смуг поворотних напрямків руху згідно [6]: для прямих напрямків 1; для правоповоротних 0,9; для лівоповоротних 0,7. Максимальне зниження пропускної здатності смуги через автомобілі, що повертають ліворуч, на 30%. Як показали дослідження Царікова потоки насичення автомобілів, що повертають ліворуч, відрізняються від потоків прямого напрямку руху, тому уточнення коефіцієнтів приведення поворотних напрямків до потоку прямого напрямку, на думку автора, може бути актуальним завданням для дослідження.

Таблиця 3.11 – Оцінка величини ідеального потоку насичення у Німеччині

Фактор, що впливає	Значення факторе	Значення $M_{но}$ коефіцієнти наведення $f$
Ідеальний потік насичення $M_{но}$ , авт./год при тривалості вирішального сигналу, с	>10	2.000
	10	2.400
	6	3.000
Частка вантажного транспорту $\Delta$ , %	<2	1,00
	5	0,98
	10	0,93
	15	0,80
	20	0,77
Ширина смуги руху $B$ , м	>3,00	1,00
	2,75	0,90
	2,60	0,85
Радіус повороту, м	>15	1,00
	<15,00	0,90
	<10,00	0,85
Поздовжній ухил, %	+5,0	0,85
	+3,0	0,90
	0,0	1,00
	-3,0	1,10
	-5,0	1,15
Потік пішоходів	мало	
	інтенсивний	1,00
	помірний	0,90
	інтенсивний	0,80

У Німеччині та США підхід до визначення фактичного потоку насичення ґрунтується на величині ідеального потоку насичення, яка у Німеччині прийнята

2000 од./год., а в США – 1900 од./год. Якщо в США при розрахунку величини насичення транспортного потоку для фактичних дорожньо-транспортних умов використовуються всі фактори, що впливають на потік насичення, то в Німеччині - максимум два коефіцієнти приведення (табл. 3.11), навіть якщо фактично на потік насичення впливає більша кількість факторів, тобто:

$$M_n = f_1 \cdot f_2 \cdot M_{n,0}, \quad (3.2)$$

де  $M_n$  - розрахункова величина насичення транспортного потоку авт./год;

$M_{n0}$  - ідеальний потік насичення авт./год;

$f_1, f_2$  – коефіцієнти приведення.

Величина потоку насичення, яка визначається часовими інтервалами між автомобілями, є суттєвим описовим параметром транспортного потоку, що застосовується для оцінки пропускної здатності, затримок, ступеня завантаження, довжин черг регульованого перетину доріг.

На підставі отриманої в дослідженні моделі (табл. 3.10) можна визначити величину потоку насичення для різних дорожньо-транспортних умов (табл. 3.12).

Таблиця 3.12 – Вплив складу транспортного потоку і ширини смуги руху на величину потоку насичення  $M_n$  для смуг прямого напрямку руху

Частка вантажного транспорту		0	5	10
$M_n$ , авт./год.	В=3 м	1965	1747	1527
	В=3,5 м	2105	1887	1668
	В=3,75 м	2175	1957	1738

Порівнюючи отримані значення з рекомендованими значеннями  $M_n$  в Україні (табл. 3.13), можна дійти висновку у тому, що у м. Тернопіль швидше роз'їжджаються з регульованого перехрестя, ніж заведено з 1981 р [3]. Відповідно теоретична пропускна здатність регульованих смуг ІРП згідно з

отриманою моделлю вище значень рекомендацій [3].

Таблиця 3.13 – Порівняння отриманих величин потоку насичення із значеннями, що рекомендуються в Україні при розрахунках світлофорних програм

$B, \text{ м}$	3,0	3,5	3,75
$M_n, \text{ авт./год рекомендований}$	1850	1925	1981
$M_n, \text{ прив. авт./год згідно моделі}$	1965	2105	2175
Різниця (помилка) авт./год	115	180	194

Таким чином, величина потоку насичення смуги прямого напрямку руху ІРП згідно з отриманою моделлю дозволяє уточнити рекомендовані в даний час значення на 6 - 10% у бік.

### 3.2.5 Вплив величини потоку насичення на споживчі властивості ізолюваного регульованого перехрестя

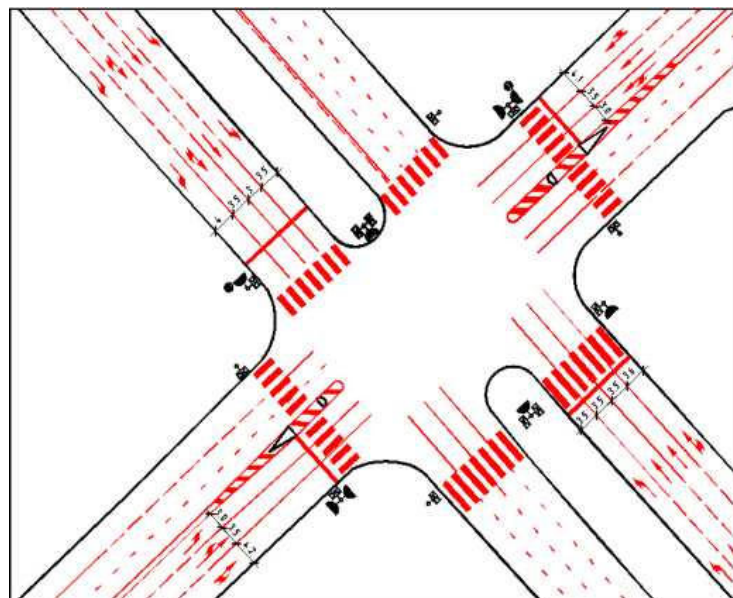
Для порівняння оптимальної тривалості циклу згідно з формулою Вебстера з уточненими та рекомендованими значеннями величин потоку насичення розрахуємо тривалість циклу для регульованого перехрестя у м. Тернополі пр-т. С Бандери - вул. Слівенська - вул. Коновальця (мал. 3.7).

$$t_{ц} = \frac{1,5 \cdot \sum t_{пром} + 5}{1 - \sum Y}, \quad (3.3)$$

де  $t_{ц}$  – тривалість циклу;  $\sum t_{пром} = 16$  с - сума проміжних тактів;  $\sum Y$  – сума фазових коефіцієнтів.



a)



b)

Малюнок 3.7 – Реальна схема (а) і проект схеми (б) регульованого перехрестя пр-т. С Бандери - вул. Слівенська - вул. Коновальця

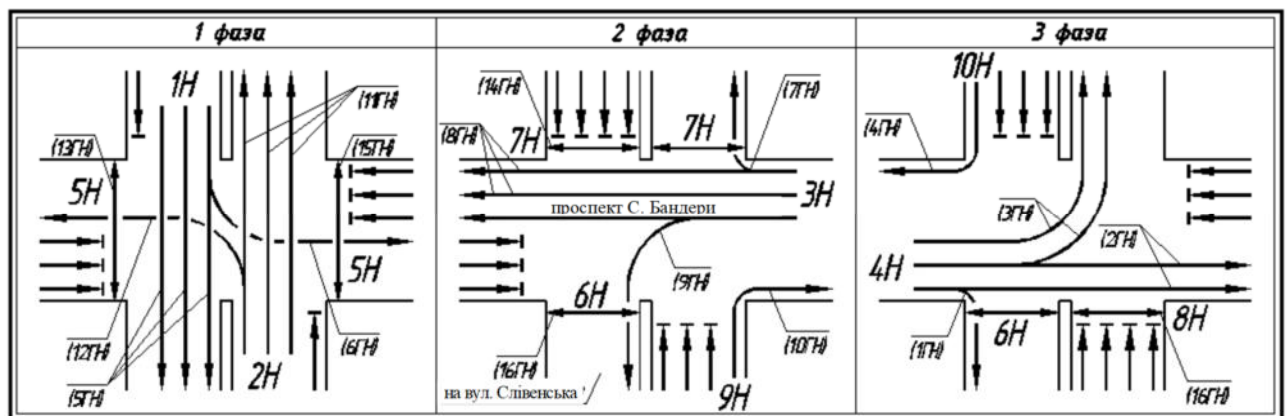
На мал. 3.8 наведено дані інтенсивності дорожнього руху на перехресті у «міжпіковий» період робочого дня з 10:00 до 12:00.

			12	11	10			
			направо	прямо	наліво			
			62	950	219			
1	наліво	621				273	направо	9
2	прямо	585				750	прямо	8
3	направо	62				51	наліво	7
			92	688	90			
			наліво	прямо	направо			
			4	5	6			

Малюнок 3.8 – Інтенсивність дорожнього руху (авт./год) на перехресті пр-т. С Бандери - вул. Слівенська - вул. Коновальця

Як період оптимізації було обрано «міжпіковий період» з метою отримання прийнятних значень циклу регулювання (до 120 с). У «пікові періоди» оптимальна тривалість циклу цьому перехресті має перевищувати максимально рекомендоване значення тривалості циклу (120с), оскільки у «пікові періоди» завантаження перехрестя перевищує його пропускну здатність.

На мал. 3.9 представлена схема пофазного роз'їзду на представленому регульованому перехресті.



Малюнок 3.9 – Схема пофазного роз'їзду на регульованому перехресті

Результати розрахунку тривалостей циклу та фаз регулювання, з урахуванням уточнених та рекомендованих значень потоку насичення,

представлені в табл. 3.14. Розрахунок ступеня завантаження фази регулювання (що визначає тривалість фази напрямку руху) здійснювався за формулою (1).

Таблиця 3.14 – Порівняння транспортно-експлуатаційних показників світлофорного регулювання врахуванням різних значень величини потоку насичення

Значення потоку насичення	прийняті значення	рекомендовані значення	різниця в оцінці, %
Сумарний фазовий коефіцієнт $\sum Y$	0,69	0,63	9
Тривалість циклу регулювання, $t_{ц}$	94	78	17
Тривалість зеленого сигналу 1-ї	28	22	21
Тривалість зеленого сигналу 2-ї	22	18	18
Тривалість зеленого сигналу 3-ї	28	22	21
Фазовий коефіцієнт 1-ї фази	0,25	0,23	8
Фазовий коефіцієнт 2-ї фази	0,19	0,17	11
Фазовий коефіцієнт 3-ї фази	0,25	0,23	8
Ступінь завантаження 1-ї фази	0,84	0,82	3
Ступінь завантаження 2-ї фази	0,81	0,74	9
Ступінь завантаження 3-ї фази	0,84	0,82	3

Отримані значення свідчать про різницю в оцінці транспортно-експлуатаційних параметрів на 3-21%.

Застосування уточнених параметрів циклу для «міжпікового» періоду призводить до скорочення середніх затримок транспортних засобів на 15% (методика НВ8 2001 [16]), що у свою чергу пов'язане з підвищенням економічних та екологічних споживчих властивостей.

Для інтенсивності руху «пікового періоду» переоцінка середніх затримок окремих напрямів, визначених за методикою НВ8 2001 [16] при використанні рекомендованих та уточнених значень потоку насичення досягала 50%.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1. Охорона праці на підприємствах автотранспортного комплексу.**

Охорона праці (ОП) — це система правових і соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів і засобів спрямованих на збереження життя і здоров'я людини в процесі праці.

ОП – як наукова дисципліна виникла на перетині соціально-правових, технічних і медичних наук, науки про людину, теорії ризику. Головними критеріями дослідження ОП є людина в процесі праці, виробниче середовище, організація праці.

Завданням ОП є зведення до мінімуму ймовірності пошкодження, травмування чи захворювання працівника, з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

На виробництві чи будь-якій іншій діяльності, керівництво має перш за все створити належний стан безпеки праці. Безпека праці – стан умов праці при яких виключений вплив небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Виробнича небезпека – можливість впливу на працівників небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Небезпечні виробничі чинники це ті, вплив яких на працівника за деяких умов призводять до травм чи іншого різкого погіршення здоров'я нещасний випадок (НВ).

Шкідливий виробничий чинник той, дія якого на працівника приводить до професійної захворюваності чи зниження працездатності.

Нещасний випадок – це випадок з працівником, який пов'язаний з раптовим впливом на нього небезпечного виробничого чинника.

Таким чином охорона праці – це наукова дисципліна, що вивчає теоретичні і практичні питання безпеки праці, причини виробничого травматизму і професійні захворювання, причини аварій, вибухів, пожеж і, на основі цих вивчень, розробляє заходи щодо створення здорових і безпечних умов праці.

Для вирішення цих питань використовується досягнення багатьох галузей:



- трудове право і економіка;
- гігієна праці;
- психологія і фізіологія праці і промислова токсикологія;
- інженерна психологія; ергономіка;
- промислова естетика.

Законодавство України стосовно ОП являє собою систему взаємопов'язаних нормативних актів, що регулюють відносини в галузі реалізації держполітики, щодо правових, соціально-економічних і інших засобів і заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Воно складається із загальних законів України і спеціальних нормативних актів.

Загальними законами, щодо ОП є:

- Конституція України
- Кодекс законів про працю (КЗпП) України
- Закон України “Про охорону праці”.

Кожне підприємство, виробництво чи організація підпорядковується державі. Держава контролює і регулює їх діяльність також у відношенні ОП.

Під управлінням розуміють цілеспрямовану дію на систему „людина – виробництво” з метою досягнення заданих результатів. А під управлінням ОП розуміють підготовку, прийняття і реалізацію рішень спрямованих на забезпечення здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Об'єктом управління охорони праці є діяльність функціональних служб, структурних підрозділів, організацій по забезпеченню здорових і безпечних умов праці на робочих місцях, виробничих ділянках, в цехах, на підприємстві в цілому.

У відповідності до Конституції України кожний громадянин зобов'язаний дотримуватись трудової та виробничої дисципліни.

Адміністрація фірми зобов'язана:

- виконувати вимоги законодавства про охорону праці;
- створювати в кожному структурному підрозділі і на робочому місці умови праці відповідно до вимог діючого законодавства;
- розробляти та реалізувати заходи з техніки безпеки і виробничої санітарії;
- забезпечувати працюючих спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту;

- впроваджувати техніку та забезпечувати санітарно-гігієнічні умови праці з метою запобігання виникненню професійних захворювань працівників.

Якщо розглянути більш конкретно ОП водіїв, то можна з'ясувати такі речі:

При роботі водії автомобілів проходять медичний огляд:

1. водії автомобілів - через кожні 5 років;
2. при досягненні віку 60 років - через кожні 2 роки.

Водій автомобіля повинен пам'ятати, що у випадку невиконання вимог, розміщених в Правилах дорожнього руху, інструкції по охороні праці, правилах внутрішнього трудового розпорядку, при виконанні роботи можуть виникнути небезпеки: травмування, враження електричним струмом, отруєння етиловим бензином і вихлопними газами.

Водій автомобіля зобов'язаний:

1. знати і точно виконувати Правила дорожнього руху, команди, сигнали регулювання та керування;
2. при запуску двигуна важіль коробки передач поставити в нейтральне положення;
3. вміти користуватися пожежним інвентарем, та вміло використовувати його в разі виникнення пожежі;

Водієві автомобіля забороняється:

- керувати автомобілем в стані алкогольного або наркотичного сп'яніння, а також в хворобливому або втомленому стані;
- передавати керування автомобілем особам, що не мають при собі посвідчення на право керування автомобілем даної категорії і не вказаним в шляховому листі;
- самовільно відхилитися від маршруту, вказаного у шляховому листі;
- перевозити у вантажних автомобілях сторонніх осіб, не вказаних у шляховому листі, і не пов'язаних з перевезенням вантажів;
- перевозити вантаж, якщо він закриває огляд дороги;
- перевозити вантаж у несправній тарі;
- відривати з допомогою автомобіля вантаж, що примерз, або знаходиться у землі;
- допускати скупчення на двигуні та його картері бруду, пального, мастила;

- палити в безпосередній близькості від приладів, та системи живлення двигуна автомобіля;
- підігрівати двигун відкритим полум'ям;
- користуватись відкритим вогнем під час перевірки рівня електроліту в акумуляторній батареї, та усунення несправностей механізмів;
- зберігати та перевозити в кабіні бензин, та іншу легкозаймисті рідини;
- брати заводну рукоятку в обхват та використовувати важелі та підсилювачі з метою посилення впливу на неї;
- заправляти автомобіль етилованим бензином з відкритої ємкості та засмоктувати його ротом у шланг, а також продувати ротом паливопровід.

На підприємстві застосовуються такі методи і технічні засоби запобігання нещасних випадків на виробництві.

1. До методів і технічних засобів запобігання нещасних випадків на виробництві відносяться:

- огороження небезпечних зон;
- запобіжні та блокувальні пристрої;
- пристрої пожежної сигналізації, сигнальні кольори та знаки безпеки.

2. Запобіжні та блокувальні пристрої використовуються для попередження поломок окремих частин обладнання і аварій, а також для захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів, так як вони автоматично спрацьовують, коли виникає така загроза і вимикають обладнання чи його вузли.

3. Необхідно бути уважним до світлових, звукових та кольорових сигналів.

Вразі нещасного випадку, який може статися з працівником, надається перша допомога. А саме: для припинення сильної кровотечі, необхідно накладити жгут вище рани, до якої забороняється торкатися. Не можна видаляти з рани згустки крові, бруд оскільки це може викликати кровотечу.

Не можна замотувати рану ізоляційною стрічкою.

При сильних термічних опіках:

- дуже обережно зніміть з потерпілою одяг та взуття - краще розріжте її, обпечену поверхню перев'яжіть як свіжу рану, після чого потерпілого треба доставити в лікарню;

- необхідно пам'ятати, що рана від опіку, будучи забруднена, починає

нагноюватись і довго не загоюється, тому не можна торкатись руками обпеченої ділянки шкіри та змащувати її будь-якими мазями, маслом, вазеліном або розчинами.

При обмороженні для розтирання замерзлих частин тіла використовуйте сухі і теплі рукавиці або суконки, після того, як обморожене місце почервоніє, змастити його жиром та зав'язати теплою пов'язкою;

При ураженні електрострумом:

- швидко звільнити потерпілого від дії струму та викликати лікаря;
- якщо потерпілий знаходиться у свідомості, але до цього був в непритомному стані, його необхідно покласти на спину, накрити зверху і до прибуття лікаря забезпечити йому повний спокій, дивлячись за диханням та пульсом. У разі неможливості швидко викликати лікаря, не дозволяти потерпілому рухатися, доставити його й лікарню;

- при відсутності у потерпілого ознак життя (дихання та пульсу), потрібно зробити йому штучне дихання та масаж серця;

- штучне дихання треба починати робити відразу ж після звільнення від джерела електроструму і продовжувати до прибуття лікаря;

- штучне дихання найкраще робити за методом „з рота в рот”, а у ряді випадків разом з непрямим масажем серця.

ОП включає в себе також і те, як розміщується транспорт під час зберігання. Умовою зберігання з точки зору ОП являється те, щоб при зберіганні не утворилась ситуація, яка б загрожувала здоров'ю чи життю людини. У місцях зберігання (стоянки) транспортних засобів можуть мати місце такі основні небезпечні виробничі фактори:

- наїзди транспортних засобів на працівників в результаті самовільного руху транспортних засобів, зчепленні і розчепленні автомобіля з причепом (напівпричепом) під час руху заднім ходом;

- падіння працівників на поверхні та з висоти (кузова, буфера, підніжки тощо);

- опускання (падіння) перекидної кабіни вантажного автомобіля, виважених частин транспортних засобів.

## 4.2. Управління охороною праці на підприємстві.

Управління охороною праці - це підготовка, прийняття та реалізація рішень щодо здійснення організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення здоров'я та працездатності людини під час праці.

Система управління охороною праці (СУОП) є складовою частиною загальної системи керування підприємством. При автоматизованій системі управління, управління охороною праці є її складовою частиною, або підсистемою. Управління охороною праці передбачає участь в цьому процесі практично всіх служб і підрозділів підприємства. Об'єктом управління є діяльність структурних підрозділів, яка спрямована на створення безпечних і здорових умов праці. Управління охороною праці на підприємстві в цілому здійснює його керівник (власник), а в підрозділах (цехах, відділах, службах) - їх керівники або головні фахівці. Координує всю цю діяльність служба охорони праці. Задачі служби охорони праці та її функції викладені в "Типовому положенні про службу охорони праці", яке затверджено наказом Комітету Держнагляду охорони праці від 3 серпня 1993 р. № 73.

Служба охорони праці створюється на підприємствах, установах, організаціях незалежно від форми власності та видів діяльності для виконання правових, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, соціально-економічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на запобігання нещасним випадкам, професійним захворюванням і аваріям в процесі праці.

Для здійснення вищезазначених цілей служба охорони праці повинна вирішувати такі завдання:

- а) забезпечувати безпеку виробничих процесів, устаткування, будівель і споруд;
- б) забезпечувати працюючих засобами індивідуального та колективного захисту;
- в) здійснювати професійну підготовку і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці, вести пропаганду безпечних методів праці;
- г) забезпечувати оптимальні режими праці і відпочинку працюючих;

д) вимагати професійного добору виконавців для певних видів робіт.

Служба охорони праці створюється на підприємствах, установах та організаціях із числом працюючих 50 чоловік і більше. В організаціях з меншою кількістю працюючих цю службу може представляти інженер, призначений за сумісництвом. На підприємствах загальна чисельність фахівців служби охорони праці встановлюється в залежності від загального числа працюючих, небезпечності та шкідливості виробничих процесів, кількості окремо розташованих від основної бази автоколон. Працівники служби охорони праці повинні мати вищу спеціальну освіту з охорони праці, а також практичний досвід у відповідній галузі виробництва. За важливістю діяльності та оплатою праці вони прирівнюються до працівників провідних відділів та служб підприємства або установи. Підпорядковується служба охорони праці безпосередньо керівнику підприємства (власнику).

У СУОП підприємства, яку здійснює служба охорони праці разом з керівництвом підприємства, основними чинниками є: законодавство України про охорону праці і про працю, міжгалузеві і галузеві нормативні акти про охорону праці і "Положення про службу охорони праці".

Служба охорони праці повинна мати засоби впливу на виробничу діяльність підприємства. Такий вплив передбачений "Положенням про службу охорони праці". Так, працівники служби охорони праці мають право видавати керівникам підприємств, установ, організацій та їх підрозділам обов'язкові для виконання приписи щодо усунення наявних недоліків. Припис спеціаліста з охорони праці, у тому числі про зупинення робіт, може скасувати в письмовій формі лише посадова особа, якій підпорядкована служба охорони праці.

Окрім адміністративних заходів рекомендується принцип матеріального заохочення працівників, які сумлінно ставляться до виконання виробничих обов'язків і беруть активну участь у підвищенні безпеки та поліпшенні умов праці.

Положення про матеріальне заохочення розробляється службою охорони праці і затверджується керівником підприємства (власником). Працівники служби охорони праці не можуть залучатися до виконання функцій, не передбачених Законом "Про охорону праці" і "Типовим положенням про службу

охорони праці".

#### **4.3. Методи і шляхи вирішення завдань управління охороною праці.**

Роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, а саме:

- створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які забезпечують вирішення конкретних питань охорони праці, затверджує інструкції про їх обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених на них функцій, а також контролює їх додержання;

- розробляє за участю сторін колективного договору і реалізує комплексні заходи для досягнення встановлених нормативів та підвищення існуючого рівня охорони праці;

- забезпечує виконання необхідних профілактичних заходів відповідно до обставин, що змінюються;

- впроваджує прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби механізації та автоматизації виробництва, вимоги ергономіки, позитивний досвід з охорони праці тощо;

- забезпечує належне утримання будівель і споруд, виробничого обладнання та устаткування, моніторинг за їх технічним станом;

- забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань, та здійснення профілактичних заходів, визначених комісіями за підсумками розслідування цих причин;

- організовує проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, оцінку технічного стану виробничого обладнання та устаткування, атестацій робочих місць на відповідність нормативно-правовим актам з охорони праці в порядку і строки, що визначаються законодавством, та за їх підсумками вживає заходів до усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих й

факторів;

- розробляє і затверджує положення, інструкції, інші акти з охорони праці, що діють у межах підприємства, та встановлюють правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках, робочих місцях відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці, забезпечує безоплатно працівників нормативно-правовими актами та актами підприємства з охорони праці;

- здійснює контроль за додержанням працівником технологічних процесів, правил поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, використанням засобів колективного та індивідуального захисту, виконанням робіт відповідно до вимог з охорони праці;

- організовує пропаганду безпечних методів праці та співробітництво з працівниками у галузі охорони праці;

- вживає термінових заходів для допомоги потерпілим, і залучає за необхідності професійні аварійно-рятувальні формування у разі виникнення на підприємстві аварій та нещасних випадків.

Обов'язки працівника щодо додержання вимог нормативно-правових актів з охорони праці:

Працівник зобов'язаний:

- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання і будь-яких робіт чи підчас перебування на території підприємства;

- проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди.

Працівник несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог.

#### **4.4. Пожежна безпека.**

Пожежі наносять суспільству велику матеріальну шкоду приводять до травм і загибелі людей, тому що супроводжуються виникненням небезпечних факторів, таких як відкритий вогонь, підвищена температура, токсичні речовини, дим



недостачу кисню, пошкодження і порушення будівель, споруд, вибухи технічного обладнання тощо. Тому виконання правил пожежної безпеки на підприємствах є обов'язковим для всіх посадових осіб та громадян.

Пожежа — це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі та створює загрозу життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу і призводить до матеріальних збитків.

Основні умови виникнення пожеж на виробництві:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний стан електротехнічних пристроїв і порушення правил їх монтажу та експлуатації;
- порушення режимів технологічних процесів;
- несправність опалювальних приладів та невиконання правил їх експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Пожежна безпека підприємства - це такий стан промислового об'єкта, при якому виключається можливість пожежі, а у разі її виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів та забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека промислових підприємств складається із системи запобігання пожежам та системі пожежного захисту.

Система запобігання пожежам — це комплекс організаційних і технічних засобів, спрямованих на виключення можливості виникнення пожежі, на запобігання утворенню горючого і вибухонебезпечного середовища шляхом регламентації вмісту горючих газів, парів та пилу у повітрі, а також виключення можливості виникнення джерел запалювання або вибуху; забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів, обладнання, електроустаткування, систем вентиляції, зберігання сировини та інших матеріалів.

Запобігання пожежам сприяє герметизація виробничого обладнання, заміна горючих речовин на негорючі, які застосовуються в технологічних процесах, обмеження обсягів речовин, що застосовуються і зберігаються; контроль за концентрацією речовин у повітрі в приміщеннях і технологічному обладнанні; застосування робочої і аварійної вентиляції; відведення горючого середовища в

спеціальні пристрої і безпечні місця; застосування інгібітуючих і флегматизуючих домішок.

Система пожежного захисту забезпечується застосуванням вогневідсічних пристроїв на технологічних комунікаціях, в системах вентиляції, повітряного опалення і кондиціонування повітря.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз використовуваних нині в Україні та за кордоном методів оцінки та підвищення споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть на вулично-дорожній мережі міст показав, що перелік споживчих властивостей та показників, що їх описують, у різних методах значно відрізняється. При цьому, виміряні та отримані в ході проведеного дослідження, фактичні показники практичної пропускної здатності смуги руху та потоку насичення смуги прямого напрямку руху в зоні ІРП на 6-13% вище за показники, наведені в діючих рекомендаціях.

2. Розроблена, із застосуванням методів системного аналізу, система споживчих властивостей ізолюваних регульованих перехресть, дозволила сформулювати цільовий, критеріальний та оцінно-вимірвальні рівні вимог до сучасних споживчих властивостей ІРП. Встановлений для цієї системи характер внутрішніх та зовнішніх взаємозв'язків транспортних споживчих властивостей ІРП, вказує на те, що більшість з них функціонально або емпірично пов'язані з величиною потоку насичення, яка, в свою чергу, залежить від інтервалів між автомобілями при роз'їзді черги автомобілів та дорожніх умов на ІРП.

3. Встановлені закономірності впливу геометричних характеристик перетинів та складу сучасних транспортних потоків на споживчі властивості ІРП на ВДМ міста дозволили розробити математичну модель для оцінки величини потоку насичення на смугах прямого напрямку руху на підході до ІРП в залежності від ширини смуги руху та складу транспортного потоку. Отримана модель дозволяє обґрунтовано призначати ширину смуг прямого напрямку руху залежно від необхідної пропускної здатності. Так значення практичної пропускної здатності смуги прямого напрямку руху становлять для 3-х метрової смуги руху – 845 прив. до легк. авт./год; для 3,5 м - 905 прив. до легк. авт./год; для 3,75 м - 935 прив. до легк. авт./год.

4. Розроблена математична модель для оцінки величини потоку насичення на смугах прямого напрямку руху в залежності від ширини смуги руху та складу транспортного потоку, дозволяє суттєво уточнити розрахункові

показники, що характеризують споживчі властивості ІРП. Так використання при проектуванні ІРП значень потоку насичення, отриманих за допомогою цієї моделі, дозволяє скоротити величину затримок на ІРП на 15%.

5. Розроблені рекомендації щодо підвищення транспортних споживчих властивостей ІРП на ВДМ міст дозволяють отримувати, уточнені та обґрунтовані, з урахуванням фактичних геометричних характеристик перетинів та сучасного складу транспортного потоку, такі показники як ступінь завантаження, фазові коефіцієнти, тривалість дозволеного руху та циклу регулювання. Економічний ефект від скорочення затримок у «міжпіковий» період становить 4,6 млн. грн./рік. При цьому впровадження таких заходів у поєднанні із зміною геометричних параметрів ІРП дозволяє скоротити середні затримки в «піковий» період до 84%, що дає щорічний економічний ефект на одному ІРП за інтенсивності 88050 авт./добу та 17 смугах руху у розмірі 57,8 млн. грн.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Планування міст і транспорт : навч. посібник / О. С. Безлюбченко, С. М. Гордієнко, О. В. Завальний; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 271 с. ISBN 978-966-695-525-1
2. Поліщук В. П., Красильнікова О. В., Дзюба О. П. Транспортне планування міст. – Знання України. Київ. – 372 с. 2014. 978-966-316-347-5.
3. Axhausen, K.W., M. Fellendorf and D. Hook: Zur Abhängigkeit der Zeitbedarfsvalue von der Knotenpunktgeometrie, Strassenverkehrstechnik, 33, 1989, S. 170-174.
4. Конспект лекцій з дисципліни «Транспортне планування міст» (для студентів 5 курсу всіх форм навчання спеціальностей 7.100402 і 8.100402 «Транспортні системи»/Укл.: Лобашов О.О.- Харків: ХНАМГ, 2009.-с.46. (електронний варіант).
5. Плешкановська А. М. Функціонально-планувальна оптимізація використання міських територій / А. М. Плешкановська. – Київ, 2005. – 190.
6. Любарський Р.Е. Проектування міських транспортних систем. – К.: будівельник, 1984. - 93 с.
7. ДБН В. 2.3-5-2001 Вулиці і дороги населених пунктів.
8. Hoffmann, S., Die neuen Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06), Tagung der Fachgruppe Verkehr und Vermessung im Verband Beratender Ingenieure am 18. April in Wiesbaden, 2008.
9. Bosserhoff, D., Novotny, T., Verkehrslenkung und Verkehrsbeeinflussung, Kapitel 5.2 Sonderformen der LSA-Steuerung, Handbuch für Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung, Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, 2008.
10. Richtlinien für die Anlage von Strassen, Teil: Knotenpunkte RAS – K., Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe «Straßenentwurf», 1988.
11. Luftqualität verbessern – Mobilität sichern, Ergebnisse der 14. Wettbewerb

für Städte und Gemeinden 2005/2006.

12. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. На заміну: ДБН Б.2.2-12:2018. – [Чинний від 01.10.2019]. – Київ : Держбуд України, 2019. – 183 с.

13. RiLSA (1992/2003). Richtlinien für Lichtsignalanlagen - Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Nr. 321. Köln. Berichtigter Nachdruck 1998.

14. Wu, N., Bemessung und Bewertung von Lichtsignalanlagen – Vergleich zweier neuen Regelwerke HCM 2000 und HBS 2001, "Straßenverkehrstechnik", Heft 12/2003. KirschbaumVerlag GmbH, Bonn, 2003.

15. Wiltschko, T., Sichere Information durch infrastrukturgestützte Fahrerassistenzsysteme zur Steigerung der Verkehrssicherheit an Straßenknotenpunkten, Dissertation zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs, Universität Stuttgart, 2004.

16. Lagemann A. Vorrang für Busse und Straßenbahnen an Kreisverkehren, vom Fachbereich Architektur / Raum- und Umweltplanung / Bauingenieurwesen der Technischen Universität Kaiserslautern zur Verleihung des akademischen Grades Dr.-Ing. genehmigte Dissertation, 2004.

17. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2001), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Nr. 299, FGSV Verlag GmbH, Kö

18. Scholz T., Ortlepp J., Verkehrstechnische Auswirkungen der Sonderphase für Linksabbieger an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage, 2010.

19. Planungshinweise für Stadtstraßen, Teil 5 Knotenpunkte, Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) Amt für Verkehr und Straßenwesen 2008.

20. Highway Capacity Manual (HCM 2000). TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000.